



# Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural

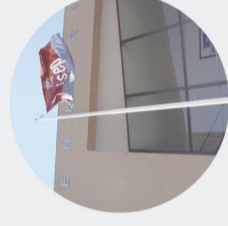
**RENATA DIAS DA SILVA**

Outubro de 2021

**isep**

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DO PORTO



isep

**isep** Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

## Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural

Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural

RENATA DIAS DA SILVA  
Outubro de 2021

RENATA DIAS DA SILVA  
Outubro de 2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto • Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 • 4249-015 Porto  
Tel. +351 228 340 500 • Fax +351 228 321 159 • mail@isep.iupp.pt • www.isep.iupp.pt

POLITÉCNICO  
DO PORTO





# **INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO ESTRUTURAL**

RENATA DIAS DA SILVA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS**

Orientador: Professor Doutor Alexandre Aníbal Meira Guimarães da Costa

Coorientador: Doutora Elena Surra (GRAQ - ISEP)

Supervisor: Doutor Bruno Luís Quelhas da Silva (NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património)

**OUTUBRO DE 2021**

Eu, Renata Dias da Silva, estudante nº 1190083, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2021/10/22

Renata Dias da Silva

# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Abreviaturas .....	xxi
CAPÍTULO 1    Introdução.....	1
CAPÍTULO 2    Apresentação do Estágio .....	5
CAPÍTULO 3    Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação de Edifícios Antigos .....	9
CAPÍTULO 4    Inspeção e Diagnóstico – Mosteiro de Odivelas .....	35
CAPÍTULO 5    Inspeção e Diagnóstico – Casa Milheirós.....	71
CAPÍTULO 6    Avaliação dos Impactos Ambientais da Reabilitação Estrutural por Análise de Ciclo de Vida (LCA) .....	91
CAPÍTULO 7    Considerações Finais.....	107
Referências Bibliográficas .....	111
Anexo I – Mosteiro de Odivelas – Análise Histórica em Planta	
Anexo II – Mosteiro de Odivelas – Peças Desenhadas	
Anexo III – Casa Milheirós – Resultados dos Ensaios com <i>Resistograph</i>	
Anexo IV – Casa Milheirós – Peças Desenhadas	
Anexo V – Análise do Ciclo de Vida – Indicadores Ambientais	
Anexo VI – Análise do Ciclo de Vida – Inventário de Materiais	
Anexo VII – Análise do Ciclo de Vida – Resultados	



## RESUMO

O presente documento visa sintetizar os trabalhos desenvolvidos durante o período do estágio curricular realizado no NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, empresa focada na área de conservação e reabilitação de edifícios existentes, que presta serviços de consultoria, inspeção e diagnóstico, monitorização e projeto no âmbito da reabilitação das construções.

No âmbito do estágio foram realizados diversos trabalhos de inspeção e diagnóstico, sendo apresentadas neste documento as campanhas de inspeção realizadas no Mosteiro de Odivelas e num edifício de habitação localizado na Maia, que resultaram em relatórios técnicos de inspeção e diagnóstico estrutural. Relativamente ao Mosteiro de Odivelas, foi efetuada uma pesquisa histórica sobre a sua evolução, seguida da caracterização construtiva e estrutural com base na inspeção visual. Sobre o edifício habitacional da Maia é apresentada a caracterização construtiva e geométrica, a caracterização dos danos estruturais, a avaliação de segurança das estruturas de madeira existentes e as sugestões de medidas de intervenção.

A par das atividades desenvolvidas em colaboração com a equipa do NCREP, foi ainda desenvolvido um estudo de análise do ciclo de vida (LCA) com o objetivo de quantificar os benefícios ambientais que a inspeção e diagnóstico tem na intervenção de edifícios existentes.

**Palavras-chave:** Inspeção e Diagnóstico, Reabilitação de Edifícios, Reabilitação Estrutural, Estruturas de Madeira, LCA, Análise do Ciclo de Vida



## **ABSTRACT**

This document aims to synthesize the work developed during the curricular internship carried out at *NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património*, a company focused on conservation and rehabilitation of existing buildings, by providing consultancy, inspection and diagnosis, monitoring and design in the scope of buildings' structural rehabilitation.

In the context of the internship, several inspection and diagnosis work were carried out, being presented in this document the inspection campaigns developed in the Odivelas Monastery and in a residential building located in the city of Maia, which resulted in technical reports of inspection and structural diagnosis. Regarding the Odivelas Monastery, a historical research about its evolution was performed, followed by a constructive and structural characterization based on visual inspection. In the case of the residential building of Maia, it is presented its constructive and geometric characterization, the characterization of structural damage, the safety assessment of existing wooden structures and suggestions for intervention measures.

In addition to the activities developed in collaboration with the NCREP team, a life cycle analysis (LCA) study was also carried out with the objective of quantifying the environmental benefits that inspection and diagnosis has in the intervention of existing buildings.

**Keywords:** Inspection and Diagnosis, Rehabilitation of Buildings, Structural Rehabilitation, Timber Structures, LCA, Life-cycle Analysis



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço ao professor Alexandre Costa, meu orientador, pela disponibilidade e pelos conhecimentos partilhados ao longo deste período, pelo rigor que coloca e transmite em tudo o que faz e pelo incentivo constante na conclusão desta etapa.

Agradeço também ao Engenheiro Bruno, que acompanhou de perto o meu estágio, também pela disponibilidade, pela prontidão em ajudar e pelos ensinamentos que me transmitiu.

À Doutora Elena Surra, minha coorientadora, agradeço todo o apoio que me deu ao desenvolver este trabalho, todos os conhecimentos transmitidos e informação disponibilizada, e pela disponibilidade e paciência.

Agradeço também à Professora Cristina Delerue Matos por ter aceitado, sem hesitar, colaborar com o meu trabalho, e pelo entusiasmo e apoio prestado no estudo que desenvolvemos.

A todos os elementos do NCREP, pela forma como me acolheram e como se mostraram sempre disponíveis em ajudar e em partilhar o seu conhecimento.

Obrigada a todos os meus amigos e familiares que me apoiaram quando decidi candidatar-me ao mestrado e obrigada aos amigos que o ISEP me deu, em especial à Bea, que me acompanharam e partilharam muitas horas de estudo ao longo destes dois anos.

Um agradecimento especial ao Fábio, pelo amor, pela paciência e pelo apoio que me deu sempre.

Por fim, e em nada menos importante, agradeço aos meus pais! Obrigada por todo o apoio que sempre me deram e continuam a dar, pela força que me transmitem em cada dificuldade e por acreditarem sempre em mim. Obrigada por se fazerem sentir perto, mesmo estando longe. Obrigada pelo amor e pela amizade. Obrigada por tudo.



# ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Motivação e Objetivos.....	2
1.3	Organização do Documento.....	2
CAPÍTULO 2	Apresentação do Estágio.....	5
2.1	Apresentação da Empresa.....	5
2.2	Apresentação dos Trabalhos Desenvolvidos.....	6
CAPÍTULO 3	Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação de Edifícios Antigos.....	9
3.1	Introdução.....	9
3.2	Princípios de Reabilitação.....	11
3.3	Inspeção e Diagnóstico.....	12
3.4	Ensaio de Diagnóstico.....	14
3.5	Reabilitação Estrutural.....	16
3.5.1	Verificação de Segurança de Estruturas de Madeira.....	16
3.5.2	Medidas de Intervenção.....	27
3.6	Reabilitação e Sustentabilidade.....	30
3.6.1	Introdução e enquadramento.....	30
3.6.2	Análise do Ciclo de Vida (LCA).....	32
CAPÍTULO 4	Inspeção e Diagnóstico – Mosteiro de Odivelas.....	35
4.1	Introdução.....	35
4.2	Descrição geral do Edifício.....	36
4.3	Análise Histórica.....	37

## ÍNDICE DE TEXTO

4.3.1	Introdução .....	37
4.3.2	Análise histórica por corpo .....	44
4.4	Caracterização Construtiva e Estrutural .....	50
4.4.1	Enquadramento e descrição geral da estrutura dos edifícios .....	50
4.4.2	Caracterização dos elementos estruturais por corpo.....	51
4.4.3	Ensaio de identificação dinâmica.....	68
CAPÍTULO 5	Inspeção e Diagnóstico – Casa Milheirós .....	71
5.1	Introdução.....	71
5.2	Caracterização Construtiva e Estrutural .....	71
5.2.1	Descrição Geral do edifício .....	71
5.2.2	Ensaio realizado no local .....	72
5.2.3	Caracterização dos elementos estruturais .....	73
5.3	Caracterização dos Danos Observados.....	78
5.4	Avaliação da Segurança Estrutural.....	81
5.4.1	Verificação de segurança dos pavimentos existentes .....	84
5.4.2	Verificação de segurança da estrutura da cobertura .....	85
5.5	Sugestão de Medidas de Intervenção.....	88
CAPÍTULO 6	Avaliação dos Impactos Ambientais da Reabilitação Estrutural por Análise de Ciclo de Vida (LCA) .....	91
6.1	Introdução.....	91
6.2	Objetivos e Âmbito .....	91
6.3	Inventário do Ciclo de Vida (LCI).....	96
6.4	Análise do Ciclo de Vida e Discussão dos Resultados .....	100
CAPÍTULO 7	Considerações Finais .....	107
7.1	Conclusões .....	107
7.2	Desenvolvimentos Futuros .....	109
	Referências Bibliográficas.....	111

Anexo I – Mosteiro de Odivelas – Análise Histórica em Planta

Anexo II – Mosteiro de Odivelas – Peças Desenhadas

Anexo III – Casa Milheirós – Resultados dos Ensaios com *Resistograph*

Anexo IV – Casa Milheirós – Peças Desenhadas

Anexo V – Análise do Ciclo de Vida – Indicadores Ambientais

Anexo VI – Análise do Ciclo de Vida – Inventário de Materiais

Anexo VII – Análise do Ciclo de Vida – Resultados



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Logotipo da entidade acolhedora do estágio – NCREP .....	5
Figura 2.2 – Casos de Estudo .....	7
Figura 3.1 – Exemplo de “fachadismo”: reconstrução total do interior com solução nova em betão .....	9
Figura 3.2 – Exemplo de boas práticas de intervenção, com manutenção das estruturas de madeira (esquerda) e introdução de estrutura nova em madeira (direita) [13] .....	12
Figura 3.3 – Exemplos de ensaios não destrutivos de caracterização das estruturas .....	16
Figura 3.4 – Reforço de paredes em alvenaria com aplicação de malhas de aço [24] .....	28
Figura 3.5 – Travamento das paredes através da colocação de tirantes [15].....	29
Figura 3.6 – Técnicas de ligação entre as estruturas de madeira e as alvenarias resistentes .....	29
Figura 3.7 – Substituição pontual de peças de madeira com aplicação de empalmes dentados [22] .....	30
Figura 3.8 – Medidas no setor da construção para uma economia circular (adaptado de [29]).....	31
Figura 3.9 - Representação esquemática das variantes da análise de LCA [34] .....	33
Figura 4.1 – Vista aérea do Mosteiro de Odivelas com a área em estudo assinalada a vermelho .....	36
Figura 4.2 – Identificação em planta dos diferentes corpos do Mosteiro de Odivelas (planta do piso 1)	36
Figura 4.3 – Registo visual do Mosteiro mais antigo que existe, datado de 1859 .....	37
Figura 4.4 – Plantas gerais do Mosteiro de Odivelas (sem escala): projeto de alterações datado de 1883 .....	39
Figura 4.5 – Sacristia e absidíolo lateral: antes, durante e após a demolição e reconstrução (1930-36) [39] .....	41
Figura 4.6 - Plantas gerais do Mosteiro de Odivelas datadas de 1944 (sem escala) [39] .....	42
Figura 4.7 – Registo fotográfico da reconstrução da cobertura do alpendre da entrada, em 1949-50 [39] .....	43
Figura 4.8 – Registo fotográfico de edifícios extintos no séc. XX [39].....	43

Figura 4.9 - Registo fotográfico da substituição da cobertura da sacristia, em 1997 [39].....	44
Figura 4.10 - Fachada corpo 4: evolução séc. XX-XXI [39] .....	46
Figura 4.11 - Fachada corpo 3: evolução séc. XX-XXI [39] .....	46
Figura 4.12 – Corredor com teto envidraçado, em 1944 [39] .....	48
Figura 4.13 - Registo fotográfico das primeiras instalações do ginásio do IO [42] .....	48
Figura 4.14 – Fotos gerais da estrutura atual do ginásio .....	49
Figura 4.15 - Imagens da substituição da cobertura do piso superior do Claustro da Moura (1997) [39]	50
Figura 4.16 – Localização do corpo 1 dentro do conjunto do Mosteiro .....	51
Figura 4.17 – Exemplos de elementos verticais que constituem a estrutura do corpo 1 .....	52
Figura 4.18 – Exemplos de elementos horizontais que constituem a estrutura do corpo 1 .....	53
Figura 4.19 – Caixas de escadas existentes no corpo 1 .....	53
Figura 4.20 – Localização do corpo 2 dentro do conjunto do Mosteiro .....	54
Figura 4.21 – Fotos gerais dos pórticos em betão armado existentes no interior do edifício .....	55
Figura 4.22 – Exemplos de elementos horizontais que constituem o pavimento do piso 2 (teto do piso 1) .....	55
Figura 4.23 – Fotos gerais da estrutura da cobertura do corpo 2 .....	57
Figura 4.24 – Caixas de escadas existentes no interior do corpo 2 .....	58
Figura 4.25 – Localização do corpo 6 dentro do conjunto do Mosteiro .....	58
Figura 4.26 – Exemplos de elementos verticais que constituem a estrutura do corpo 6 .....	59
Figura 4.27 – Fotos gerais dos elementos horizontais que constituem o corpo 6 .....	60
Figura 4.28 – Fotos gerais da estrutura da cobertura do corpo 6 .....	61
Figura 4.29 – Escadas existentes na estrutura do corpo 6 .....	62
Figura 4.30 – Localização do corpo 7 dentro do conjunto do Mosteiro .....	62
Figura 4.31 – Exemplos de elementos em betão armado que constituem a estrutura do corpo 7 .....	63
Figura 4.32 – Caixas de escadas existentes no interior do corpo 7 .....	64
Figura 4.33 – Localização do corpo 8 dentro do conjunto do Mosteiro .....	64
Figura 4.34 – Exemplos de elementos em betão armado que constituem a estrutura do corpo 8 .....	65

Figura 4.35 – Localização do corpo 10 dentro do conjunto do Mosteiro .....	66
Figura 4.36 – Elementos que constituem a estrutura horizontal do corpo 10 .....	66
Figura 4.37 – Exemplo de elemento em betão armado existente nas abóbadas do Claustro Novo (ala sul) .....	67
Figura 4.38 – Elementos que constituem a estrutura vertical do corpo 10.....	67
Figura 4.39 – Registo fotográfico dos ensaios de identificação dinâmica realizados .....	68
Figura 4.40 – Modelo tridimensional desenvolvido com recurso ao <i>Draftsight</i> ® .....	69
Figura 4.41 – Modelo tridimensional importado no <i>SAP2000</i> ® .....	69
Figura 4.42 – Modelo numérico do corpo da Igreja ( <i>SAP2000</i> ®) .....	70
Figura 5.1 – Registo fotográfico do edifício em estudo .....	72
Figura 5.2 – Instrumentos utilizados na campanha de inspeção .....	73
Figura 5.3 – Levantamento estrutural do edifício (sem escala) .....	74
Figura 5.4 – Exemplos de elementos resistentes verticais em alvenaria de pedra .....	74
Figura 5.5 – Elementos verticais em tabique .....	75
Figura 5.6 – Exemplos de vigas de pavimento existentes .....	75
Figura 5.7 – Escadas que realizam a ligação entre o piso 0 e o piso 1 .....	76
Figura 5.8 – Alçado da asna principal (sem escala) e registo fotográfico da asna A2 .....	77
Figura 5.9 – Alçado (sem escala) e registo fotográfico da asna secundária.....	77
Figura 5.10 – Alçado (sem escala) e registo fotográfico do alinhamento de escoras.....	77
Figura 5.11 – Degradação das vigas de pavimento do piso 0 e das coberturas dos edifícios anexos .....	80
Figura 5.12 – Manchas de humidade e argamassa cimentícia nas paredes de alvenaria de pedra .....	81
Figura 5.13 – Esquema das asnas com representação das forças consideradas .....	87
Figura 5.14 – Mapas de intervenção dos elementos estruturais horizontais (sem escala) .....	89
Figura 6.1 – Registo fotográfico dos casos de estudo A-G (fonte: NCREP) .....	92
Figura 6.2 – Fluxogramas dos 4 cenários em análise .....	95
Figura 6.3 – Volume total de materiais a demolir em cada caso de estudo .....	97
Figura 6.4 – Volume total de materiais a introduzir em cada caso de estudo.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.5 – Potencial de acidificação, expresso em kg SO <sub>2</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	100
Figura 6.6 – Potencial de aquecimento global, expresso em kg CO <sub>2</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício.....	100
Figura 6.7 – Potencial de eutrofização, expresso em kg PO <sub>4</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício.....	101
Figura 6.8 – Potencial de criação de ozono fotoquímico, expresso em kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício...	101
Figura 6.9 – Potencial de esgotamento de recursos abióticos, expresso em kg Sb eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	102
Figura 6.10 – Potencial de destruição da camada de ozono, expresso em kg CFC-11 eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	102
Figura 6.11 – Potencial de acidificação do edifício A, expresso em kg SO <sub>2</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	103
Figura 6.12 – Potencial de aquecimento global do edifício A, expresso em kg CO <sub>2</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	103
Figura 6.13 - Potencial de eutrofização do edifício A, expresso em kg PO <sub>4</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício.....	104
Figura 6.14 – Potencial de criação de ozono fotoquímico do edifício A, expresso em kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	104
Figura 6.15 - Potencial de esgotamento de recursos abióticos do edifício A, expresso em kg Sb eq, por m <sup>2</sup> de edifício .....	104
Figura 6.16 - Potencial de destruição da camada de ozono do edifício A, expresso em kg CFC-11 eq, por m <sup>2</sup> de edifício.....	105

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores de $k_{mod}$ [19].....	17
Tabela 3.2 – Classes de duração das ações e exemplos de ações correspondentes [19].....	18
Tabela 3.3 – Valores de $k_{def}$ [19] .....	25
Tabela 3.4 – Valores limite para as flechas de vigas de madeira, segundo o EC5 [19].....	25
Tabela 5.1 – Danos estruturais em elementos resistentes horizontais .....	78
Tabela 5.2 – Danos estruturais em elementos resistentes horizontais .....	80
Tabela 5.3 – Coeficientes $\psi$ considerados [44].....	83
Tabela 5.4 – Ações permanentes ( $G_k$ ) e ações variáveis ( $Q_k$ ) consideradas [20,45] .....	83
Tabela 5.5 – Resistências de cálculo dos elementos de madeira existentes .....	84
Tabela 5.6 – Verificação de segurança aos ELU dos pavimentos de madeira existentes .....	84
Tabela 5.7 - Verificação de segurança aos ELS dos pavimentos de madeira existentes.....	85
Tabela 5.8 – Verificação de segurança aos ELU das madres e cumeeira de madeira existentes .....	86
Tabela 5.9 – Verificação de segurança aos ELS das madres e cumeeira de madeira existentes .....	86
Tabela 5.10 – Verificação de segurança aos ELU e ELS da asna A1 (rácios de segurança) .....	87
Tabela 5.11 – Verificação de segurança aos ELU e ELS da asna A2 (rácios de segurança) .....	87
Tabela 6.1 – Características dos casos de estudo. ....	92
Tabela 6.2 – Soluções adotadas para as estruturas novas em madeira e betão armado.....	93
Tabela 6.3 – Impactos ambientais considerados, e respetivas unidades. ....	96
Tabela 6.4 – Distâncias consideradas no transporte dos materiais.....	98
Tabela 6.5 – Consumos considerados, por $m^3$ de material.....	98
Tabela 6.6 – Processos utilizados para a análise do ciclo de vida.....	99
Tabela 6.7 – Acréscimo do potencial de acidificação em relação ao cenário 0.....	100

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.8 – Acréscimo do potencial de aquecimento global em relação ao cenário 0 .....	101
Tabela 6.9 – Acréscimo do potencial de eutrofização em relação ao cenário 0 .....	101
Tabela 6.10 – Acréscimo do potencial de criação de ozono fotoquímico em relação ao cenário 0 .....	102
Tabela 6.11 – Acréscimo do potencial de esgotamento de recursos abióticos em relação ao cenário 0	102
Tabela 6.12 – Acréscimo do potencial de destruição da camada de ozono em relação ao cenário 0.....	103
Tabela A-III.1 - Quadro resumo dos ensaios realizados nos elementos de madeira .....	123
Tabela A-III.2 – Resultados ensaios realizados nos elementos de madeira .....	124

## ABREVIATURAS

EC	Eurocódigo
ELS	Estado Limite de Serviço/Utilização
ELU	Estado Limite Último
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
GRAQ	Grupo de Reação e Análises Químicas
IDE	Inspeção e Diagnóstico Estrutural
INE	Instituto Nacional de Estatística
IO	Instituto de Odivelas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LAQV	Laboratório Associado para a Química Verde
LCA	<i>Life-cycle analysis</i> (Análise de Ciclo de Vida)
LCI	<i>Life-cycle Inventory</i> (Inventário do Ciclo de Vida)
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
REQUIMTE	Rede de Química e Tecnologia
RNC	Roteiro para a Neutralidade Carbónica



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A reabilitação de edifícios antigos assume, cada vez mais, um papel importante no setor da construção em Portugal. Apesar de ainda existir muita falta de conhecimento nesta área, a preocupação com a manutenção do património edificado tem vindo a aumentar, não só relativamente aos monumentos e/ou edifícios classificados, mas também em relação ao edificado corrente. No entanto, esta é uma ação complexa, sem estratégias pré-definidas e que depende de diversos aspetos do próprio edifício e da sua envolvente.

Cada edifício, no seu todo, é único e apresenta condições únicas, pelo que a reabilitação deve partir de um estudo detalhado sobre o mesmo, que permita conhecer a sua estrutura e o estado em que se encontra. A não realização de um trabalho de inspeção e diagnóstico resulta no desconhecimento do existente, não sendo possível atuar de forma a manter as estruturas e resultando, muitas vezes, na sua demolição – levando à prática de “fachadismo”.

A inspeção e diagnóstico é uma das tarefas mais importantes a desenvolver nesta área, na medida em que fundamenta a necessidade de intervenção e define a sua intensidade. Esta deve agrupar a caracterização construtiva e estrutural do edifício, sendo possível a realização de ensaios de diagnóstico (preferencialmente não destrutivos), a caracterização dos danos encontrados, a avaliação do estado de conservação dos elementos construtivos e a avaliação de segurança estrutural tendo em conta a regulamentação vigente. Só assim podem ser definidas as estratégias de reforço ou substituição a adotar.

A reabilitação bem fundamentada, onde são mantidos os elementos construtivos em bom estado de conservação, permite uma redução dos resíduos de construção e demolição, havendo menos demolições e menos adição de novos materiais. Prevê-se, também, que a reabilitação implicará menores impactos ambientais do que uma demolição e reconstrução, sendo esta uma ação positiva na sustentabilidade do edificado existente.

## **1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS**

Em Portugal existe cerca de um milhão de edifícios com necessidade de intervenção (dados dos Censos 2011 [1]) nomeadamente nos centros históricos compostos por edifícios que carregam testemunhos da evolução das cidades e da população. O centro histórico do Porto, por exemplo, apesar de estar classificado como Património Mundial pela UNESCO, sendo exigidos cuidados especiais de manutenção dado o seu valor histórico e arquitetónico, apresenta uma malha urbana bastante envelhecida e degradada. Apesar de a reabilitação ser cada vez mais evidente nos dias de hoje, existe ainda uma necessidade clara de adaptação de melhores técnicas de intervenção.

A intervenção no edificado existente exige conhecimentos sobre as tipologias construtivas antigas, materiais tradicionais, técnicas de inspeção e diagnóstico, entre outros, e é desta necessidade que surge a motivação para a realização deste estágio, uma vez que seria possível alargar os conhecimentos nesta área com o acompanhamento de trabalhos desenvolvidos pelo NCREP. Além disto, já existia um elevado interesse pessoal pela área da reabilitação de edifícios antigos, tendo o gosto por edifícios antigos e pela sua manutenção sido fomentado com a realização da licenciatura em Reabilitação do Património. Havia também uma forte motivação para realizar um estágio em ambiente empresarial, considerando que seria uma mais-valia para o percurso académico e futura vida profissional.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar as atividades desenvolvidas durante o período do estágio, dando também a conhecer o âmbito de ação da empresa acolhedora do estágio. As principais atividades desempenhadas consistem em trabalhos de inspeção e diagnóstico, essenciais na reabilitação do edificado existente, englobando diversas fases e incluindo a realização de ensaios de diagnóstico.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO**

Este relatório desenvolve-se ao longo de 7 capítulos, sendo o primeiro referente à introdução do mesmo, apresentando as considerações iniciais, a motivação e os objetivos do trabalho.

O capítulo 2 faz a apresentação da empresa onde foi realizado o estágio no âmbito da unidade curricular de DIPRE, mencionando a sua área de aplicação assim como os motivos para se destacar no mercado de trabalho onde se insere. Neste capítulo é também apresentado um resumo dos principais trabalhos desenvolvidos.

O capítulo 3 apresenta o resultado da pesquisa e revisão bibliográfica efetuada sobre os temas a abordar neste relatório e os trabalhos desenvolvidos no estágio, constituindo uma base importante para o mesmo. Neste capítulo é abordado o assunto da reabilitação das construções antigas, particularmente a sua importância na valorização dos edifícios existentes, sendo uma realidade cada vez mais presente e mais relevante na área da Engenharia Civil. Aprofunda ainda a necessidade e a relevância de um estudo de

inspeção e diagnóstico no âmbito da reabilitação, apontando os diversos pontos sobre o qual este estudo se deve focar. Apresenta também o método de cálculo definido pelo Eurocódigo 5 para a verificação de segurança de estruturas existentes em madeira e, de seguida, algumas medidas de intervenção normalmente utilizadas em projetos de reabilitação e reforço de estruturas de madeira e em alvenaria. Por fim, é feito um enquadramento sobre a importância da reabilitação no âmbito da sustentabilidade dos edifícios existentes, sendo depois apresentada a metodologia LCA, utilizada para avaliar os benefícios ambientais da inspeção e diagnóstico.

Os capítulos 4 e 5 resumem os principais trabalhos de inspeção e diagnóstico desenvolvidos pela aluna durante o período do estágio. O capítulo 4 refere-se à inspeção e diagnóstico do Mosteiro de Odivelas, sendo composto essencialmente pela análise histórica e caracterização dos elementos estruturais do mesmo. O capítulo 5 refere-se a um edifício habitacional na Maia, para o qual foi realizado um relatório de inspeção e diagnóstico, sendo aqui apresentadas a caracterização construtiva e estrutural, a caracterização de danos, a avaliação de segurança estrutural e ainda um resumo das sugestões de medidas de intervenção.

O capítulo 6 apresenta o estudo realizado no âmbito de avaliar os impactos ambientais da reabilitação estrutural, com vista a quantificar os benefícios que a inspeção e diagnóstico pode ter em termos ambientais. Neste capítulo é apresentada a metodologia adotada para o estudo, todas as suas condicionantes e os resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo 7 sintetiza todos os aspetos abordados anteriormente, concluindo o presente relatório e apresentando as principais considerações finais. Nesta secção são também apresentados os trabalhos a desenvolver futuramente.



## CAPÍTULO 2

### APRESENTAÇÃO DO ESTÁGIO

#### 2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. (Figura 2.1) é uma empresa de projeto e consultoria em Engenharia Civil, focada na área de conservação e reabilitação de construções existentes, que surgiu em 2011 do conhecimento e experiência na área da reabilitação de estruturas dos seus fundadores. Desenvolve diversos trabalhos no âmbito da reabilitação de construções antigas, desde inspeção e diagnóstico, projetos de reabilitação e reforço, monitorização estrutural, assim como no domínio das estruturas de betão armado e estruturas metálicas. Procura sempre, na sua abordagem, causar o mínimo impacto possível, respeitando a funcionalidade e segurança dos edifícios, assim como a sua história e valores. Desta forma, agindo de acordo com as recomendações internacionais e recorrendo a técnicas de inspeção tradicionais e modernas, segue uma metodologia com base num estudo pormenorizado da construção - inspeção e diagnóstico - a partir do qual são desenvolvidos projetos de reabilitação e reforço estrutural, respeitando a estrutura e os materiais existentes [2,3].



Figura 2.1 – Logotipo da entidade acolhedora do estágio – NCREP

A empresa foi ganhando reconhecimento ao longo dos anos, tendo já trabalhado em edifícios com elevado valor patrimonial como a Igreja dos Clérigos, o Seminário Maior de Coimbra, a Estação de São Bento, a Livraria Lello, entre muitos outros. Tem também sido distinguido com diversos prémios desde 2014, entre eles o Prémio Construir [4], o Prémio João de Almada [5], o Prémio Teotónio Pereira e o Prémio Nacional de Reabilitação Urbana [6].

## 2.2 APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS

No decorrer do período de estágio e em cooperação com a equipa do NCREP foram desenvolvidos diversos trabalhos dentro do campo de ação da empresa, desde ações de inspeção e diagnóstico, elaboração de relatórios técnicos, avaliação de segurança de estruturas existentes, entre outros.

Em primeiro lugar foi desenvolvida uma base de dados sobre as características mecânicas de paredes de alvenaria com base em ensaios com macacos planos realizados desde 2011 pela entidade acolhedora. Esta base de dados resultou da reunião da informação obtida em 47 ensaios realizados em paredes de alvenaria de pedra calcária, granítica e tijolo, distribuídas por 14 casos de estudo. Dos resultados de cada ensaio foram recolhidas informações como a tensão máxima atingida e os módulos de elasticidade obtidos através dos diagramas Tensão vs Extensão, sendo estes dados depois associados a uma imagem e a uma breve caracterização da parede ensaiada. Este trabalho, que não é apresentado neste documento, tinha como objetivo tornar a consulta de dados como a resistência e o módulo de elasticidade de uma parede de alvenaria mais direta, para utilização destes valores em trabalhos futuros.

Sendo a inspeção e diagnóstico estrutural (IDE) uma parte fulcral dos trabalhos desenvolvidos no NCREP, foi de extrema importância a participação nos trabalhos de IDE do Mosteiro de Odivelas, da Casa Milheirós, na Maia, e da Casa Renato Batista, em Lisboa, dada a sua diversidade construtiva.

O trabalho desenvolvido sobre o Mosteiro de Odivelas (Figura 2.2a) começou com uma pesquisa histórica aprofundada sobre o mesmo, que permitiu conhecer e compreender a evolução estrutural deste conjunto edificado. De seguida foi realizada uma campanha de inspeção que permitiu a caracterização geométrica e estrutural dos vários corpos que constituem este Mosteiro assim como o levantamento dos danos existentes. Nesta fase foi também elaborado um plano de janelas de sondagens e ensaios a realizar, de forma a complementar a informação recolhida primeiramente com recurso à inspeção visual. Este trabalho é apresentado com maior detalhe no capítulo 4.

A Casa Milheirós (Figura 2.2b), constituída por paredes exteriores em alvenaria de granito, paredes interiores de tabique e pavimentos e cobertura em estrutura de madeira, foi alvo de um estudo de inspeção e diagnóstico com o objetivo de avaliar o seu estado de conservação global. Sendo necessário conhecer a estrutura existente para a elaboração do projeto de reabilitação, foi realizado o levantamento estrutural, auxiliado por ensaios complementares e de diagnóstico, e, por fim, avaliada a sua segurança estrutural. No capítulo 5 são descritos os trabalhos realizados.

A inspeção à Casa Renato Batista (Figura 2.2c), edifício com tipologia construtiva tradicional de Lisboa, consistiu na identificação dos materiais estruturais existentes assim como no levantamento dos danos, resultando num relatório técnico de inspeção e diagnóstico que servirá de apoio à elaboração dos projetos de reabilitação. Este trabalho visava avaliar, além do estado de conservação da estrutura, a viabilidade da

proposta de intervenção da arquitetura, que previa a reorganização total dos espaços interiores, comprometendo as paredes interiores existentes. Uma vez que o projeto de arquitetura implicará a demolição das estruturas existentes, não foram realizados ensaios nem janelas de sondagem, não existindo um diagnóstico aprofundado para apresentar. Assim sendo, o resultado desta inspeção não é apresentado neste relatório.



a) Mosteiro de Odivelas



b) Casa Milheirós



c) Casa Renato Batista

Figura 2.2 – Casos de Estudo

Por fim, com o propósito de valorizar o trabalho desenvolvido no NCREP, em particular o de inspeção e diagnóstico, foi desenvolvido um estudo LCA de diversos cenários de reabilitação de 7 casos de estudo reais com o objetivo de avaliar a influência dos trabalhos de inspeção e diagnóstico na sustentabilidade de uma intervenção em edifícios existentes, conhecendo os impactos ambientais de cada cenário. Este estudo é apresentado no capítulo 6.



## CAPÍTULO 3

### INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A reabilitação de construções antigas tem vindo a assumir uma elevada importância na área da Engenharia Civil, sendo uma realidade cada vez mais presente nos dias de hoje, na medida em que há uma progressiva consciência de que é necessário preservar o património arquitetónico [7]. Em Portugal, as preocupações com o valor dos edifícios históricos surgiram ainda limitadas ao conceito de património associado aos monumentos, no entanto, atualmente engloba todo o edificado antigo. Com o decorrer do tempo, as preocupações foram crescendo e o conceito de património alargou-se ao edificado corrente habitacional, industrial e comercial que tem como materiais predominantes a pedra, a madeira e a cal [8].

A reabilitação engloba um conjunto de ações que visam o melhoramento das condições globais dos edifícios, nomeadamente no que respeita a condições de segurança, funcionalidade e conforto, honrando sempre a sua arquitetura, materiais e sistemas construtivos [7,8]. No entanto, devido a estudos económicos muitas vezes mal fundamentados ou pela crença de que os edifícios antigos não são capazes de obedecer às suas novas funções, as técnicas tradicionais de construção são frequentemente desrespeitadas, sendo adotada a prática da demolição e posterior reconstrução. Esta prática, substancialmente designada de “fachadismo”, ignora todos os princípios que devem ser seguidos na conservação e reabilitação e consiste na manutenção das paredes exteriores e reconstrução integral do interior do edifício (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Exemplo de “fachadismo”: reconstrução total do interior com solução nova em betão

Documentos como as Cartas e as Recomendações Internacionais reconhecem o valor dos sistemas construtivos existentes, colocando-os ao mesmo nível dos valores arquitetónico, histórico e artístico na área da conservação do património. Torna-se, assim, necessário que os edifícios sejam interpretados como um todo, dando a devida importância não só às suas fachadas e elementos decorativos, mas também aos seus materiais e técnicas construtivas [8]. Além disso, cada edifício, individualmente ou inserido num conjunto, constitui uma marca da história e da identidade arquitetónica e material da cidade onde se insere, devendo ser mantida a sua autenticidade [9].

Ainda no que respeita às recomendações internacionais para uma boa intervenção, a Carta de Cracóvia [10] aponta que as reconstruções de partes significativas de um edifício devem ser evitadas ou, quando necessárias e bem fundamentadas, devem exprimir uma linguagem arquitetónica atual, evitando a criação de falsos históricos. A Carta de Veneza já exprimia, anteriormente, que a existência de elementos construtivos referentes a diferentes épocas não constitui uma justificação para a manutenção de um só elemento em prejuízo dos restantes, devendo todos os estilos/épocas ser respeitados [11].

O desconhecimento das medidas a adotar nos edifícios existentes é um dos principais fatores de inércia no que diz respeito à reabilitação, sendo mais fácil adotar as práticas mais comuns utilizadas na construção nova (estruturas em betão armado). Porém, é fundamental perceber que todos os edifícios constituem cenários distintos e que cada um deve ser abordado de acordo com as suas características e necessidades, devendo a reabilitação ser sempre encarada como uma ação prática e regeneradora, que deve ser praticada naturalmente [12].

A intervenção em edifícios antigos deve suceder uma avaliação dos mesmos que justifique a sua necessidade e a intensidade, sendo um aspeto decisivo para uma boa aplicação das medidas de intervenção [9]. O estado de conservação de cada edifício define o nível de intervenção necessário, desde ações de conservação e restauro, maioritariamente não estruturais e de resolução de anomalias, a ações de reabilitação mais profundas ou de reforço estrutural.

A manutenção é também uma ação de grande relevância no âmbito da conservação do património construído, devendo ser permanente de acordo com as recomendações da Carta de Veneza [11]. Esta consiste num conjunto de trabalhos destinados a manter o estado de conservação atual do edifício (limpezas, pinturas, pequenas reparações, etc.), podendo, em muitos casos, prevenir o aparecimento de diversas anomalias, o que constitui o melhor cenário quer ao nível da utilização do edifício, quer do ponto de vista da sua conservação [7].

### 3.2 PRINCÍPIOS DE REABILITAÇÃO

Edifícios antigos são todos aqueles, caracterizados pelos materiais e técnicas de construção tradicionais, que foram construídos antes da generalização da utilização do betão armado como material estrutural. A importância do estudo destes edifícios é crescente na medida em que há cada vez mais interesse em conservar o património construído [7,8]. No entanto, intervir no património edificado dotado destas características tem alguns condicionalismos e limitações, sendo estes ainda maiores quando o objeto de intervenção é património classificado. As construções existentes exigem um tratamento especial devido ao seu valor histórico e cultural, assim como ao testemunho que cada edifício carrega, sendo fundamental a preservação das técnicas e dos materiais tradicionais.

Vários autores defendem que, na base da decisão das práticas a adotar em qualquer projeto de reabilitação, devem ser respeitados os seguintes princípios gerais [8]:

1. “Nenhuma ação deve ser empreendida sem se demonstrar a sua indispensabilidade” – princípio da intervenção mínima que sugere que devem ser adotadas, preferencialmente, medidas de manutenção e reparação, que assegurem as condições mínimas de segurança e durabilidade;
2. “Prioritariamente, deverá ser a função a adaptar-se ao edifício e não o edifício à função” – princípio que alerta para a possível incompatibilidade dos níveis de segurança adotados no dimensionamento de edifícios novos, podendo estes implicar ações excessivas. Na verificação de segurança de estruturas existentes pode ser necessária a adoção de métodos alternativos e devidamente justificados que permitam uma diferente abordagem da segurança;
3. “Deve existir compatibilidade química e física entre os materiais” – princípio fundamental, quando existe introdução de materiais novos, que minimiza a probabilidade de degradação dos materiais e o aparecimento de novas anomalias;
4. “As medidas de intervenção devem ser reversíveis” – princípio que permite a reposição das condições do edifício previamente à intervenção, não comprometendo ações futuras, nomeadamente de aplicação de técnicas mais eficazes e duradouras;
5. “O respeito pelo edifício, pela sua história e pelas técnicas construtivas originais (...) deve estar presente em qualquer projeto de reabilitação” – princípio geral que implica o cumprimento dos princípios anteriores (Figura 3.2).

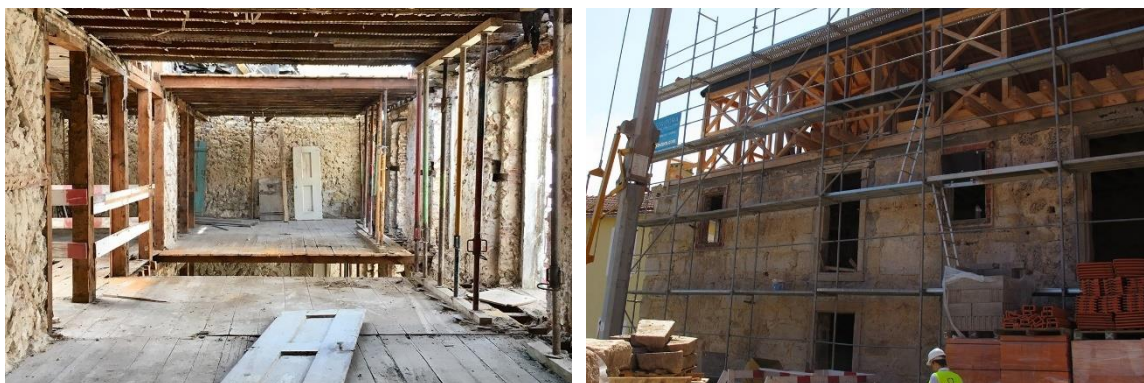


Figura 3.2 – Exemplo de boas práticas de intervenção, com manutenção das estruturas de madeira (esquerda) e introdução de estrutura nova em madeira (direita) [13]

### 3.3 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

A intervenção no edificado existente implica um conhecimento e respeito pelo próprio edifício alvo de intervenção, sendo indispensável que haja uma avaliação inicial do seu estado atual. Como já foi mencionado anteriormente, cada edifício é um caso único, pelo que deve ser realizado um estudo prévio adequado, de forma a serem adotadas as metodologias mais adequadas a cada caso [7].

Dada a complexidade das estruturas dos edifícios antigos, devido à heterogeneidade dos elementos estruturais e dos seus materiais, existe uma dificuldade acrescida relativamente ao conhecimento do funcionamento das mesmas. No entanto, a fim de respeitar a história do edifício, é necessário realizar variadas ações de inspeção que ultrapassam os limites do que é a estrutura do mesmo [14]. Numa fase de inspeção e diagnóstico, é importante que seja recolhida toda a informação possível sobre o edifício, nomeadamente sobre a sua estrutura original, as técnicas utilizadas, eventuais alterações posteriores à época de construção, bem como fenómenos que possam ter ocorrido, e o seu estado atual. O estudo prévio deve ainda incluir uma análise histórica que permita datar a sua construção e, assim, perceber a sua estrutura e os materiais que a compõem [15].

Apesar do caráter particular de cada edifício, a verdade é que a metodologia de inspeção a adotar em cada um deles pode seguir as mesmas diretrizes. Após a análise de diversas fontes, foram reunidos os principais pontos a ter em atenção na realização de um estudo prévio, mencionados por Freitas [8] e Arêde e Costa [14], resultando na seguinte metodologia:

1. **Pesquisa histórica** – esta pesquisa permitirá concluir sobre diversos aspetos que ajudarão a interpretar o funcionamento do edifício e da sua estrutura, como a sua data de construção, os critérios assumidos no projeto inicial, eventuais alterações/intervenções e técnicas/materiais utilizados. Esta fase pode depender de uma pesquisa mais exaustiva de documentos oficiais

relativos ao edifício, como também resultar de simples conversas com pessoas que o conhecem bem;

2. **Recolha e análise da informação disponível (escrita e desenhada)** – este aspeto está diretamente ligado ao ponto anterior, no entanto refere-se, mais estritamente, a elementos de projetos antigos, nomeadamente peças desenhadas, que podem constituir um ponto de partida para um projeto futuro de reabilitação;
3. **Levantamento arquitetónico** (quando necessário) – no caso de edifícios antigos, principalmente quando não foram alvo de intervenções recentes, podem não existir peças desenhadas atualizadas, uma vez que nem sempre foi obrigatório submeter projetos nas entidades licenciadoras para realizar alterações nos mesmos. Assim sendo, pode ser necessário proceder a um levantamento geométrico exaustivo, quer para criação de novas peças desenhadas, quer para confirmação de peças existentes. Este levantamento pode ser efetuado com meios tradicionais ou com recurso a técnicas mais avançadas;
4. **Definição de plantas estruturais** – além das plantas arquitetónicas que nos dão informação sobre a compartimentação, paredes e aberturas (dimensões e localização), é de extrema importância definir as plantas estruturais de cada piso, assim como da cobertura, nas quais devem ser identificadas as dimensões dos elementos estruturais, assim como os seus materiais constituintes;
5. **Registo fotográfico** – após o reconhecimento do edifício através das peças desenhadas, deve ser realizado um registo fotográfico detalhado de todo o edifício e, se possível, localizado nas plantas disponíveis. Este registo fotográfico revela ser de grande importância uma vez que permite manter em base de dados testemunhos do estado do edifício aquando das visitas, assim como também poderá ser um bom recurso no esclarecimento de algumas dúvidas, dispensando mais visitas ao local;
6. **Levantamento exaustivo do estado de degradação, com identificação de todas as anomalias** – o registo das anomalias existentes é mais um ponto fulcral num trabalho de inspeção e diagnóstico, sendo um dos principais objetivos de uma obra de reabilitação a correção das mesmas. Este levantamento é efetuado durante as visitas ao edifício, recorrendo uma vez mais ao registo fotográfico, durante as quais também devem ser averiguadas as suas causas. Deve ser efetuado o registo das anomalias do interior e do exterior do edifício, podendo ou não existir ligação entre elas;
7. **Definição de ensaios, sondagens e/ou medições a realizar** – a realização de ensaios permite uma melhor caracterização do edifício, principalmente no que se refere às características mecânicas,

físicas e químicas dos materiais, permitindo avaliar o comportamento da estrutura. Estes ensaios podem ser realizados em laboratório, através da recolha de amostras, ou *in situ* através de práticas pouco ou não destrutivas. Além da caracterização dos materiais, também é comum avaliar as condições higrotérmicas no interior do edifício, assim como realizar ensaios estáticos ou dinâmicos, para avaliação do comportamento estrutural ou validação de modelos estruturais;

8. **Implementação de um plano de monitorização** (quando necessário) – a monitorização é uma medida a considerar, essencialmente em edifícios com elevado valor patrimonial, quando existe necessidade de quantificar os movimentos da estrutura;
9. **Sugestão de intervenção** – na medida em que os profissionais responsáveis pela inspeção e diagnóstico do edifício conhecem melhor o edifício e o seu estado atual, poderão sugerir algumas medidas de intervenção adequadas com base na informação adquirida até ao momento. Preferencialmente, o estudo prévio deve ser acompanhado ou até dirigido pelos autores do projeto.

A definição de uma metodologia de inspeção adequada constitui o ponto de partida para a avaliação do estado atual de um edifício. No entanto, levantamentos e estudos desapropriados, que não têm por base o conhecimento dos materiais, técnicas construtivas, danos, etc. do edifício em questão, podem ter efeitos negativos ao nível do projeto e da intervenção, podendo comprometer a sua conservação no futuro [9].

A inspeção e diagnóstico resultam num estudo complexo, combinando ações distintas, que deve sustentar corretamente as medidas de intervenção a adotar. Muitas vezes, diagnósticos rigorosos permitem conhecer a qualidade das estruturas e dos materiais existentes, sendo recomendada a sua preservação e reabilitação. Apesar de muitas vezes não se acreditar que os edifícios antigos são capazes de suportar novas funções, a verdade é que a principal causa da degradação de grande parte do edificado antigo é o abandono e a falta de manutenção adequada e não a qualidade construtiva [8].

### 3.4 ENSAIOS DE DIAGNÓSTICO

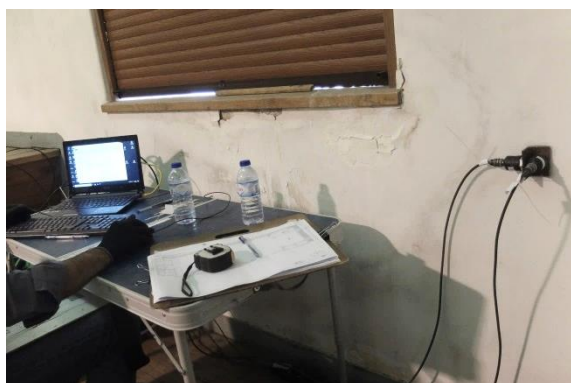
A inspeção visual de estruturas existentes, para a avaliação do seu comportamento e estado de conservação, pode ser auxiliada por um conjunto de ferramentas e/ou ensaios (*in situ* e/ou em laboratório). Estes ensaios podem dividir-se em 3 categorias: destrutivos, ligeiramente destrutivos e não-destrutivos.

Os ensaios destrutivos não devem ser utilizados na caracterização de estruturas a reabilitar, tendo em conta os princípios de conservação dos materiais e técnicas construtivas. Estes são habitualmente

utilizados no âmbito de estudos científicos, quando existe potencial de serem obtidos resultados de valor, em construções que não possuam qualquer valor histórico e estejam destinadas à demolição [14].

Os ensaios não-destrutivos, não implicando ações invasivas na estrutura, fornecem resultados, usualmente, do tipo qualitativo, e consistem numa avaliação inicial das características dos materiais. É dada prioridade à realização destes ensaios na inspeção de construções com elevado valor patrimonial, como monumentos e edifícios classificados, na medida em que se devem evitar ações mais intrusivas. Apesar da natureza qualitativa dos resultados, é possível obter uma boa caracterização estrutural através da conjugação de diversos ensaios e da elaboração e calibração de modelos estruturais, como foi efetuado no estudo da Catedral de Sevilha [16]. Alguns exemplos de ensaios não-destrutivos são: ensaios ultrasónicos, que permitem obter uma estimativa do módulo de elasticidade e da resistência à compressão, conhecer a homogeneidade dos materiais constituintes e detetar a presença de fendas ou vazios; ensaios dinâmicos (Figura 3.3a), que permitem avaliar o comportamento e a integridade estrutural, tendo em conta a sua rigidez, e revelam ser essenciais na calibração de modelos numéricos; ensaios com câmaras termográficas, que permitem identificar algumas anomalias, como humidades/infiltrações, diferenças de materiais ou fissuras, através das diferenças de temperatura detetadas; e ensaios de caracterização dos materiais como o ensaio com *Resistograph* (Figura 3.3b), a medição do teor em água com recurso a um higrómetro (Figura 3.3c) e o ensaio com *Ferroskan* (Figura 3.3d) [14,16].

Por outro lado, através de perturbações mínimas, os ensaios ligeiramente destrutivos permitem obter informação mais detalhada, sendo possível quantificar o comportamento dos materiais e dos elementos estruturais. Algumas das técnicas mais utilizadas são: carotagem e posteriores ensaios laboratoriais para determinar as características mecânicas, físicas e químicas dos materiais; ensaios com macacos planos, que permitem conhecer algumas características das alvenarias, como o módulo de elasticidade; e ensaios com dilatómetro, que permitem determinar o módulo de deformabilidade dos materiais. Estes ensaios devem ter em conta os pressupostos da intervenção e causar o mínimo impacto possível [14,17].



a) Ensaio dinâmico



b) Ensaio com Resistograph



c) Medição do teor em água da madeira [11]



d) Ensaio com Ferroskan

Figura 3.3 – Exemplos de ensaios não destrutivos de caracterização das estruturas

### 3.5 REABILITAÇÃO ESTRUTURAL

Não existem estratégias pré-definidas na reabilitação, uma vez que cada edifício é um caso único e acarreta características e necessidades distintas. Como já foi frisado anteriormente, as medidas de intervenção devem partir de um estudo prévio detalhado que conclui sobre o estado atual do edifício, os materiais e as técnicas construtivas utilizadas, assim como as anomalias existentes e as suas causas.

Um relatório de inspeção e diagnóstico deve justificar a necessidade e o nível das ações de intervenção que dependem do estado de conservação do edifício e dos seus elementos. No entanto, no caso de uma intervenção ao nível estrutural, deve ainda ser realizada uma avaliação da segurança atual da estrutura, sendo decididas nesta fase as ações a adotar a este nível. A avaliação de segurança, essencialmente no que diz respeito à deformação dos elementos estruturais, pode ainda representar um ponto fundamental na interpretação de alguns danos observados [18].

#### 3.5.1 Verificação de Segurança de Estruturas de Madeira

A verificação de segurança das estruturas existentes visa avaliar a adequabilidade das estruturas às cargas atuantes, quer para as condições de carregamento no seu estado atual (na fase de inspeção), quer para as condições de carregamento previstas em projeto de execução. Esta deve ser efetuada tendo em conta a geometria de cada elemento estrutural que deve ser caracterizada *in situ* durante as campanhas de inspeção. No que diz respeito às estruturas de madeira, a verificação de segurança é feita de acordo com a norma NP EN 1995-1-1 – Eurocódigo 5: Projeto de estruturas de madeira [19] e segue os pressupostos resumidos neste capítulo.

Em primeiro lugar é necessário conhecer as propriedades da madeira, tendo em conta o tipo de madeira existente e a sua classe resistente, sendo as madeiras utilizadas mais correntemente em Portugal o Pinho Bravo (ou Pinho Nacional - classe C18) e o Castanho (classe D30). Além disto, estima-se que a madeira

perde cerca de 40% da sua capacidade resistente instantânea inicial, devido ao efeito de fluência e ao ambiente de serviço, sob carregamento de longa duração. Assim sendo, além dos valores característicos das propriedades mecânicas da madeira, definidos na EN 338 [20], é necessário calcular os valores de cálculo, tendo em conta o fator  $k_{mod}$ , que tem em consideração este efeito na minoração da capacidade resistente do material, através da seguinte fórmula:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (3.1)$$

Onde:

$k_{mod}$  – fator de correção que tem em conta o efeito da duração das ações e do teor de água da madeira nos parâmetros de resistência da mesma;

$\gamma_M$  – coeficiente parcial de segurança para a propriedade de um material: 1,30 para a madeira maciça e 1,25 para a madeira lamelada colada.

O fator  $k_{mod}$  depende da classe de serviço da estrutura (que se destina a definir as propriedades dos materiais tendo em conta as condições ambientais a que estão sujeitos) e da classe de duração das ações (que define a ordem de grandeza da duração de uma ação durante a vida útil da estrutura) e é definido pela Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores de  $k_{mod}$  [19]

Material	Classe de serviço	Classe de duração das ações				Instantânea
		Permanente	Longa duração	Media duração	Curta duração	
Madeira maciça / Madeira lamelada colada	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

As classes de serviço dependem essencialmente do teor em água dos materiais e da humidade relativa do ar do ambiente em que estão inseridos, sendo definidas abaixo, de acordo com o Eurocódigo 5 [19]:

- **Classe de serviço 1:** elementos em ambiente interior protegido, caracterizado por uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa do ar ambiente superior a 65% durante algumas semanas por ano. O teor em água médio das madeiras (resinosas) não deverá exceder os 12%;
- **Classe de serviço 2:** elementos em ambiente interior não protegido ou exterior não sujeito à ação direta da água das chuvas e com eventual contacto com água líquida, caracterizado por uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa do ar ambiente superior a 85% durante algumas semanas por ano. O teor em água médio das madeiras (resinosas) não deverá exceder os 20%;

- **Classe de serviço 3:** elementos em ambiente exterior sujeito à ação direta da água das chuvas, muitas vezes e por longos períodos. Condições climáticas que conduzem a um teor de água médio dos materiais superior aos que se verificam na classe de serviço 2.

As classes de duração das ações são caracterizadas pelo efeito que uma ação constante, durante um certo período de tempo, tem na estrutura ao longo do seu ciclo de vida. Para efeitos de cálculo deve ser considerada a ação com duração mais curta, tendo em conta as classes definidas pelo Eurocódigo 5 [19] apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classes de duração das ações e exemplos de ações correspondentes [19]

Classe de duração das ações	Ordem de grandeza da duração acumulada do valor característico da ação	Exemplos de ações
Permanente	Superior a 10 anos	Peso próprio
Longa duração	6 meses – 10 anos	Produtos armazenados
Média duração	1 semana – 6 meses	Sobrecargas em pavimentos
Curta duração	Inferior a uma semana	Neve; vento
Instantânea		Vento; ação de acidente

Quando estamos perante esforços de tração ou flexão, o valor de cálculo das propriedades mecânicas da madeira pode ainda ser afetado pelo coeficiente efeito de volume  $k_h$ , que considera a presença de defeitos que podem influenciar a resistência do material a estes esforços. Este coeficiente é calculado em função da altura,  $h$ , e depende do tipo de madeira utilizada. O valor do  $k_h$  deve ser calculado tendo em conta o eixo submetido aos esforços e é dado pelas expressões:

$$k_h = \left[ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right], h \leq 150mm \quad (\text{para a madeira maciça}) \quad (3.2)$$

$$k_h = \left[ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right], h \leq 600mm \quad (\text{para a madeira lamelada colada}) \quad (3.3)$$

De acordo com Costa (2015) [19], a verificação de segurança de pavimentos deve ser realizada para os estados limite últimos (ELU), tendo em conta os esforços a que estão sujeitos, assim como para os estados limite de utilização. Assim sendo, deverá ser efetuada a verificação à flexão simples com e sem bambeamento das vigas principais, a verificação ao esmagamento dos apoios devido à compressão perpendicular ao fio e a verificação ao corte. Relativamente aos estados limite de utilização (ELS), devem ser verificadas as deformações e as vibrações dos pavimentos, de modo a satisfazer as condições de conforto dos mesmos.

Quanto às coberturas, a verificação de segurança deve ser dividida pelas diferentes peças que as compõem. No que toca aos estados limite últimos, tendo em conta os principais elementos que constituem, por norma, a estrutura de uma cobertura, devem ser verificadas as seguintes condições:

- Flexão simples ou desviada (dependendo da posição das peças), com e/ou sem bambeamento, das madres e cumeeira;
- Flexão composta com compressão e encurvadura das pernas;
- Compressão e encurvadura das escoras;
- Tração do pendural;
- Flexão composta com tração da linha.

Além da verificação aos estados limite últimos de resistência, deve ainda ser verificado o estado limite de deformação dos vários elementos.

De seguida serão apresentadas as condições para as verificações de segurança mencionadas anteriormente.

#### **Verificação à tração (ELU)**

A verificação da segurança à tração paralela ao fio é dada por:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (3.4)$$

Onde:

$\sigma_{t,0,d}$  – valor de cálculo da tensão atuante de tração paralela ao fio;

$f_{t,0,d}$  – valor de cálculo da tensão resistente de tração paralela ao fio.

#### **Verificação à compressão paralela ao fio (ELU)**

A verificação da segurança à compressão paralela ao fio é dada por:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (3.5)$$

Onde:

$\sigma_{c,0,d}$  – valor de cálculo da tensão atuante de compressão paralela ao fio;

$f_{c,0,d}$  – valor de cálculo da tensão resistente de compressão paralela ao fio.

A verificação à compressão deve ainda ter em conta se, para as condições existente, existe encurvadura das peças. Se existir encurvadura, a verificação da segurança à compressão paralela ao fio é dada por:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (3.6)$$

Onde:

$k_c$  – coeficiente de encurvadura que permite determinar a redução da resistência à compressão das peças sujeitas ao efeito de encurvadura. O cálculo deste coeficiente é definido de seguida.

### **Instabilidade por encurvadura (ELU)**

Na verificação de segurança de estruturas existentes assume-se que pode ocorrer instabilidade segundo os dois eixos principais de inércia,  $y$  e  $z$ . É considerado que existe instabilidade por encurvadura quando o valor da esbelteza relativa,  $\lambda_{rel}$ , calculado de acordo com as expressões apresentadas abaixo, é superior a 0,3.

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.7)$$

$$\lambda_i = \frac{l_{v,i}}{i_i} \quad (3.8)$$

$$l_{v,i} = \beta \cdot l \quad (3.9)$$

$$i_i = \sqrt{\frac{I_i}{A}} \quad (3.10)$$

Onde:

$\lambda_{rel,i}$  – coeficiente relativo de esbelteza correspondente à instabilidade em relação ao eixo  $i$ ;

$\lambda_i$  – coeficiente de esbelteza correspondente à instabilidade em relação ao eixo  $i$ ;

$l_{v,i}$  – comprimento de encurvadura em relação ao eixo  $i$ ;

$i_i$  – raio de giração no plano de encurvadura em relação ao eixo  $i$ ;

$E_{0,05}$  – valor correspondente ao quantilho de 5% do módulo de elasticidade paralela ao fio;

$\beta$  – coeficiente para contabilização da flexibilidade das ligações, que corrige o comprimento teórico de encurvadura, calculado de acordo com a Resistência dos Materiais, por um comprimento efetivo;

$l$  – comprimento da peça sujeita à compressão;

$I_i$  – momento de inércia em relação ao eixo  $i$ ;

$A$  – área da secção sujeita à compressão.

No caso de existência de encurvadura ( $\lambda_{rel} > 0,3$ ), o valor de cálculo da tensão resistente de compressão deve ser afetado pelo coeficiente de encurvadura,  $k_c$ , que é dado por:

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}} \quad (3.11)$$

$$k_i = (1 + \beta_c(\lambda_{rel,i} - 0,3) + \lambda_{rel,i}^2) \quad (3.12)$$

Onde:

$k_{c,i}$  – coeficiente de encurvadura em relação ao eixo  $i$ ;

$k_i$  – fator de instabilidade em relação ao eixo  $i$ ;

$\beta_c$  – coeficiente que tem em conta os limites de retidão dos elementos. Toma o valor de 0,2 para a madeira maciça e 0,1 para a madeira lamelada colada.

### **Verificação à compressão perpendicular ao fio (ELU)**

A verificação da segurança de elementos submetidos à compressão perpendicular ao fio é dada por:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (3.13)$$

Onde:

$\sigma_{c,90,d}$  – valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio;

$f_{c,90,d}$  – valor de cálculo da tensão resistente de compressão perpendicular ao fio;

$k_{c,90}$  – fator de majoração da resistência à compressão que tem em conta a configuração do carregamento, a possibilidade de fendimento e o grau de deformação por compressão.

A verificação à compressão perpendicular ao fio (ou esmagamento) depende da área efetiva de contacto, calculada de acordo com o que é definido no Eurocódigo 5 [19].

### **Verificação à flexão simples (ELU)**

Para ser verificada a segurança à flexão simples devem ser satisfeitas as seguintes condições:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.14)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.15)$$

Onde:

$\sigma_{m,y,d}$  e  $\sigma_{m,z,d}$  – valores de cálculo das tensões atuantes de flexão em relação aos eixos principais;

$f_{m,y,d}$  e  $f_{m,z,d}$  – valores de cálculo das correspondentes tensões resistentes de flexão;

$k_m$  – coeficiente que traduz um margem para redistribuição de tensões pelos eixos principais, assim como o efeito da heterogeneidade do material numa secção. Este coeficiente toma o valor de 0,7 para secções retangulares e de 1,0 para outras secções.

**Flexão composta com tração (ELU)**

Para ser verificada a segurança à flexão composta com tração devem ser satisfeitas as seguintes condições:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.16)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.17)$$

**Flexão composta com compressão (ELU)**

Para ser verificada a segurança à flexão composta com compressão devem ser satisfeitas as seguintes condições:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.18)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.19)$$

No caso de existência de encurvadura, à semelhança com o que acontece na verificação à compressão, o valor de cálculo da tensão resistente de compressão deve ser afetado pelo coeficiente de encurvadura,  $k_c$ . Neste caso, a interação entre a flexão e a compressão dos elementos deixa de ser quadrática, sendo esta verificação dada por:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.20)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.21)$$

**Instabilidade lateral-torsional - bambeamento (ELU)**

A verificação de segurança à flexão deve ainda ter em conta a possibilidade de instabilidade lateral-torsional, provocada por um momento crítico. No caso de existir bambeamento, o valor de cálculo da tensão resistente à flexão,  $f_{m,d}$ , deve ser afetado pelo coeficiente que tem em conta a redução da resistência à flexão devido à encurvadura,  $k_{crit}$ , que é dado por:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & , \text{ para } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & , \text{ para } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases} \quad (3.22)$$

Onde:

$\lambda_{rel,m}$  – coeficiente relativo de esbelteza correspondente à flexão.

A verificação da resistência ao bambeamento deve ser efetuada quando existe flexão simples em relação ao eixo de maior inércia, assim como quando existe flexão em torno do eixo de menor inércia em simultâneo com esforços axiais de compressão. Considera-se que existe bambeamento quando o valor da esbelteza relativa,  $\lambda_{rel,m}$ , calculado de acordo com as expressões apresentadas abaixo, é superior a 0,75.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (3.23)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h m l} E_{0,05} \quad (3.24)$$

Onde:

$\sigma_{m,crit}$  – tensão crítica de flexão;

$b$  e  $h$  – largura e altura da viga, respetivamente;

$m$  – fator de momento uniforme equivalente, definido em [19];

### **Verificação ao corte (ELU)**

Devido à anisotropia da madeira, o esforço transversal pode originar diferentes solicitações, tendo em conta a orientação das fibras. Segundo Costa (2015) [19], a verificação de segurança ao corte considera a rotura pelo esmagamento das fibras devido ao esforço de corte no plano transversal. A segurança ao corte é verificada quando o valor de cálculo da tensão máxima de corte,  $\tau_{s,d}$ , é inferior ao valor de cálculo da resistência ao corte,  $\sigma_{v,d}$ . O valor máximo de corte a que uma peça está sujeita é dado pela tensão tangencial que se desenvolve a meia altura da secção e é calculado de acordo com as seguintes expressões:

$$\tau_{s,d} = \frac{3 V_{Ed}}{2 A} \quad (\text{para secções retangulares}) \quad (3.25)$$

$$\tau_{s,d} = \frac{4 V_{Ed}}{3 A} \quad (\text{para secções circulares}) \quad (3.26)$$

Onde:

$V_{Ed}$  – esforço transversal atuante;

$A$  – área da secção.

Quando os elementos estão submetidos à flexão, deve ser considerado o efeito de possíveis fendas através da redução da largura da secção. Assim sendo, deve ser considerada uma largura reduzida da secção,  $b_{ef}$ , obtida a partir de um fator  $k_{cr}$ :

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad (3.27)$$

Onde:

$k_{cr}$  – fator de redução da largura da secção, tendo em conta o efeito das fendas. Toma o valor de 0,67 para as madeiras maciça e lamelada colada e de 1,0 para outros derivados de madeira;

$b$  – largura da secção.

### Verificação ao estado limite de deformação (ELS)

A verificação à deformação deve ter em conta a deformação instantânea,  $u_{inst}$ , calculada para a combinação característica de ações, assim como a deformação final,  $u_{fin}$ , calculada a partir da primeira, para a combinação de ações quase-permanente. O cálculo destas deformações é dado pelas seguintes expressões:

$$u_{inst} = \frac{5 P_{Ed} l^4}{384 E I} \quad (3.28)$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} \quad (3.29)$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) = \frac{5 G_k l^4}{384 E I} (1 + k_{def}) \quad (3.30)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) = \frac{5 Q_{k,1} l^4}{384 E I} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (3.31)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) = \frac{5 Q_{k,i} l^4}{384 E I} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad (3.32)$$

Onde:

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

$u_{fin,G}$ ,  $u_{fin,Q,1}$  e  $u_{fin,Q,i}$  – deformações finais para as ações  $G$ ,  $Q_1$  e  $Q_i$ , respetivamente;

$P_{Ed}$  – Valor de cálculo das ações atuantes, resultante da combinação característica de ações ( $G_k + Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ );

$G_k$ ,  $Q_{k,1}$  e  $Q_{k,i}$  – Valores característicos das ações permanentes, variável base e variáveis acompanhantes;

$k_{def}$  – coeficiente de fluência (definido na

Tabela 3.3);

$\psi_{0,i}$ ,  $\psi_{2,1}$  e  $\psi_{2,i}$  – coeficientes os valores de combinação e quase-permanente das ações variáveis.

Tabela 3.3 – Valores de  $k_{def}$  [19]

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

O Eurocódigo 5 [19] prevê ainda a possibilidade de uma peça possuir contra flecha, sendo que o cálculo da deformação final é obtido através da soma das deformações devidas às cargas permanentes, cargas variáveis e deformações de contra flecha. Desprezando as deformações devido à contra flecha, as deformações são limitadas pelos parâmetros definidos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Valores limite para as flechas de vigas de madeira, segundo o EC5 [19]

	$u_{inst}$	$u_{fin}$
Viga sobre dois apoios	$l/500$ a $l/500$	$l/250$ a $l/350$
Viga em consola	$l/150$ a $l/250$	$l/125$ a $l/175$

#### Verificação ao estado limite de vibração (ELS)

A verificação da vibração dos pavimentos visa assegurar as condições de conforto e segurança adequadas. Esta verificação tem em conta a frequência fundamental de um pavimento em madeira,  $f_1$ , assim como as vibrações de baixa e alta frequência. O cálculo da frequência fundamental dos pavimentos pode ser feito a partir da fórmula aproximada, representativa de uma viga simplesmente apoiada com carga uniformemente distribuída, dada por:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \quad (3.33)$$

Onde:

$l$  – vão do pavimento, em m;

$(EI)_L$  – rigidez equivalente de flexão do pavimento, segundo o eixo perpendicular à direção das vigas, em  $N \cdot m^2/m$   $\left( = \frac{E \cdot I_{viga}}{l_{i,vigas}} \right)$ ;

$m$  – massa por unidade de área, em  $kg/m^2$ .

O Eurocódigo 5 [19] especifica duas verificações, às vibrações de baixa e alta frequência, para pavimentos com frequência fundamental superior a 8 Hz, sendo que quando esta é inferior a 8 Hz os pavimentos devem ser alvo de uma análise específica.

A verificação para vibrações de baixa frequência estabelece que a flecha vertical máxima instantânea,  $u$ , causada por uma força concentrada,  $F$ , deve ser inferior a um parâmetro  $a$ , que é limitado em função do vão do pavimento. Esta verificação é dada por:

$$\frac{u}{F} \leq a = \frac{1000 \cdot k_{dist} \cdot l_{eq}^3 \cdot k_{amp}}{48 \cdot (EI)_{viga}} \leq \begin{cases} 1,8 \text{ (mm)} & \text{para } l \leq 4 \text{ m} \\ \frac{16500}{l^{1,1}} \text{ (mm)} & \text{para } l > 4 \text{ m} \end{cases} \quad (3.34)$$

$$k_{dist} = \max \left\{ 0,38 - 0,08 \ln \left[ \frac{14(EI)_b}{s^4} \right]; 0,30 \right\} \quad (3.35)$$

$$l_{eq} = \begin{cases} l & \text{para vigas simplesmente apoiadas} \\ 0,9l & \text{para vãos extremos de vigas contínuas} \\ 0,85l & \text{para vãos intermédios de vigas contínuas} \end{cases} \quad (3.36)$$

$$k_{amp} = \begin{cases} 1,05 & \text{para vigas simplesmente apoiadas} \\ 1,10 & \text{para vigas contínuas} \end{cases} \quad (3.37)$$

Onde:

$k_{dist}$  – proporção de carga de 1 kN suportada por uma viga;

$l_{eq}$  – vão equivalente que tem em conta a continuidade das vigas de pavimento;

$k_{amp}$  – fator de amplificação que tem em conta as deformações das vigas por corte;

$(EI)_{viga}$  – rigidez de flexão de uma viga, em  $\text{N}\cdot\text{m}^2$  ( $= E \cdot I_{viga}$ );

$(EI)_b$  – rigidez de flexão do soalho, segundo o eixo de flexão paralelo à direção das vigas, em  $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{m}$  ( $= \frac{E \cdot I_{soalho}}{l_{i,soalho}}$ );

$s$  – espaçamento médio entre vigas principais.

A verificação para vibrações de alta frequência é feita através do cálculo da velocidade máxima de deformação,  $v$ , da zona central de um pavimento, provocada por um impulso de 1 N·s, e é dada por:

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200} \leq b f_1 \cdot \zeta^{-1} \quad (3.38)$$

$$n_{40} = \left\{ \left[ \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left( \frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (3.39)$$

$$b = \begin{cases} 180 - 60 a & , \text{ com } a \geq 1 \text{ mm} \\ 160 - 40 a & , \text{ com } a < 1 \text{ mm} \end{cases} \quad (3.40)$$

Onde:

$n_{40}$  – número de modos de vibração de primeira ordem com frequências próprias até 40 Hz;

$\zeta$  – coeficiente de amortecimento, considerado igual a 0,02.

### 3.5.2 Medidas de Intervenção

Com base na interpretação do estudo de diagnóstico complementado com a avaliação de segurança das estruturas, são identificados os elementos com necessidade de intervenção, podendo ser adotadas ações a vários níveis:

1. Conservação e restauro – ações sobretudo não estruturais direcionadas, essencialmente, para a conservação dos materiais e/ou correção de danos, com vista a prolongar a vida-útil dos mesmos. Neste campo de aplicação, a estrutura apresenta capacidade resistente suficiente;
2. Reabilitação/Reabilitação Estrutural – ações que têm como objetivo a reposição das condições originais da estrutura. Consiste na aplicação de medidas mínimas e pontuais, com vista à resolução de problemas existentes, sem aumento da capacidade resistente da estrutura;
3. Reforço Estrutural – ações que visam aumentar a capacidade resistente da estrutura, tendo em conta possíveis aumentos de carga ou sub-dimensionamento da estrutura atual. Esta intervenção pode implicar algumas alterações do sistema estrutural e inclui ações de reabilitação;
4. Substituição – ações a aplicar em último caso quando o nível de degradação dos elementos o justifique ou quando o tipo de intervenção assim o exija. Esta solução deve ser evitada, respeitando os princípios da reabilitação.

Considerando que as estruturas dos edifícios antigos são realizadas maioritariamente com paredes resistentes de alvenaria e estruturas de madeira nos pavimentos e na cobertura, é essencial perceber que todos estes elementos funcionam em conjunto, contribuindo para a resistência do edifício às ações verticais e horizontais. Neste sentido, qualquer intervenção no edificado antigo *“deve ser orientada no sentido da manutenção dos esquemas estruturais e dos materiais existentes, (...) pela não demolição de paredes divisórias resistentes e pela não introdução de paredes divisórias pesadas sobre pavimentos leves e deformáveis”*. No entanto, quando estiverem previstas alterações da estrutura, devem ser utilizados materiais e esquemas estruturais idênticos aos existentes, de modo a não induzir alterações significativas das cargas atuantes. A título de exemplo, a prática de substituição dos pavimentos de madeira por lajes de betão armado, além de desrespeitar vários princípios da reabilitação, representa um acréscimo de carga na restante estrutura, o que poderá implicar mais medidas de reforço [9].

A intervenção em estruturas existentes, essencialmente em madeira e alvenaria, pode ser dividida em 3 grandes grupos: reforço pontual de elementos estruturais; reforço global e melhoramento do comportamento da estrutura; e substituição pontual ou integral de elementos estruturais. Neste subcapítulo serão apresentadas algumas medidas de intervenção utilizadas correntemente em cada uma destas situações.

### 3.5.2.1 Reforço pontual de elementos estruturais

Do ponto de vista local, podem ser aplicadas inúmeras medidas de reforço, tendo em conta o que se pretende corrigir assim como as características específicas de cada obra.

Relativamente às estruturas de madeira, estas apresentam, normalmente, necessidades relacionadas com os estados limite de utilização – vibrações, no caso dos pavimentos, e deformações excessivas. Neste sentido, existem dois processos distintos que podem limitar a deformabilidade: reduzir o vão do pavimento, com a criação de apoios intermédios; ou reforçar a capacidade resistente do pavimento. A primeira solução pode ser realizada através da introdução de uma viga intermédia sob as existentes, sendo necessário garantir o devido apoio desta viga e ter em conta o aumento considerável da espessura do pavimento, tendo implicações ao nível do pé-direito livre [7]. A segunda solução pode ser materializada por duas hipóteses distintas: introdução de novas vigas, paralelas às existentes, diminuindo o espaçamento entre vigas; ou reforço das vigas existentes com chapas metálicas, aumentando a capacidade resistente de cada elemento, ou com fixação de novos elementos de madeira, aumentando a secção transversal e, conseqüentemente, a sua inércia [22].

Em relação às estruturas em alvenaria de pedra, as intervenções são direccionadas no sentido da consolidação dos materiais das juntas, do melhoramento da alvenaria e da conexão entre paramentos. As soluções utilizadas mais correntemente são o preenchimento de vazios com injeções nas juntas ou no interior da parede, o grampeamento de aberturas com recurso a “gatos metálicos” e o reforço de paramentos com aplicação de malhas de aço, fibra de vidro ou carbono [7]. Esta última medida pode passar, por exemplo, pela aplicação de uma malha de aço em ambas as faces da parede, ligada por conetores, como mostra a Figura 3.4, melhorando a integridade da mesma e conferindo-lhe maior resistência [23,24].

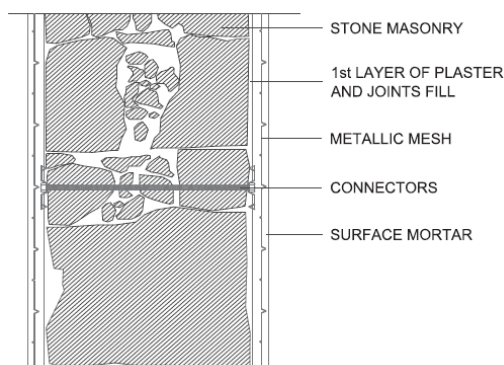


Figura 3.4 – Reforço de paredes em alvenaria com aplicação de malhas de aço [24]

### 3.5.2.2 Reforço global e melhoramento do comportamento da estrutura

Os problemas dos pavimentos de madeira estão frequentemente relacionados com a deficiente ligação entre estes e as paredes resistentes, tendo consequências não só para a segurança dos próprios pavimentos, mas também para a segurança global do edifício [7]. Torna-se assim necessário agir de forma a melhorar o comportamento global das estruturas, reforçando as ligações entre os elementos, a fim de obter um funcionamento num esquema tipo “caixa”.

A colocação de tirantes (Figura 3.5) é uma técnica antiga, e bastante utilizada, que garante as ligações entre paredes opostas, assegurando o seu funcionamento em conjunto. Esta medida de reforço global tem revelado ser muito eficiente, inclusive na resistência sísmica [15].

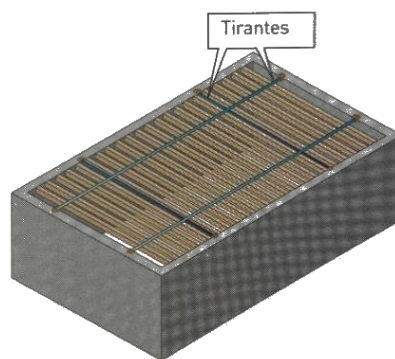
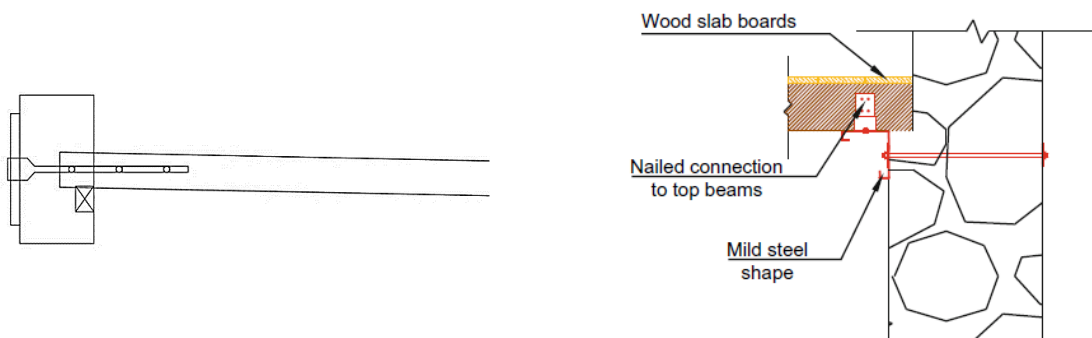


Figura 3.5 – Travamamento das paredes através da colocação de tirantes [15]

No sentido de ligar as estruturas de madeira às alvenarias resistentes, poderão ser adotadas diversas técnicas. A introdução de ligadores metálicos, de acordo com a Figura 3.6a), é um método tradicional e corrente no reforço global de edifícios antigos. Na mesma medida, mas recorrendo a uma técnica mais recente, poderão ser instaladas cantoneiras metálicas, como mostra a Figura 3.6b), que garantem o apoio dos elementos de madeira, assim como asseguram o contraventamento adequado das paredes [23,24].



a) Ligação através da introdução de ligadores metálicos (adaptado de [17])

b) Ligação através da introdução de uma cantoneira metálica (adaptado de [24])

Figura 3.6 – Técnicas de ligação entre as estruturas de madeira e as alvenarias resistentes

### 3.5.2.3 Substituição pontual ou integral de elementos estruturais (estruturas de madeira)

Os elementos de madeira de estruturas antigas podem apresentar alguma degradação, devido a diversos fatores. No entanto, esta degradação afeta, muitas das vezes, apenas uma parte destes elementos (normalmente a zona das entregas), não justificando a sua substituição integral. Nestes casos, uma prática utilizada recorrentemente passa pela substituição da parte danificada da madeira por uma prótese em madeira com as mesmas características físicas e mecânicas. Estas próteses (ou empalmes) podem ser executadas de diferentes formas, sendo uma variante desta técnica a aplicação de empalmes dentados, ligados com varões metálicos, como mostra a Figura 3.7 [22].

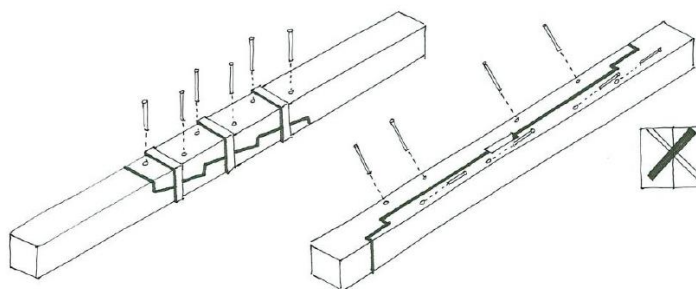


Figura 3.7 – Substituição pontual de peças de madeira com aplicação de empalmes dentados [22]

Por outro lado, quando todo o elemento apresenta um nível de degradação elevado, a atitude a tomar será a de substituir. Na substituição de elementos de madeira, parcial ou integral, devem ser utilizadas madeiras, preferencialmente antigas, estabilizadas em termos de secagem e em equilíbrio tendo em conta as condições higrotérmicas correntes, garantindo um bom funcionamento da estrutura [25].

## 3.6 REABILITAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

### 3.6.1 Introdução e enquadramento

A construção é um dos setores industriais com maior impacto ao nível da sustentabilidade, pois envolve os seus 3 pilares – sociedade, ambiente e economia. A construção de edifícios compreende não só aspetos económicos e sociais, mas também aspetos ambientais nomeadamente no que diz respeito ao consumo de energia ao longo do seu ciclo de vida, assim como a emissões pelas quais é responsável. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) disponibilizados pela Pordata [26], o setor da construção é responsável por cerca de 1,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (dados desde 2015), um dos principais gases com efeito estufa e, conseqüentemente, responsável pelo aquecimento global.

Tendo em vista a redução dos impactos das alterações climáticas, a União Europeia traçou como objetivo a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) até 2050, como o intuito de limitar o aumento da

temperatura média global a longo prazo. Fazendo parte dos países que participaram no Acordo de Paris (2015) [27], Portugal definiu as suas metas para 2030 e 2050 através do Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC2030) [28] e do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) [29]. No setor da construção residencial um dos principais objetivos será a otimização do conforto térmico dos edifícios, tanto pela utilização de equipamentos mais eficientes como na melhoria das medidas de isolamento, sendo essencial a reabilitação do parque habitacional existente. Além disto, a promoção de uma economia circular é também um ponto fulcral para a neutralidade carbónica da economia portuguesa. Neste sentido, entre as várias medidas definidas (Figura 3.8), prevê-se o aumento de ações de reabilitação, com aproveitamento dos edifícios existentes e das suas partes, que permitirão a reutilização e recuperação de materiais assim como a diminuição da produção de resíduos.



Figura 3.8 – Medidas no setor da construção para uma economia circular (adaptado de [29])

No que toca aos impactos ambientais dos edifícios, sabe-se que a fase de utilização é a mais importante [30,31,32], sendo também a mais longa e a que inclui consumos devido ao aquecimento/arrefecimento ambiente, produção de águas quentes sanitárias, iluminação, etc. No entanto, já existe um foco de preocupação sobre esta fase, existindo diversas medidas para a melhoria dos seus impactos, essencialmente em relação à otimização do conforto térmico, como foi referido anteriormente. Por este motivo, é também necessária a mesma preocupação sobre a fase de construção, adotando medidas de intervenção mais sustentáveis no edificado existente, uma vez que esta fase pode representar até 20% dos impactos de todo o ciclo de vida dos edifícios [31,33]. Isto porque, de acordo com o INE, em 2011 existia mais de 1 milhão de edifícios com necessidade de reparação, sendo que 15% destes se encontravam muito degradados ou com necessidade de grandes reparações [1].

No que diz respeito à reabilitação estrutural de edifícios antigos, torna-se ainda mais importante a sua salvaguarda, visto que agir de forma a preservar os materiais e técnicas construtivas existentes, além de todas as vantagens apresentados anteriormente, também revela ser uma medida positiva no caminho para a neutralidade carbónica. Reabilitar com base numa abordagem com trabalhos de inspeção e diagnóstico permite reduzir a quantidade de resíduos produzida, assim como as emissões de CO<sub>2</sub>, diretamente, através do material mantido, e indiretamente, através da redução de novos materiais.

### 3.6.2 Análise do Ciclo de Vida (LCA)

A LCA (*Life-cycle analysis*) é uma metodologia já muito utilizada no mundo científico que revela ser muito completa na avaliação dos impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida [31], sendo uma ferramenta essencial na análise da contribuição de cada uma das suas fases para o impacto global assim como na comparação de vários produtos [34]. Orientada para a avaliação de produtos ou materiais, tem sido cada vez mais utilizada na avaliação de edifícios, incluindo edifícios reabilitados, existindo já várias publicações sobre o assunto [35,36].

A metodologia LCA é padronizada pela Organização Internacional de Normalização (ISO – *International Organization for Standardization*) sendo atualmente definida, essencialmente, por duas normas: ISO 14040:2006 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura; e ISO 14044:2006 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e diretrizes. De acordo com estas regras, uma análise LCA deve ser dividida em 4 fases: (i) definição de objetivos e finalidade; (ii) elaboração do inventário do ciclo de vida (LCI); (iii) avaliação do impacto do ciclo de vida; e (iv) interpretação dos resultados [34].

Na primeira fase de um estudo LCA, além de serem estabelecidos os objetivos, devem ainda ser definidos os casos de estudo para a análise, as fronteiras do estudo, a unidade funcional do sistema e o método de avaliação de impactos a utilizar. Numa segunda fase, o inventário do ciclo de vida resulta da identificação de todos os *inputs* e *outputs*, e respetivas quantidades, que compõem cada fase do ciclo de vida do produto ou do processo em análise. Por fim é feita a avaliação dos impactos ambientais, através da quantificação das emissões de diferentes poluentes associados ao processo em estudo e a análise dos resultados tendo em conta a finalidade do estudo [34].

Dependendo das fases do ciclo de vida incluídas na análise, a LCA pode dividir-se em 3 principais abordagens (Figura 3.9): *cradle-to-gate*, que inclui apenas parte do ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas até ao final da sua produção; *cradle-to-grave*, que abrange todo o seu ciclo de vida, incluindo a fase de utilização e o fim de vida; e *cradle-to-cradle*, que além do seu ciclo de vida, inclui um processo de reciclagem do produto, dando início a um novo ciclo [34]. A fase de extração e produção das matérias-primas é, por vezes, desprezada, resultando numa análise *gate-to-grave*.

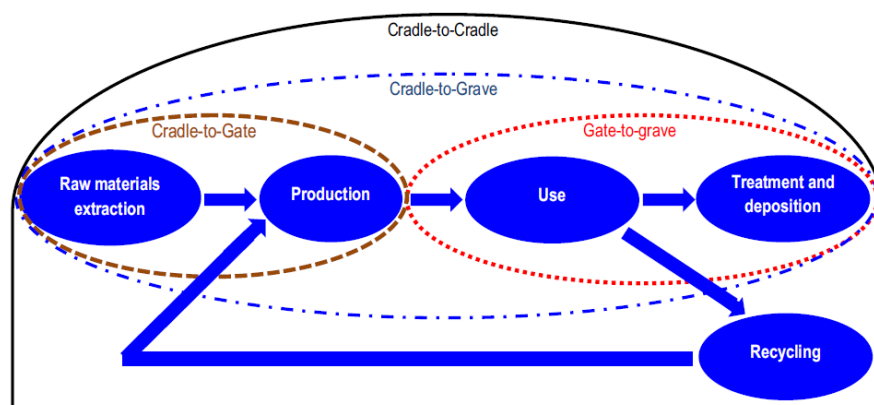


Figura 3.9 - Representação esquemática das variantes da análise de LCA [34]

A metodologia LCA já foi inúmeras vezes aplicada a edifícios, nomeadamente na comparação de edifícios reabilitados com edifícios novos. Contudo, esta ferramenta é muitas vezes utilizada para a análise dos impactos, principalmente em termos energéticos, dos edifícios durante a sua fase operacional.

Recentemente, Cui *et al.* [36] apresentou uma revisão de estado de arte relevante em que mencionou vários estudos realizados no âmbito da comparação entre reabilitação e reconstrução, sendo que a maioria concorda que a estratégia mais favorável em termos ambientais será a de reabilitar. Alguns autores, como Rønning *et al.* [33], pretendiam comparar cenários de reabilitação que teriam impactos incorporados mais baixos, com soluções novas mais eficientes, mas com impactos integrados mais elevados, de modo a perceber qual seria a melhor solução tendo em conta todo o ciclo de vida do edifício. Já com o objetivo de comparar efetivamente qual a melhor estratégia a adotar, autores como Gaspar e Santos [37] e Marique e Rossi [38] compararam a reabilitação e a reconstrução de um caso de estudo, estabelecendo condições finais idênticas para ambos os cenários, de modo a não existir flutuações na fase operacional. Gaspar e Santos [37], focando o seu estudo nos gastos energéticos, concluiu que o cenário de reconstrução teria um impacto superior à reabilitação em 18%, devido à fase de produção que inclui todos os processos desde a extração dos materiais. Marique e Rossi [38], avaliando também as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), concluiu que, tendo em conta as fases de demolição, construção e demolição no fim de vida do edifício, reabilitar reduz as emissões em mais de 50%.

No âmbito da reabilitação estrutural, Ferreira *et al.* [31] desenvolveu um estudo em que comparou a reabilitação de um Palácio em Lisboa em muito mau estado de conservação e com necessidade de muitas ações de reforço, com a sua hipotética demolição e reconstrução. Apesar da elevada quantidade de material introduzida, devido às necessidades do edifício, a reabilitação revelou ser a ação menos prejudicial, apresentando impactos ambientais inferiores, nomeadamente nas emissões de dióxido de carbono e de dióxido de enxofre, com reduções de 13% e 34%, comparativamente ao cenário novo.

### *CAPÍTULO 3*

Indo ao encontro destes estudos, pretende-se aplicar a metodologia LCA a diversos casos de estudo reais, com o objetivo de comparar cenários distintos de intervenção no edificado existente, à semelhança do último estudo apresentado, realizado no âmbito da reabilitação estrutural [31], mas aplicando a edifícios com estado de conservação razoável a bom.

## CAPÍTULO 4

### INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO – MOSTEIRO DE ODIVELAS

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os trabalhos de inspeção e diagnóstico realizados, em colaboração com a equipa do NCREP, no Mosteiro de S. Dinis e S. Bernardo, em Odivelas.

Primeiramente, seguindo a abordagem de inspeção e diagnóstico do NCREP, foi efetuada uma pesquisa histórica aprofundada sobre as diversas fases de construção do Mosteiro, assim como sobre as intervenções que o mesmo sofreu até aos dias de hoje. Com esta pesquisa foi possível conhecer a evolução do conjunto edificado e compreender alguns aspetos da sua estrutura. Este estudo é parte fulcral de um trabalho de inspeção e diagnóstico, sobretudo de um edifício com interesse patrimonial como é o caso do Mosteiro de Odivelas.

No decorrer do trabalho foram efetuadas visitas técnicas aos vários corpos que compõem o Mosteiro que permitiram a inspeção visual dos edifícios, o levantamento estrutural e a realização de ensaios *in situ*. Dada a dimensão deste caso de estudo, os trabalhos realizados até ao momento foram divididos em duas campanhas de inspeção. A primeira consistiu essencialmente na inspeção visual, caracterização dos elementos construtivos e dos danos encontrados, tendo sido elaborada, nesta fase, um plano de sondagens e ensaios a realizar. A segunda campanha de inspeção foi dedicada à realização de ensaios de identificação dinâmica que se destina à calibração de um modelo numérico de elementos finitos.

Este capítulo encontra-se dividido 4 secções, sendo destacadas duas: a primeira referente à análise histórica do Mosteiro e a segunda à caracterização construtiva e estrutural, resultante da primeira campanha de inspeção. É feito inicialmente um enquadramento geral sobre o edifício e, no final, são apresentados os ensaios realizados. Complementarmente, nos Anexos I e II é apresentado um conjunto de elementos que sustentam a informação apresentada de seguida.

Importa referir que este é um trabalho em curso e que, à data da conclusão do estágio, ficou em falta a caracterização de algumas estruturas assim como a realização de janelas de sondagens, ensaios com macacos planos, sondagens com ensaios SPT, assim como ensaios de caracterização dos materiais existentes (essencialmente madeira, betão e armaduras).

## 4.2 DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO

O Mosteiro de Odivelas é formado por um conjunto de edifícios, interligados entre si, sendo que a superfície em estudo se estende por uma área de implantação com mais de 9000 m<sup>2</sup> (Figura 4.1). Para facilitar os trabalhos a desenvolver, esta superfície foi dividida em 12 corpos – 10 edifícios e 2 claustros – com base na sua época de construção e na sua tipologia construtiva (Figura 4.2). Este Mosteiro foi fundado no final do século XIII e encontra-se classificado como Monumento Nacional desde 1910.

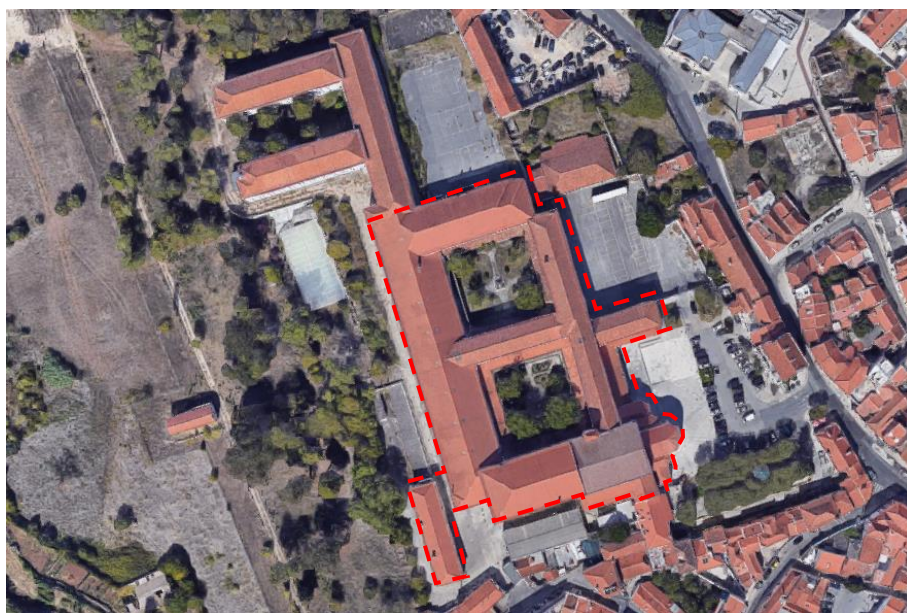


Figura 4.1 – Vista aérea do Mosteiro de Odivelas com a área em estudo assinalada a vermelho  
(fonte: Google Maps®)

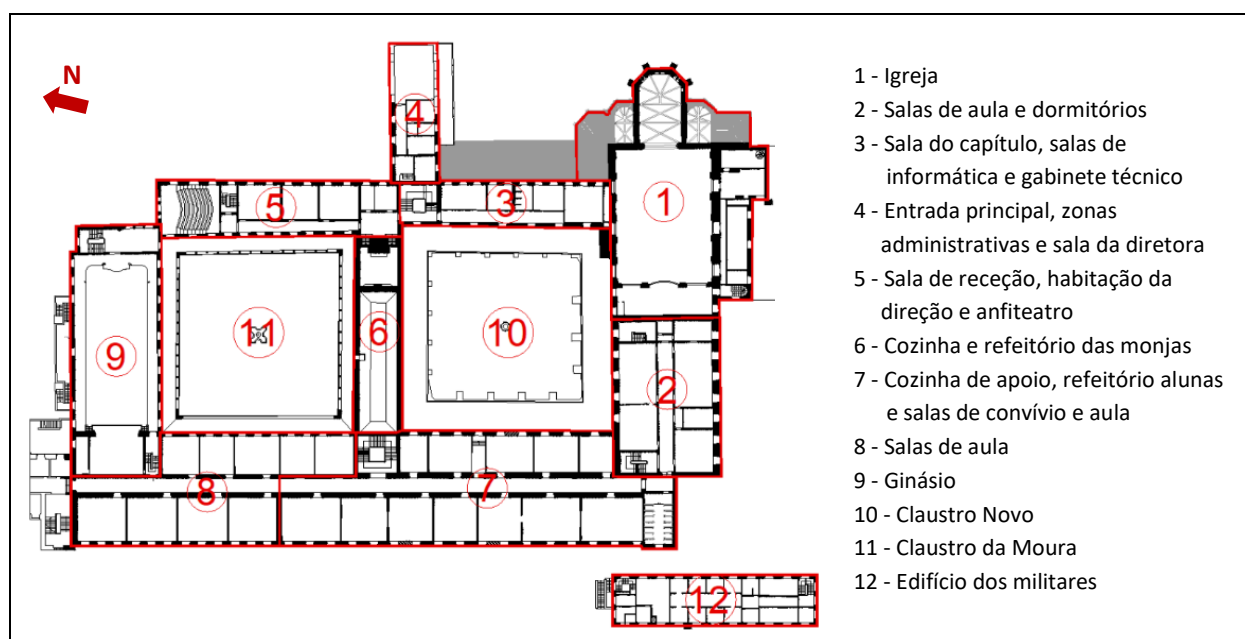


Figura 4.2 – Identificação em planta dos diferentes corpos do Mosteiro de Odivelas (planta do piso 1)

## 4.3 ANÁLISE HISTÓRICA

### 4.3.1 Introdução

A análise histórica resultou da consulta de elementos de arquivo e diversas pesquisas bibliográficas que permitiram obter informação sobre o edifício, a sua construção e alterações/intervenções ocorridas na sua estrutura ao longo dos anos. Desta pesquisa resultou também um mapa cronológico, apresentado em anexo, que apresenta a data/época da última alteração sofrida.

O Mosteiro de Odivelas, ou Mosteiro de S. Dinis e S. Bernardo (Figura 4.3), foi fundado pelo Rei D. Dinis, em 1295, existindo evidências de que as obras terão sido concluídas em 1305. Originalmente era constituído pela Igreja, um só claustro, cozinha, refeitório, dormitórios e outras dependências, no entanto sofreu inúmeras alterações ao longo dos séculos, sobrevivendo, da sua construção inicial, apenas a cabeceira da igreja e parte do claustro principal.

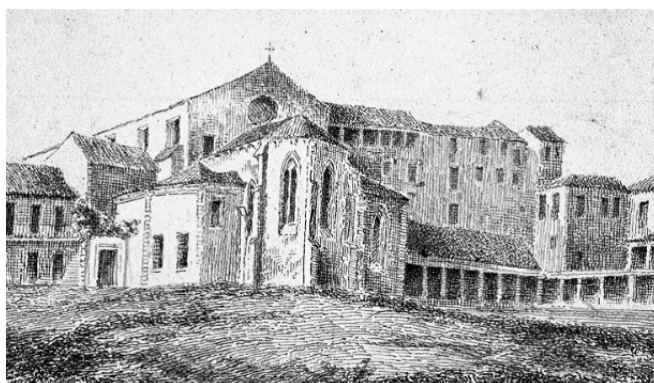


Figura 4.3 – Registo visual do Mosteiro mais antigo que existe, datado de 1859

(fonte: Câmara Municipal de Odivelas)

Nos séculos que se seguiram à conclusão da construção primitiva do Mosteiro, as obras continuaram: foi fundada a capela de D. Filipa, anexa à cabeceira da igreja, no séc. XV, e foram construídos um segundo claustro, designado de Claustro da Moura, e o alpendre da fachada principal, no séc. XVI. Também nesta época o imóvel foi afetado por vários terramotos, sendo alvo de obras de recuperação e reconstrução que foram provocando algumas alterações ao mesmo.

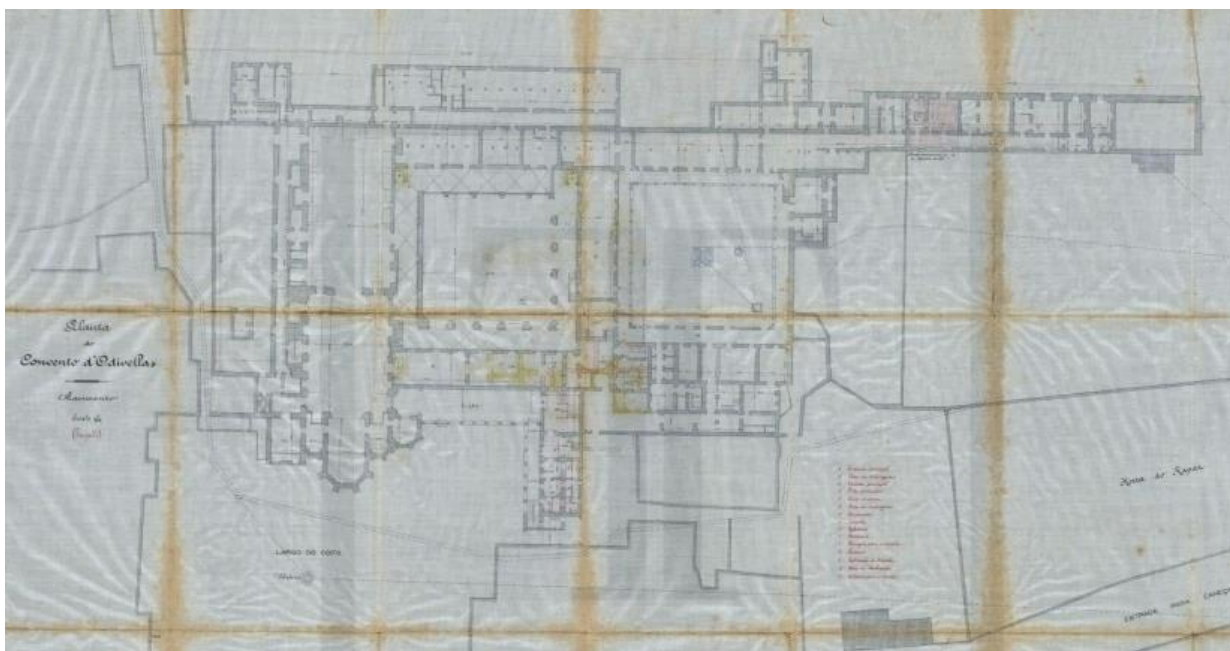
Ao longo dos anos o Mosteiro sofreu diversas obras de ampliação e remodelação, entre elas a construção de dois dormitórios (em 1611 e 1677), devido ao crescimento da Ordem e aumento do número de monjas aqui alojadas. Estas obras, também motivadas pela passagem de vários membros da família real e abadessas, resultaram na alteração da arquitetura primitiva de alguns espaços, essencialmente no que diz respeito a elementos decorativos, sendo neste período que algumas paredes começaram a ser revestidas com azulejos.

## CAPÍTULO 4

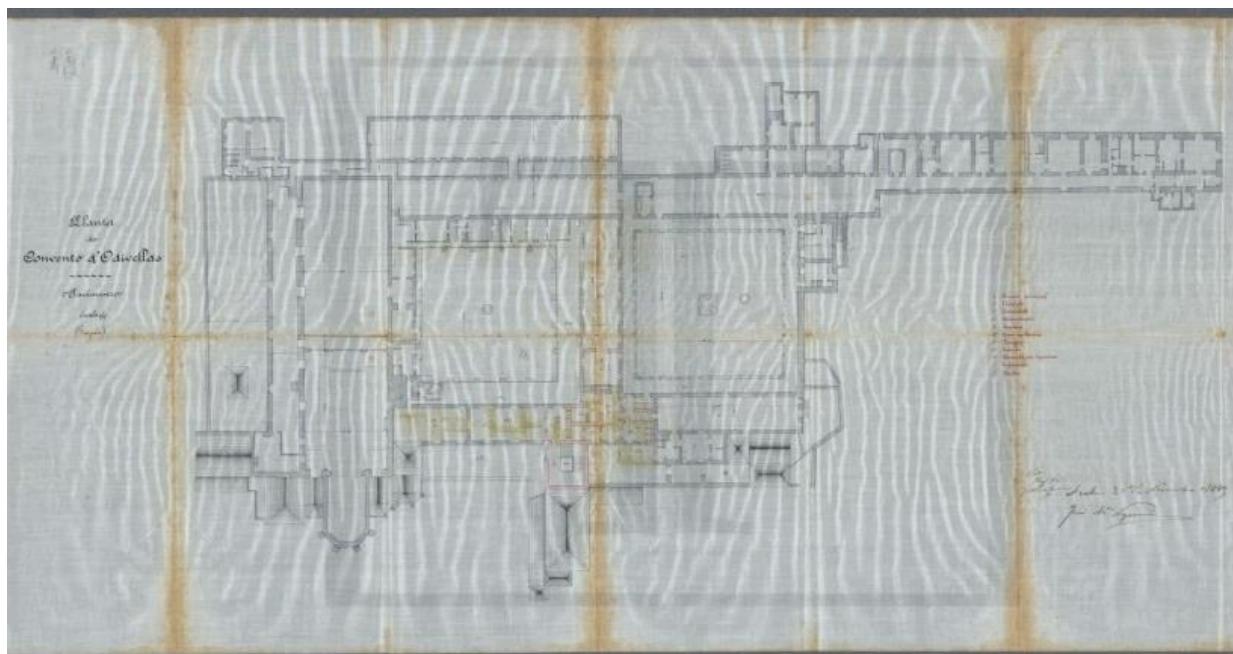
A primeira metade do séc. XVIII foi marcada pelas remodelações ordenadas por D. João V, em continuação das obras realizadas por D. João IV na Igreja, sendo nesta altura a ausência de decoração defendida pela Ordem de Cister foi substituída pela riqueza decorativa da arquitetura barroca, da qual sobreviveram, até hoje, os altares da igreja.

O terramoto de 1755 provocou grandes danos no Mosteiro, resistindo apenas a cabeceira gótica da igreja e duas alas do Claustro Novo. A sua reconstrução foi marcada pelo estilo neoclássico, privilegiando os espaços amplos e sem divisórias, contrastando com o estilo gótico inicial.

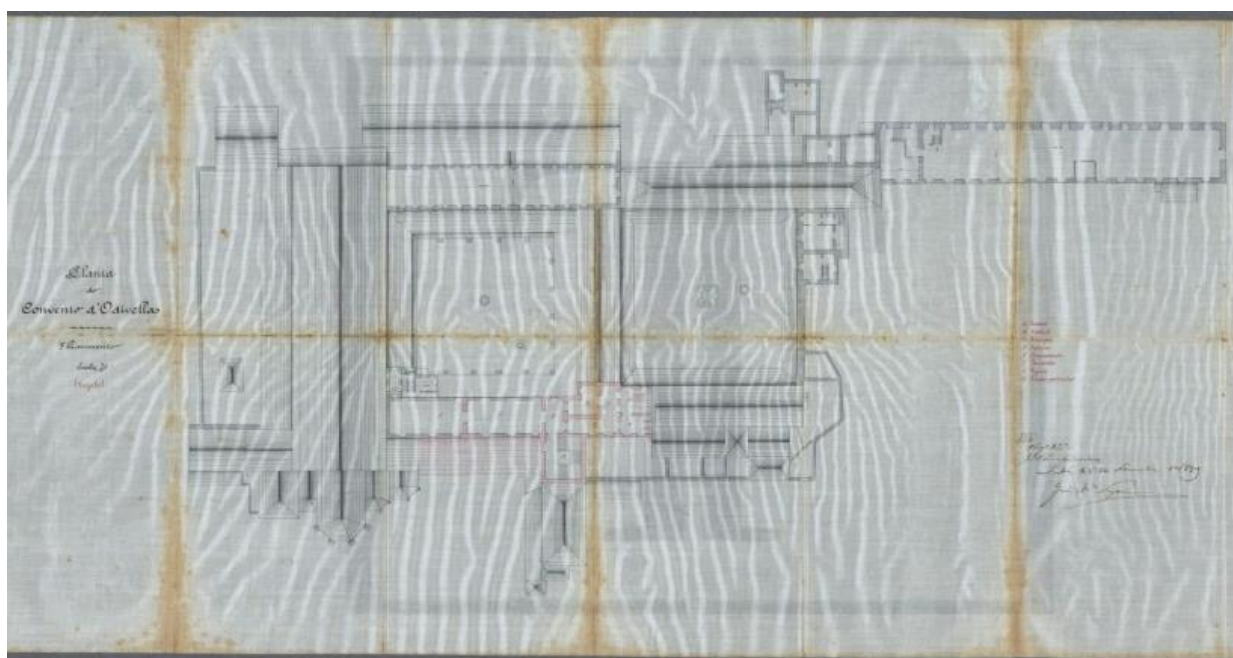
Em 1834 as ordens religiosas foram extintas e em 1886 o Mosteiro encerrou a atividade e foi entregue à Fazenda Nacional. Segundo apontam documentos escritos, o então extinto Convento terá sido alvo de obras de adaptação para a “instalação de uma associação piedosa e de ensino do sexo feminino” em 1887 – possivelmente de acordo com o projeto de alterações de 1883, apresentado na Figura 4.4. Nesta época, além de obras de beneficiação de espaços como a cozinha e o refeitório, estava projetada a abertura de novas janelas e portas na ala este, a adaptação de espaços para a instalação de camaratas e a criação de uma escada de ligação entre todos os pisos. Contudo, sabe-se que em 1889 estas obras foram interrompidas por falta de verbas, ficando o Mosteiro ao abandono.



a) Planta do piso 0



b) Planta do piso 1



c) Planta do piso 2

Figura 4.4 – Plantas gerais do Mosteiro de Odivelas (sem escala): projeto de alterações datado de 1883  
(fonte: Câmara Municipal de Odivelas)

Com um estado de degradação avançado, em 1899 é alvo de grandes obras de remodelação e adaptação para acolher uma nova função – o Instituto de Odivelas. Mais uma vez o Mosteiro sofre uma grande alteração com a adaptação dos espaços a salas de aulas e camaratas, construção de novos corpos e paredes, escadas de ligação a todos os pisos, novas janelas, instalações sanitárias, alargamento das alas do piso superior do claustro, entre outros.

Ao longo dos anos em que o Instituto de Odivelas (IO) esteve em funcionamento (até 2015), a instituição militar foi responsável por preservar e reabilitar o edifício, tendo provocado diversas alterações no mesmo em termos volumétricos, com a construção de novos espaços e transformação de outros. Além da descrição pontual de alguns trabalhos, não existem registos oficiais das alterações que o imóvel sofreu durante o séc. XX e início do séc. XXI. De seguida serão enumeradas algumas intervenções que ocorreram nesta época [39,40]:

1930-1936 - Obras de remodelação: **demolição da sacristia e reconstrução do absidiolo** (Figura 4.5); nivelamento da capela anexa ao absidiolo do Evangelho; remodelação das coberturas;

1939-1940 - Construção e assentamento da armação do telhado, em pinho; Colocação de novas coberturas exteriores;

1941 - Execução de novos nos tetos da igreja; guarnecimento de tetos com gesso linhado e fasquiado; **construção de vigas de betão para reforço dos tetos (da igreja)**;

1942 - **Construção dos arcos de tijolo furado**, assentes em argamassa de cal hidráulica e colocação de estuque **em tetos curvos (na igreja)**;

**1944-50 - Grandes obras de remodelação**<sup>1</sup> (após o levantamento de 1994 – Figura 4.6);

1948 - Obras no Claustro Novo; obras gerais de conservação e novos trabalhos de ampliação e adaptação e instalação de equipamentos;

1949-50 - Obras na Igreja e remodelação do acesso à torre; **remoção e reconstrução da cobertura do alpendre da entrada** (Figura 4.7); instalação de infraestruturas e equipamentos; demolição das antigas enfermarias e garagem;

1950 - Obras de conservação e reparação: alteração dos vãos da cabeceira da Igreja, que passam a retomar a sua forma inicial; reconstrução de elementos decorativos como capitéis; melhoria dos acessos ao Mosteiro; remoção de algumas decorações barrocas;

1969 - Reparação dos estragos causados pelo sismo: reparação de telhados, com substituição de uma linha de asna, e forro do teto da nave; gateamento das pilastras de cantaria; execução de novos rebocos nas paredes da sacristia; tratamento do reboco da nave;

1974 - Substituição do telhado na sacristia e capela lateral direita; limpeza das coberturas da nave, capela-mor, capela colateral esquerda, alpendre da entrada e Claustro da Moura; limpeza do forro do alpendre da entrada; colocação de soalho em pinho no coro-alto;

---

<sup>1</sup> Obras sem registos, das quais se acredita que resultou o que se conhece hoje do Mosteiro.

1995 - 1997 - Obras de beneficiação da cobertura da Igreja e **substituição integral da cobertura do Claustro da Moura**;

1997 - Revisão da cobertura da igreja; **execução de nova cobertura na sacristia**; rebocos na torre sineira e fachadas norte e nascente da igreja;

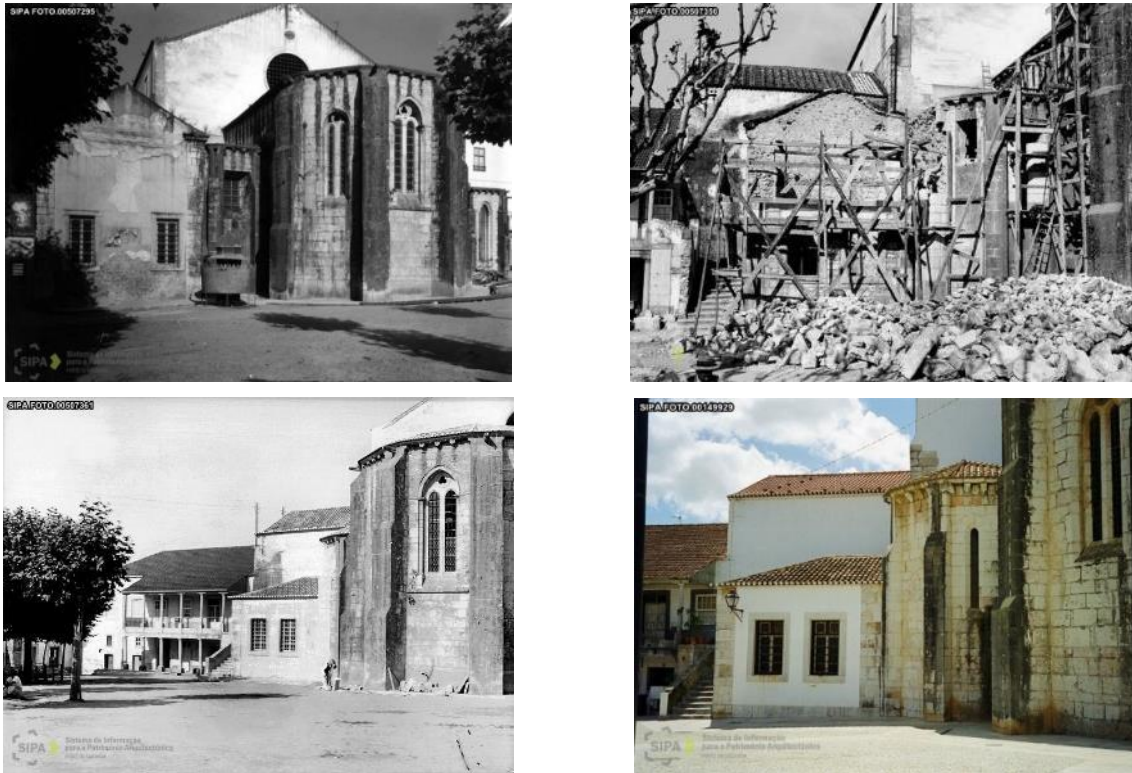
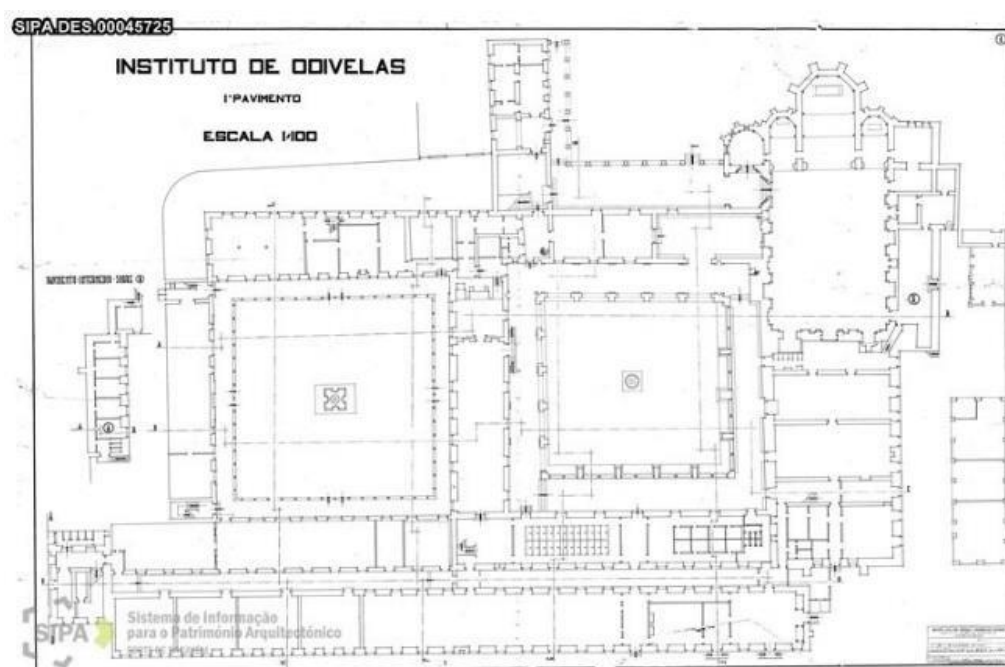
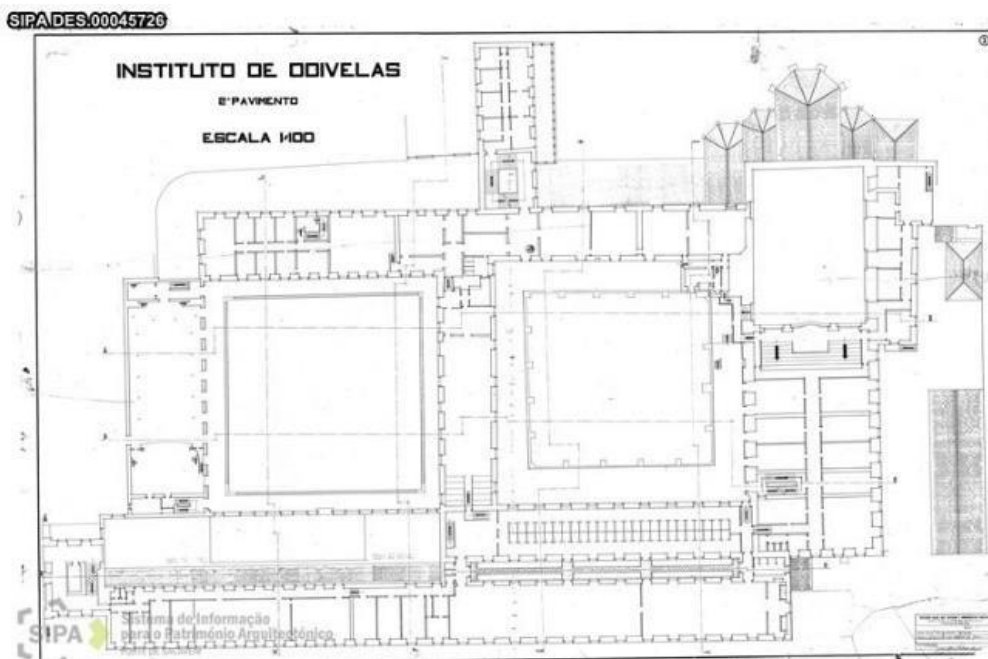


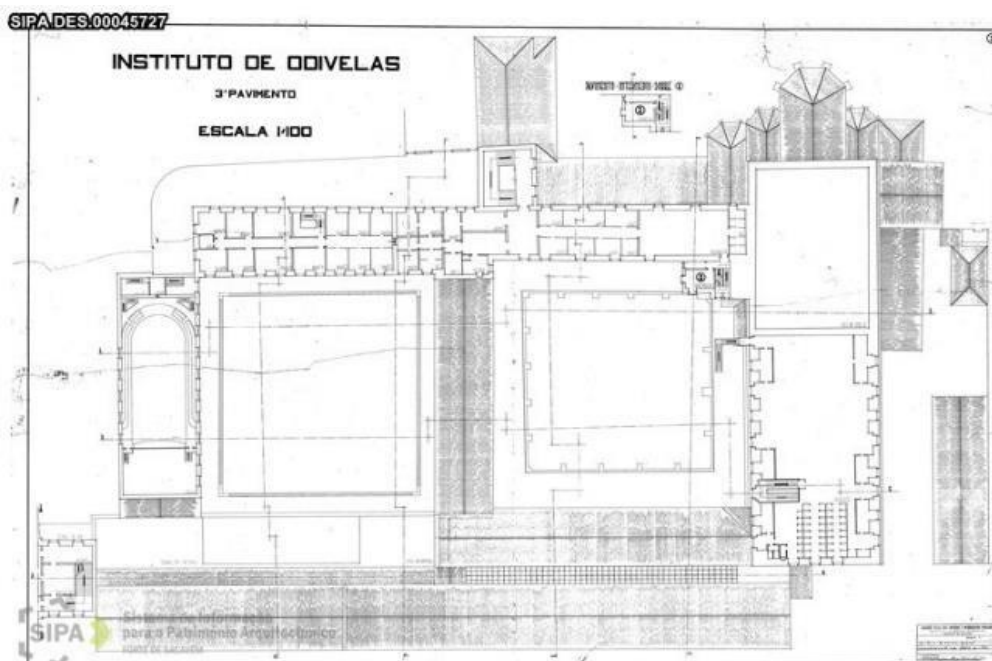
Figura 4.5 – Sacristia e absidiolo lateral: antes, durante e após a demolição e reconstrução (1930-36) [39]



a) Planta do piso 0



b) Planta do piso 1



c) Planta do piso 2

Figura 4.6 - Plantas gerais do Mosteiro de Odivelas datadas de 1944 (sem escala) [39]



Figura 4.7 – Registo fotográfico da reconstrução da cobertura do alpendre da entrada, em 1949-50 [39]

Ainda durante o séc. XX, em 1922, houve um desmoronamento das janelas do Paço Real (Figura 4.8a) anexo ao Claustro da Moura, e entre 1946 e 1950 deu-se a demolição da Torre de Madre Paula (Figura 4.8b), anexa à Torre Sineira. No lugar do Paço Real foi depois construído o ginásio do IO.



a) Paço Real

b) Torre de Madre Paula

Figura 4.8 – Registo fotográfico de edifícios extintos no séc. XX [39]

Adicionalmente à informação encontrada nos elementos de arquivo e nas fontes bibliográficas consultadas, também foi possível tirar conclusões através da comparação de plantas existentes dos anos 1883 (Figura 4.4) e 1944 (Figura 4.6) com as plantas atuais (Anexo II). De seguida é apresentada uma análise mais detalhada por cada corpo que compõe o Mosteiro, que pormenoriza as informações sintetizadas no mapa cronológico apresentado em anexo.

### 4.3.2 Análise histórica por corpo

#### *Corpo 1 – Igreja e edifício anexo*

Originalmente de 3 naves [40], a igreja é o edifício mais antigo de todo o complexo construído. No entanto, como já foi referido antes, da sua construção original apenas sobreviveu a cabeceira gótica.

Até à primeira metade do séc. XVIII, o corpo da igreja estendia-se num comprimento total de 72 metros, incluindo o corpo 2 onde estava instalado o coro. Após o sismo de 1755, deu-se a sua reconstrução, no estilo Neoclássico, que resultou numa igreja com uma só nave com 38 metros de comprimento, passando a existir uma separação entre a nave da igreja e o coro [41].

Sabe-se que ao longo dos anos foi alvo de diversas intervenções sobretudo de reparação e conservação, tendo sofrido algumas alterações essencialmente ao nível da decoração. Ao nível estrutural, as maiores alterações de que há registo foram a construção de vigas de betão e arcos de tijolo nos tetos em 1941 e 1942.

Existem também registos de várias intervenções ao nível das coberturas, desde reparações pontuais a substituições integrais. Com base na informação encontrada, foi possível determinar que as coberturas das capelas laterais esquerdas e da sacristia datam, respetivamente, de 1961 e 1997 (Figura 4.9). No que diz respeito às restantes coberturas, poderão datar de 1938, ano em que se deu a substituição da armação das coberturas da igreja, sendo que as restantes informações disponíveis remetem apenas para obras de reparação, restauro e beneficiação. A última intervenção ao nível das coberturas da igreja ocorreu em 2019, data em que também se procedeu à limpeza e restauro das paredes de alvenaria de pedra.



Figura 4.9 - Registo fotográfico da substituição da cobertura da sacristia, em 1997 [39]

No que se refere ao edifício adjacente à nave da igreja, a partir do qual é feito o acesso aos balcões laterais e ao coro alto, foi possível perceber, através da comparação de plantas que a sua construção primitiva ocorreu antes de 1883, podendo corresponder à reconstrução da igreja após o sismo de 1755. Também foi possível concluir que terá sofrido alterações em termos volumétricos no período entre 1883 e 1944 e, tal como acontece noutros espaços do Mosteiro, entre 1944 e o presente foi alvo de alterações ao nível

da organização dos espaços interiores. Não existem registos do atual piso 1 (nível intermédio entre o pavimento da nave e o coro alto) pelo que não se sabe se este piso terá sido construído na mesma época ou posteriormente.

### ***Corpo 2 – Antigas salas de aula e dormitórios***

Como foi mencionado no capítulo anterior, este corpo era, inicialmente, parte integrante do corpo na igreja, pelo que foi construído no final do séc. XII e reconstruído na segunda metade do séc. XVIII, data em que foi construída a parede que agora separa os dois corpos, ao nível do piso 0 [41].

No final do séc. XIX, a fim de adaptar este espaço a salas de aula, este corpo sofreu alterações não só ao nível da organização dos espaços, mas também ao nível estrutural, tendo sido, nesta época, introduzidas estruturas de betão nos pisos e, possivelmente, nos elementos verticais. No entanto, com base na análise de plantas disponíveis em arquivo, estima-se que a estrutura que se conhece hoje teve origem nas obras que ocorreram entre 1944 e 1950, dada a disposição das paredes divisórias em 1944. Foi, portanto, neste período que foi construída a estrutura porticada em betão armado ao nível do piso 0 e as duas caixas de escadas, também em betão armado. Também foi possível perceber que até 1944 não existia separação entre os corpos 1 e 2 ao nível do coro alto (piso 1 do corpo 2), pelo que a parede existente a este nível é de construção mais recente.

### ***Corpos 3, 4 e 5***

Não existindo certezas sobre a data de construção destes corpos, estima-se que o corpo 3 (excluindo a zona exterior) foi construído aquando da construção primitiva do Mosteiro, sendo um dos corpos que delimitam o Claustro Novo. Já o corpo 4 poderá datar da mesma época em que se deu a construção do alpendre de entrada, no séc. XVI, e o corpo 5, na sua forma original, terá nascido em conjunto o Claustro da Moura, também no séc. XVI. Tal como aconteceu com os restantes corpos, estes terão sido reconstruídos após o sismo de 1755.

Desde o fim das ordens religiosas e entrega do Mosteiro à Fazenda Nacional, como já foi mencionado anteriormente, alguns edifícios sofreram inúmeras alterações quer em termos volumétricos, quer em termos organizacionais e também ao nível estrutural. Recorrendo, uma vez mais, à comparação de plantas, foi possível perceber que os corpos 3 e 4 são anteriores a 1883, no entanto, o corpo 4, originalmente de um só piso, foi crescendo em altura ao longo dos séculos – passou a ter dois pisos entre 1883 e 1944, possivelmente na época em que se instalou aqui o IO, e 3 pisos na segunda metade do séc. XX, após a reconstrução da cobertura do alpendre da entrada, em 1949-50 (Figura 4.10). Nesta mesma época, deu-se a abertura de vãos na fachada nascente do corpo 3, como é possível observar na Figura 4.11.



a) Fachada sul (1949-50)



b) Fachada sul (atual)

Figura 4.10 - Fachada corpo 4: evolução séc. XX-XXI [39]



a) Fachada nascente (1949-50)



b) Fachada nascente (atual)

Figura 4.11 - Fachada corpo 3: evolução séc. XX-XXI [39]

Relativamente ao corpo 5 este tinha originalmente uma volumetria muito distinta do que se conhece hoje, tendo sofrido grandes alterações entre 1883 e 1944. Estas alterações drásticas podem estar relacionadas com o facto de, no período em que o Mosteiro esteve ao abandono, ter existido desmoronamentos de paredes e demolição de outras em risco de ruir.

No período após 1944, os três corpos em análise sofreram alterações, não só ao nível da compartimentação, mas também ao nível da estrutura, acreditando-se que foi nas obras que decorreram entre 1944 e 1950 que surgiram as estruturas de betão existentes. Nesta mesma época, a caixa de escadas de acesso aos três corpos foi alterada, estando agora localizada no corpo 3.

### **Corpo 6 – Cozinha e refeitório das monjas**

Estima-se que o corpo que conjuga a cozinha e o refeitório das monjas é datado da época de construção do Mosteiro (final do séc. XIII – início do séc. XIV), sendo este que encerra a norte o Claustro Novo.

Apesar de não existir muita informação sobre intervenções neste espaço, acredita-se que, tal como acontece em todos os espaços, terá sofrido várias alterações ao longo do tempo, inclusive à data do sismo de 1755. Contudo, algumas referências indiciam que as pinturas do teto de madeira existente datam do séc. XVII, anterior ao sismo. Já o revestimento das paredes em azulejos foi executado aquando da reconstrução do Mosteiro na segunda metade do séc. XVIII.

A cobertura deste corpo é materializada por uma estrutura em betão armado, sendo provavelmente resultado das obras executadas pelo IO durante o séc. XX.

### **Corpos 7 e 8**

Os corpos 7 e 8 delimitam a poente o Claustro Novo e o Claustro da Moura, respetivamente, pelo que a sua construção primitiva deverá ter ocorrido aquando da construção de cada um dos claustros (séculos XIV e XVI). À semelhança do que aconteceu com outros corpos, estes sofreram várias alterações, sobretudo ao nível estrutural, no período que decorreu desde que o Mosteiro foi entregue à Fazenda Nacional até aos dias de hoje.

Até 1883, o corpo 7 era composto por duas alas volumetricamente idênticas separadas por um corredor, que apresentavam colunas (possivelmente) de pedra a meio vão, ao nível do piso 0. A ala junto ao Claustro parecia estender-se até ao piso 2, algo que não acontece hoje. Já o corpo 8 apresentava, a esta data, uma geometria muito distinta do que existe agora.

Entre 1883 e 1944 - possivelmente aquando das obras de adaptação para o IO – o corpo 8 foi parcialmente demolido e reconstruído, ficando em continuidade com o corpo 7. Neste período, a ala poente do corpo 7, onde foi instalado o refeitório das alunas, foi ampliada e as colunas de pedra foram retiradas em ambas as alas, tendo sido possivelmente substituídas por estruturas de betão. Sabe-se também que nesta época o corredor do corpo 7 tinha um pé-direito duplo e apresentava uma cobertura envidraçada (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Corredor com teto envidraçado, em 1944 [39]

Como acontece em quase todo o complexo construído, a partir de 1944, estes corpos sofreram alterações essencialmente ao nível da compartimentação, mas também ao nível estrutural. Terá sido nesta altura que foram executadas as estruturas de betão hoje existentes, quer ao nível dos pavimentos, quer ao nível dos elementos verticais, assim como a caixa de escadas que faz ligação entre os dois pisos dos dois corpos.

### **Corpo 9 – Ginásio**

O corpo do ginásio do IO foi construído já no séc. XX, a norte do Claustro da Moura, onde antes existia o Paço Real. A sua construção inicial terá ocorrido entre 1922, data em que se deu a queda das janelas do Paço Real, e 1937, data de um registo fotográfico das alunas neste espaço (Figura 4.13). Mais tarde, entre 1940 e 1950, foi reconstruído com materiais novos (betão e aço) de forma a ser possível obter grandes vãos sem pilares, sendo esta a estrutura atual do mesmo (Figura 4.14).



Figura 4.13 - Registo fotográfico das primeiras instalações do ginásio do IO [42]



Figura 4.14 – Fotos gerais da estrutura atual do ginásio

### ***Corpo 10 – Claustro Novo***

Como já foi referido anteriormente, à data da sua construção, o Mosteiro era constituído pela Igreja, um claustro e as suas dependências. No entanto, estima-se que este claustro terá sido de construção provisória [40,41] e que o claustro final, designado como Claustro Novo, terá sido construído em meados do séc. XIV.

O Claustro é marcado por duas épocas construtivas distintas – as alas sul e poente, que sobreviveram ao sismo de 1755, remetem à construção original do mesmo; e as alas norte e nascente apresentam uma construção muito distinta, resultado da reconstrução da segunda metade do séc. XVIII.

Este espaço foi alvo de várias obras de beneficiação ao longo dos anos, nomeadamente em 1887, quando várias abóbadas foram feitas de novo. Também sofreu alterações com as obras de adaptação do IO (em 1899), nomeadamente ao nível do piso superior, tendo sido demolidos pequenos corpos que lá existiam, resultando no alargamento de duas alas. Mais tarde, entre 1946 e 1950, o piso superior voltou a sofrer alterações com a demolição da torre de Madre Paula.

### ***Corpo 11 – Claustro da Moura***

Como já foi referido anteriormente, o Claustro da Moura foi construído no séc. XVI, durante o abadessado de D. Violante Cabral (1516-1536) que foi responsável por várias outras obras no Mosteiro.

À semelhança do que aconteceu com todo o Mosteiro, este Claustro terá sofrido danos com o sismo 1755, assim como outros sismos que ocorreram ao longo dos séculos, e conseqüentemente terá sido alvo de obras de reconstrução ou recuperação na segunda metade do séc. XVIII. Acredita-se que este espaço terá sofrido diversas alterações em relação à sua construção original, nomeadamente ao nível da decoração, uma vez que existe informação sobre a colocação de azulejos neste Claustro em 1754 que hoje já não existem.

## CAPÍTULO 4

Foi também alvo de várias obras de beneficiação, principalmente no final do séc. XX, sendo que a última intervenção consistiu na substituição integral da cobertura do piso superior, aparentemente em estrutura de betão, por uma estrutura nova em madeira (Figura 4.15).

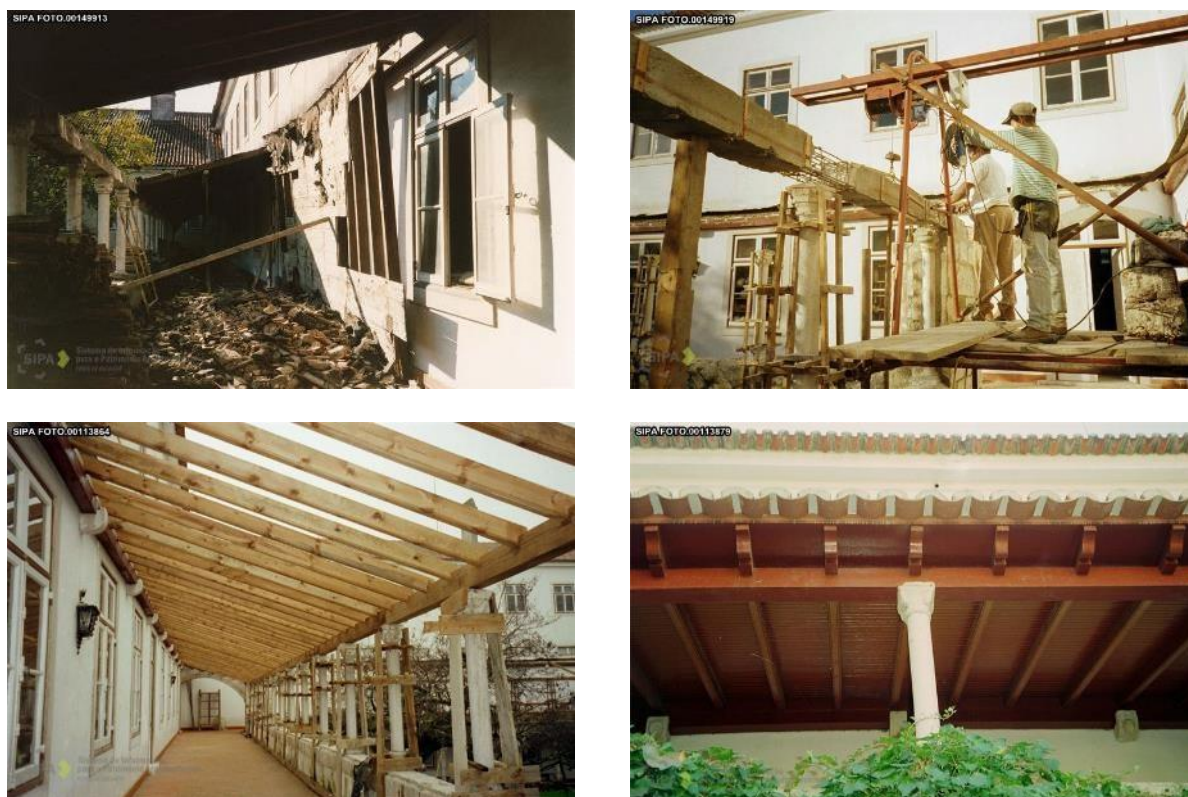


Figura 4.15 - Imagens da substituição da cobertura do piso superior do Claustro da Moura (1997) [39]

### **Corpo 12 – Edifício dos Militares**

O corpo 12, denominado de edifício dos militares, foi construído no final do séc. XIX, possivelmente quando se instalou no Mosteiro o IO. Uma vez que o IO era uma escola militar feminina, este edifício foi construído com o objetivo de albergar os militares, sendo que incluía camaratas e um refeitório ao nível do piso 1. Era também neste corpo que existia a cozinha principal do IO, ligada à cozinha existente no corpo 7 por uma passagem subterrânea.

## **4.4 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E ESTRUTURAL**

### **4.4.1 Enquadramento e descrição geral da estrutura dos edifícios**

À data da primeira campanha de inspeção, foram formadas duas equipas de trabalho que se dividiram pelos vários edifícios existentes, tendo a equipa onde integrou a estagiária feito o levantamento dos corpos 1, 2, 6, 7, 8 e 10. Dada a dimensão do Mosteiro e devido à existência de revestimentos que ocultam

a estrutura e também à impossibilidade de aceder a todos os espaços, nomeadamente às coberturas, não foi possível caracterizar todos os elementos estruturais existentes. Vale ainda ressaltar que à data da conclusão do estágio ainda não tinham sido realizadas as janelas de sondagens que permitiriam confirmar o que é descrito neste capítulo.

O levantamento estrutural realizado até ao momento é suportado pelas peças desenhadas, que foram integradas no Plano de Ensaio e Sondagens, disponíveis no Anexo II.

#### 4.4.2 Caracterização dos elementos estruturais por corpo

##### **Corpo 1**

O corpo 1, localizado na zona sul do conjunto do Mosteiro, corresponde ao edifício da Igreja, torre sineira, sacristia e edifício adjacente à nave da igreja (Figura 4.16). Apresenta um total de três pisos, sendo que a nave da igreja é composta um espaço único, com um pé direito máximo com mais de 16 metros. Ocupa uma área total de aproximadamente 1100 m<sup>2</sup> e é composta por várias coberturas, a cotas diferentes.

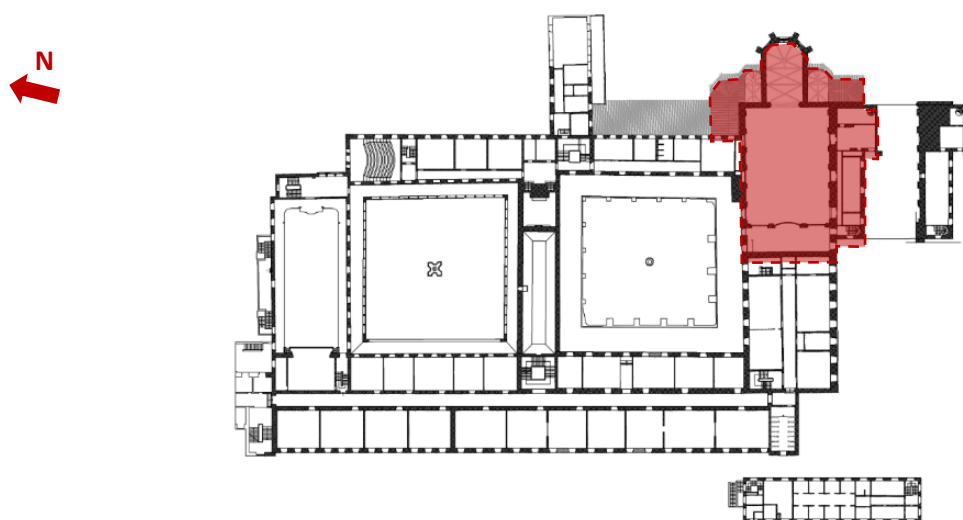


Figura 4.16 – Localização do corpo 1 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura vertical da igreja é materializada por paredes em alvenaria de pedra que se desenvolvem desde a cota do piso 0 até à cobertura, apresentando espessuras elevadas. As paredes da nave são ainda complementadas por pilastras de grandes dimensões, em cantaria de pedra, como se pode observar na Figura 4.17a. A zona da cabeceira é realizada por paredes em cantaria de pedra calcária à vista e contrafortes de grandes dimensões, que conferem maior rigidez a este espaço (Figura 4.17b). O corpo 1 inclui ainda a torre sineira que é, também, realizada em cantaria de pedra.

As paredes exteriores da sacristia e do edifício lateral são igualmente em alvenaria de pedra, com uma espessura média de 0,95 m. Este corpo apresenta ainda algumas paredes divisórias em alvenaria de tijolo.



a) Vista geral sobre o interior da igreja



b) Vista geral sobre a cabeceira da igreja

Figura 4.17 – Exemplos de elementos verticais que constituem a estrutura do corpo 1

No que toca à estrutura horizontal, o corpo da igreja apresenta um pavimento térreo, revestido por lajetas de pedra calcária, que se dispõe a diferentes cotas (mais elevado na capela-mor e nos absidiolos laterais). Ainda na igreja, estima-se que o pavimento do coro alto, adossado na extremidade sudoeste da igreja, é realizado por uma laje maciça de betão armado, apoiada nas paredes de alvenaria, vencendo um vão de 4,20 m. No que diz respeito à estrutura do teto da igreja, esta divide-se em 3 tipos: abóbadas nervuradas em pedra calcária na capela-mor e absidiolos (Figura 4.18a); abóbada de berço em tijolo (Figura 4.18b), reforçada com vigas de betão na nave da igreja (tendo em conta a informação recolhida na análise história); e lajes maciças de betão armado, apoiadas nas paredes de pedra e em duas vigas de betão armado, no coro alto (Figura 4.18c). O teto do coro alto coincide com o pavimento do piso 2 do corpo 2. Os pavimentos do edifício existente a sul da igreja são materializados por lajes maciças de betão e vencem vãos de 4,95m e 2,75m, aproximadamente. O teto do piso 2 e a cobertura deste edifício são materializados por uma estrutura de madeira (Figura 4.18d).



a) Teto da capela-mor



b) Teto da nave da igreja



c) Vigas em betão que constituem o teto do coro-alto



d) Vigas de madeira que constituem o teto do piso 2 do edifício lateral

Figura 4.18 – Exemplos de elementos horizontais que constituem a estrutura do corpo 1

A comunicação vertical entre pisos é realizada por duas escadas: uma caixa de escadas principal que faz a ligação entre todos os pisos e umas escadas metálicas que comunicam o piso 1 e o piso 2 (Figura 4.19). Ambas as escadas estão localizadas no edifício existente a sul a igreja.



a) Caixa de escadas principal



b) Escadas em estrutura metálica

Figura 4.19 – Caixas de escadas existentes no corpo 1

## Corpo 2

O corpo 2 encontra-se adossado à igreja, a sudoeste da mesma, e é delimitado com o claustro novo (corpo 10) e o corpo 7, na zona norte e poente, respetivamente (Figura 4.20). A estrutura deste edifício apresenta um total de três pisos e uma cobertura. Tem uma planta retangular e estende-se por uma área total de 576 m<sup>2</sup>, ao nível do piso 0 e do piso 1, sendo que o último piso e a cobertura ocupam o espaço sobre o coro alto, somando um total de 682 m<sup>2</sup> nestas zonas.

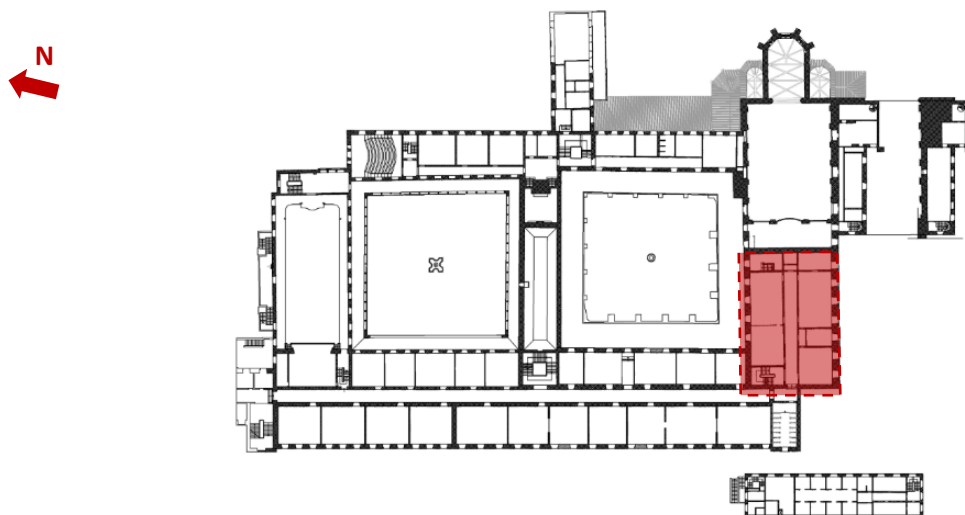


Figura 4.20 – Localização do corpo 2 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura vertical deste edifício é constituída por paredes exteriores em alvenaria de pedra que se desenvolvem desde a cota do piso 0 até a cota da cobertura. Apresentam uma espessura variável em altura, sendo que nos piso 0 e 1 a sua espessura varia entre 1,0m e 1,50m, enquanto no piso 2 a espessura varia entre 0,58m e 0,87m.

A estrutura vertical é complementada por dois alinhamentos interiores materializados por pórticos em betão armado (Figura 4.21), ao nível do piso 0, e paredes em alvenaria de tijolo com folha dupla, com uma espessura média de 0,28 m, que se desenvolvem desde a cota do piso 1 até a cobertura. Os pórticos de betão são constituídos por pilares intermédios de secção transversal retangular de dimensões 0,45x0,65 m<sup>2</sup> e pilares nas extremidades de menor secção (0,45x0,27 m<sup>2</sup>). Além disso, apresentam dois alinhamentos de vigas: o primeiro alinhamento é materializado por vigas de secção transversal quadrada de dimensões 0,30x0,30 m<sup>2</sup>; o segundo alinhamento, localizado a uma cota mais elevada e junto à laje que constitui o pavimento do piso 1, é composto por vigas de secção transversal retangular de dimensões 0,30x0,80 m<sup>2</sup>.

Este corpo apresenta também paredes interiores divisórias em alvenaria de tijolo cerâmico de duas tipologias: folha simples, com 0,14 m de espessura; e folha dupla, idênticas às existentes nos dois alinhamentos estruturais.



Figura 4.21 – Fotos gerais dos pórticos em betão armado existentes no interior do edifício

A estrutura dos pavimentos do piso 1 e do piso 2 é materializada por lajes maciças em betão armado, que vencem os vãos existentes entre os elementos resistentes. Estas lajes apoiam sobre as paredes exteriores, nos alinhamentos estruturais interiores e ainda em vigas de betão armado transversais a estes. As vigas existentes vencem um vão de aproximadamente 6,70 m, existente entre as paredes exteriores em alvenaria de pedra e o alinhamento interior composto pelo pórtico de betão e por paredes de alvenaria de tijolo. Além das estruturas de betão, foi possível identificar que a estrutura de teto de alguns compartimentos do piso 1 é materializada por vigas de madeira que vencem um vão máximo de 3,50 m, existente entre as vigas de betão (Figura 4.22).



Figura 4.22 – Exemplos de elementos horizontais que constituem o pavimento do piso 2 (teto do piso 1)

O teto do piso 2 é suportado por uma estrutura de madeira constituída por vigas de secção transversal retangular de dimensões ainda por definir. No que diz respeito ao teto do corredor central deste piso, as vigas apoiam nas paredes de alvenaria de tijolo e vencem um vão de, aproximadamente, 2,70m. Relativamente aos compartimentos laterais, as vigas estão dispostas ortogonalmente às anteriores, apoiam nas paredes divisórias de alvenaria de tijolo, perpendiculares ao corredor, e são suportadas por uma estrutura em madeira, visível no desvão da cobertura.

A cobertura do corpo 2 é materializada por uma estrutura de madeira de três águas constituída por um total de 14 asnas, com um espaçamento médio entre eixos de 3,65m e diferentes esquemas estruturais (Figura 4.23).

As asnas do tipo 1 apresentam o alçado de maior dimensão e vencem o vão existente entre paredes exteriores de aproximadamente 17,60m, sendo que apresentam dois apoios intermédios no alinhamento das paredes interiores materializadas em tijolo cerâmico. São compostas por duas pernas e uma linha de secção transversal retangular de dimensões 10x16 cm<sup>2</sup>, uma linha elevada dupla de secção 5,5x16 cm<sup>2</sup>, prumos também duplos de secção transversal 5x10 cm<sup>2</sup> e diagonais de secção retangular de dimensões 10x16 cm<sup>2</sup>.

As asnas do tipo 2 apresentam um esquema estrutural simples constituído por duas pernas de secção transversal 7,5x15,5 cm<sup>2</sup> e 7,5x17,5 cm<sup>2</sup>, uma linha de dimensões 7,5x16cm<sup>2</sup> e um pendural de secção também retangular de 8x15,5 cm<sup>2</sup>. Estas asnas materializam um apoio intermédio aos rincões.

As asnas do tipo 3 também apresentam um alçado simples composto por duas pernas de secção transversal retangular de 7,5x15,5 cm<sup>2</sup>, uma linha de dimensões 9,5x15,5 cm<sup>2</sup> e três pendurais: um de secção transversal retangular de dimensões 9,5x16 cm<sup>2</sup> e dois de secção dupla de dimensões 5x10 cm<sup>2</sup>. Do mesmo modo que as asnas do tipo 2, estas asnas materializam um apoio intermédio aos rincões.

As asnas do tipo 4 apresentam um esquema estrutural simples constituído por duas pernas, uma linha e um pendural de igual secção transversal (aproximadamente 8x18 cm<sup>2</sup>). Estas asnas estão localizadas na água poente da cobertura e vencem o vão existente entre a linha da asna tipo 3 e a parede exterior em alvenaria de pedra.

A meia-asna do tipo 5, semelhante à asna do tipo 1, é constituída por uma treliça composta por uma linha, um pendural principal e duas diagonais de secção transversal retangular de dimensões 10x16 cm<sup>2</sup>. Apresenta também dois pendurais de secção dupla de dimensões 5x10 cm<sup>2</sup>. Vence um vão existente entre a parede existente em alvenaria de pedra e o alinhamento de perfis metálicos de secção IPE180, localizados a sensivelmente 1,10m do último alinhamento da asna tipo 1.

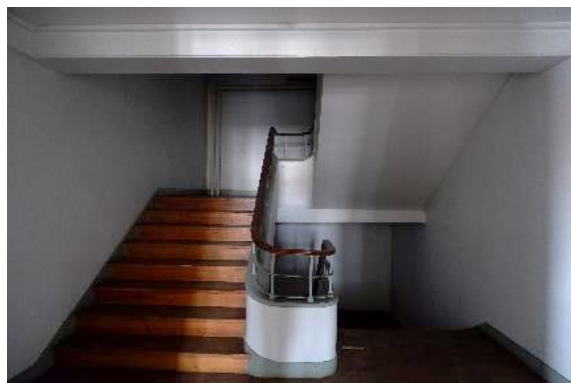
Finalmente, esta cobertura contém ainda dois alinhamentos de escoras, denominados de asna tipo 6, compostos por 5 diagonais de secção transversal retangular de dimensões 9,5x16 cm<sup>2</sup>. Estes alinhamentos são paralelos à asna do tipo 5 e vencem um vão ligeiramente menor que esta asna.

A estrutura da cobertura é complementada por três alinhamentos de madres em cada água de secção transversal retangular de dimensões 8x16 cm<sup>2</sup>, dois rincões de secção transversal igual às madres, uma cumeeira, diferentes escoras nos alinhamentos das madres, varas e frechais.



Figura 4.23 – Fotos gerais da estrutura da cobertura do corpo 2

Este corpo contém duas caixas de escadas, ambas materializadas por estruturas de betão armado (Figura 4.24). A caixa de escadas principal, que faz a ligação a todos os pisos, localiza-se na zona poente, junto ao corpo 7, e é composta por 4 lanços de escadas e 3 patamares intermédios por cada piso. A caixa de escadas, composta, no total, por 3 lanços de escadas e 2 patamares intermédios, localiza-se na zona nascente deste corpo e desenvolve-se desde a cota do piso 1 do claustro (corpo 10) até à cota do piso 2, satisfazendo uma ligação direta entre o exterior e o último piso deste corpo.



a) Caixa de escadas existente na zona poente



b) Caixa de escadas existente na zona nascente

Figura 4.24 – Caixas de escadas existentes no interior do corpo 2

### Corpo 6

O corpo 6 é o edifício que separa os dois claustros, estando localizado numa zona central do conjunto do Mosteiro (Figura 4.25). Apresenta uma planta retangular com aproximadamente 318 m<sup>2</sup> e contém um total de dois pisos e uma cobertura. Este corpo acolhe espaços destacados do Mosteiro como a antiga cozinha e o refeitório das monjas.

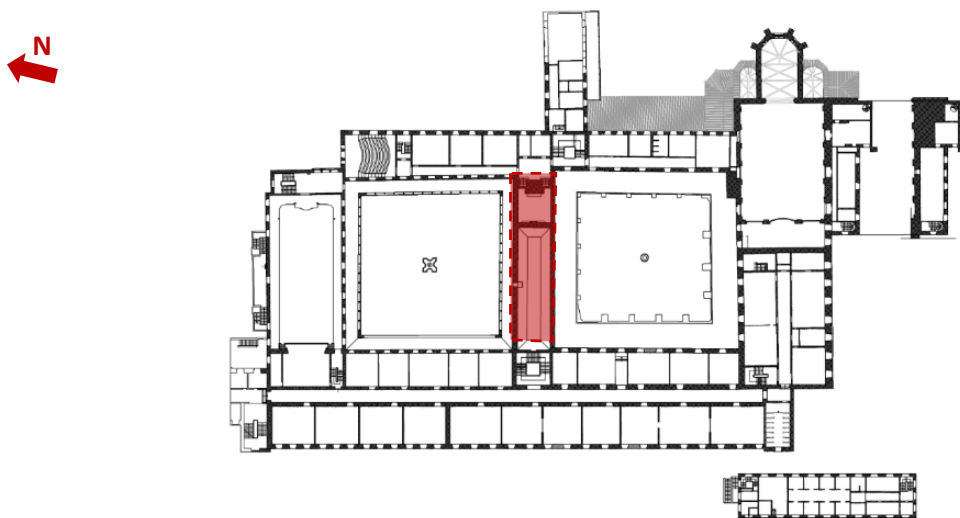
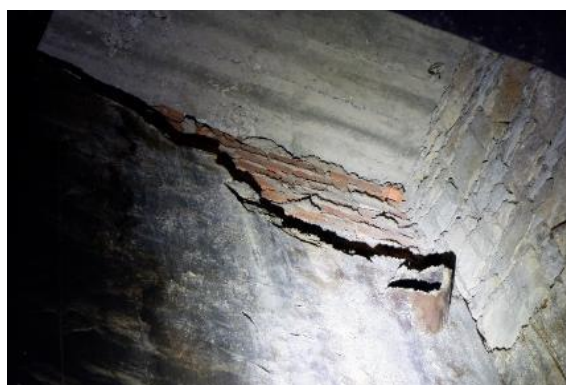


Figura 4.25 – Localização do corpo 6 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura vertical deste edifício é constituída por paredes exteriores e interior em alvenaria de pedra, com espessuras que variam entre 0,75 e 1,12 m (Figura 4.26a). As paredes desenvolvem-se desde a cota do piso 0 até à cobertura e mantém as espessuras constantes em altura. Além das paredes, existe ainda, na antiga cozinha, a estrutura de uma chaminé (Figura 4.26b) que apresenta paredes em alvenaria de tijolo cerâmico, com uma espessura média de 0,53 m, que estendem até à cota da cobertura e materializam as paredes divisórias existentes ao nível do piso 1.



a) Exemplos de paredes existentes em alvenaria de pedra



b) Estrutura da chaminé existente na antiga cozinha (piso 0)

Figura 4.26 – Exemplos de elementos verticais que constituem a estrutura do corpo 6

A estrutura horizontal do corpo 6 é constituída por uma estrutura de madeira, no pavimento piso 1, e por uma estrutura em betão armado, na cobertura.

A estrutura do pavimento do piso 1 (Figura 4.27a) é materializada por vigas de madeira com um afastamento médio de 0,60 m, que vencem um vão de 6,80 m existente entre paredes de alvenaria de pedra. Na zona da antiga cozinha existem, ainda, dois apoios intermédios, materializados por duas vigas de madeira e duas escoras diagonais, cada uma, que reduzem significativamente o seu comprimento livre (Figura 4.27b). Acredita-se que, dada sua configuração, a estrutura do teto do piso 0 no espaço do antigo refeitório (Figura 4.27c) pode ser materializado por uma estrutura idêntica a esta, podendo ou não estar ligada à estrutura do pavimento do piso 1. Já o teto do piso 1 é realizado por uma laje aligeirada em betão armado, que vence o vão existente entre as paredes exteriores em alvenaria de pedra.



a) Pavimento do piso 1



b) Estrutura de madeira visível no teto da antiga cozinha (piso 0)



c) Teto do refeitório (piso 0)

Figura 4.27 – Fotos gerais dos elementos horizontais que constituem o corpo 6

A cobertura de duas águas, materializada em betão armado (Figura 4.28), é composta por um total de 7 asnas, de alçado simples, constituídas por duas pernas de secção transversal retangular com  $0,20 \times 0,25 \text{ m}^2$  e uma linha materializada por um tirante metálico com 8,5 mm de diâmetro. Esta estrutura é complementada por uma viga cumeeira de secção retangular com  $0,20 \times 0,36 \text{ m}^2$  e varas materializadas por vigotas pré-esforçadas com secção transversal em “T”, espaçadas 1,50 m entre eixos. Esta estrutura contempla ainda o espaço sobre a caixa de escadas considerada no corpo 7, cujo teto é materializado por vigas de betão armado que suportam a estrutura da claraboia.

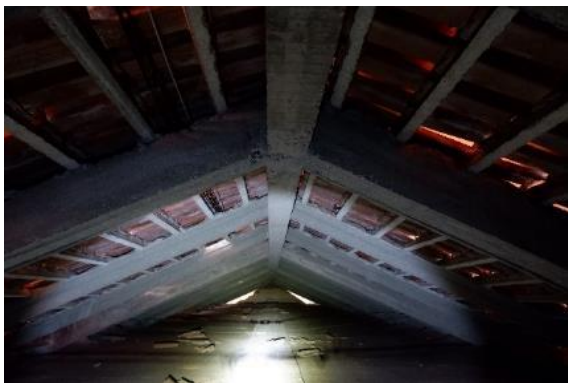




Figura 4.28 – Fotos gerais da estrutura da cobertura do corpo 6

No interior e exterior do edifício existem vários lanços de escadas que servem de acesso aos diferentes compartimentos, assim como aos corpos adjacentes. No alçado sul do edifício, existem umas escadas exteriores materializadas em pedra que servem de acesso ao refeitório existente no piso 0, a partir do piso 0 do corpo 10 (Figura 4.29a). No piso 0, na zona nascente, existe um lanço de escadas que serve de acesso à antiga cozinha desde o interior do piso 0 do corpo 5 (Figura 4.29b).

Ao nível do piso 1 existem três lanços de escadas materializados em madeira: dois lanços servem de acesso ao piso 1 desde o interior do corpo 5 (Figura 4.29c), e o outro que faz a ligação entre o piso 1 do corpo 6 e o piso 2 do corpo 5 (Figura 4.29d).



a) Escadas de acesso ao refeitório (piso 0)



b) Escadas de acesso à antiga cozinha (piso 0)



c) Escadas de acesso ao piso 1 desde o interior do corpo 5



d) Escadas de acesso ao piso 2 do corpo 5 desde o piso 1 do corpo 6

Figura 4.29 – Escadas existentes na estrutura do corpo 6

### Corpo 7

O corpo 7 localiza-se na zona poente do conjunto do Mosteiro (Figura 4.30) e está diretamente ligado ao corpo 8, formando com este uma área aproximadamente retangular. É delimitado pelos corpos 2, 6, 8 e 10 e nele se localiza uma das caixas de escadas de todo o conjunto, que realiza o acesso ao piso superior deste corpo assim como dos corpos 2 e 8. Apresenta um total de dois pisos e uma cobertura e tem uma área de aproximadamente 1324 m<sup>2</sup>.

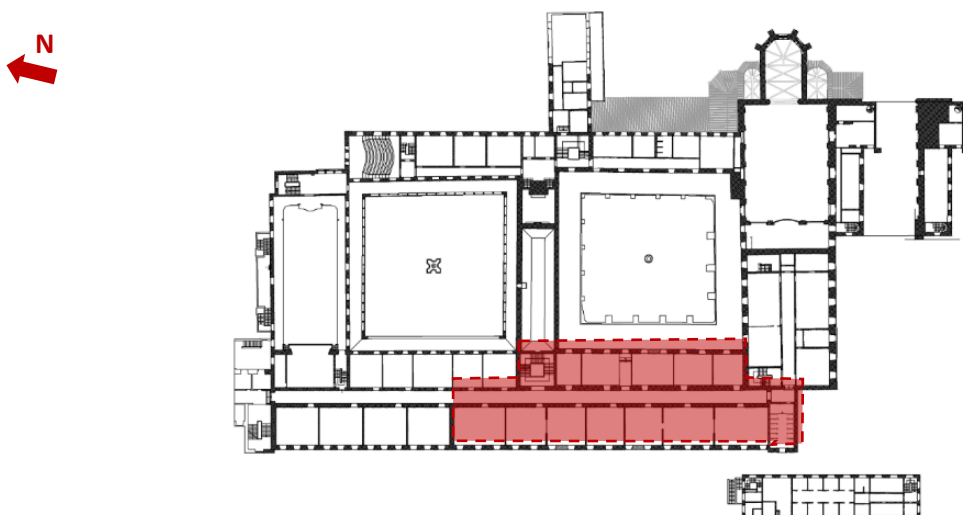


Figura 4.30 – Localização do corpo 7 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura vertical do corpo 7 é constituída por paredes exteriores em alvenaria de pedra e paredes interiores em alvenaria de pedra e tijolo cerâmico.

As paredes exteriores apresentam uma espessura que varia entre 0,55 e 1,0 m e desenvolvem-se desde a cota do piso 0 até à cobertura, sendo que a sua espessura diminui em altura entre 5 e 15 cm.

As paredes interiores em alvenaria de pedra, que confinam o corredor central deste corpo, desenvolvem-se também desde o piso 0 até a cota da cobertura, apresentando uma espessura constante em altura que varia entre 0,90m e 1,0m.

Quanto às paredes interiores existentes em alvenaria de tijolo, estas apresentam uma espessura média de 0,28m (folha dupla) ao nível do rés-do-chão e variam entre 0,14m (folha simples) e 0,28m no piso 1. As paredes desta tipologia existentes no piso 0 desenvolvem-se, maioritariamente, até à cobertura, sendo que as paredes existentes no piso 1 sem continuidade no piso 0 apoiam nas vigas ou nas lajes de betão armado existentes na estrutura do pavimento do piso 1.

A estrutura horizontal do edifício é constituída por elementos em betão armado, no caso do piso 1, e elementos de madeira, no caso do teto do piso 1 e da cobertura.

A estrutura do pavimento do piso 1 é materializada por lajes maciças em betão armado que vencem o vão existente entre paredes em alvenaria de pedra e vigas existentes em betão armado (Figura 4.31). Na zona poente, o pavimento é constituído por lajes maciças que apoiam em vigas com secção transversal retangular, afastadas aproximadamente 4,15 m entre eixos. Estas vigas apoiam nas paredes exterior e interior em alvenaria de pedra e vencem um vão de 7,75 m. Na zona central, sobre o corredor, o pavimento é materializado por uma laje maciça que apoia nas paredes interiores em alvenaria de pedra que delimitam o corredor. Quanto à zona nascente, o pavimento é constituído, de forma geral, por lajes maciças em betão armado que vencem o vão existente entre as vigas de betão armado de aproximadamente 3,55m. As vigas de betão existentes nesta zona vencem um vão de 6,70 m, existente entre as paredes exterior e interior em alvenaria de pedra. Além disso, a estrutura do piso 1 apresenta ainda, na zona nascente, duas áreas materializadas por lajes maciças apoiadas em vigas secundárias em betão armado, de menor secção, que vencem o vão existente entre paredes interiores de aproximadamente 5,25m.



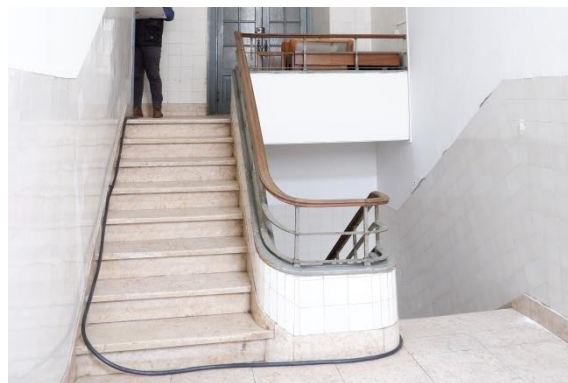
Figura 4.31 – Exemplos de elementos em betão armado que constituem a estrutura do corpo 7

Este corpo apresenta uma cobertura materializada por uma estrutura de madeira, sendo esta comum com a cobertura do corpo 8.

Existem também duas caixas de escadas (Figura 4.32): a principal que serve a comunicação vertical entre os dois pisos do corpo 7 e do corpo 8, assim como realiza o acesso ao piso 1 do corpo 6; e outra, secundária, que serve um acesso subterrâneo ao corpo 12. Estas escadas, à semelhança de grande parte da estrutura deste corpo, são materializadas em betão armado.



a) Caixa de escadas principal



b) Caixa de escadas de acesso ao corpo 12

Figura 4.32 – Caixas de escadas existentes no interior do corpo 7

### Corpo 8

O corpo 8, adossado, a sul, ao corpo 7, localiza-se igualmente na zona poente do conjunto do Mosteiro e é um dos edifícios que limita o claustro da Moura (Figura 4.33). Apresenta uma área de aproximadamente 780 m<sup>2</sup> e, à semelhança do corpo 7, contém um total de dois pisos e uma cobertura. Este edifício e o edifício anterior são unidos pela mesma cobertura.

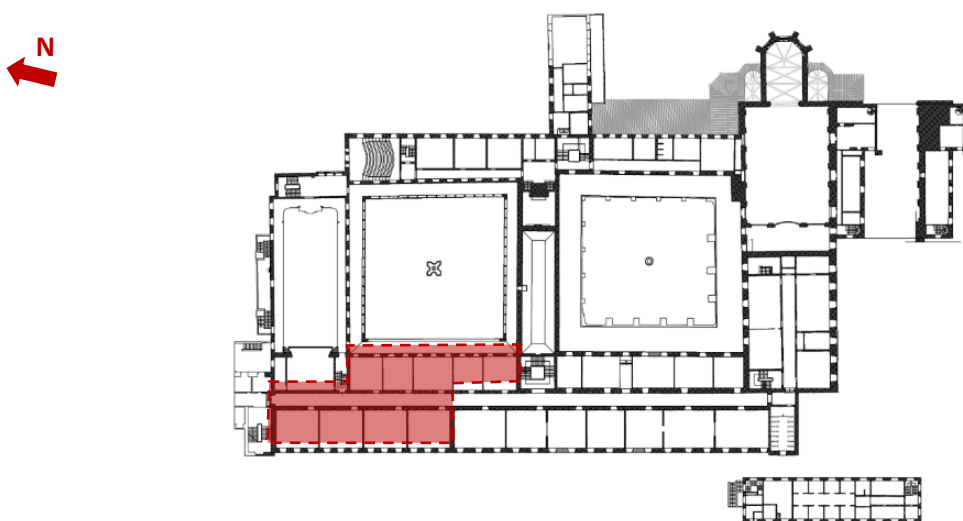


Figura 4.33 – Localização do corpo 8 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura vertical do corpo 8 é idêntica à estrutura do corpo 7, sendo constituída por paredes exteriores em alvenaria de pedra e paredes interiores em alvenaria de pedra e tijolo cerâmico.

As paredes exteriores resistentes e as paredes interiores que delimitam o corredor existente, materializadas em alvenaria de pedra, apresentam uma espessura variável entre 0,70m e 1,0m e desenvolvem-se desde a cota do piso 0 até a cobertura. Além das paredes em alvenaria de pedra, foram identificadas paredes interiores em alvenaria de tijolo maciço de duas tipologias: folha simples (0,14m de espessura) e folha dupla (0,28m de espessura). As paredes da zona poente são contínuas entre pisos, enquanto as paredes da zona nascente apresentam uma distribuição diferente entre pisos.

A estrutura horizontal do corpo 8, à semelhança do corpo 7, é materializada por elementos em betão armado, no pavimento do piso 1, e em estrutura de madeira, no teto do piso 1 e na cobertura.

O pavimento do piso 1 é constituído por lajes maciças que vencem o vão entre as paredes resistentes e os elementos existentes em betão armado (vigas principais e vigas secundárias) (Figura 4.34). As vigas principais apresentam uma secção transversal retangular de dimensões variáveis e vencem um vão máximo entre paredes resistentes de 7,80m. As vigas secundárias, de menor secção, vencem o vão existente entre as vigas principais.

No que diz respeito ao teto do piso 1 e à cobertura, estes são materializados por uma estrutura em madeira contínua entre os corpos 7 e 8.



Figura 4.34 – Exemplos de elementos em betão armado que constituem a estrutura do corpo 8

### **Corpo 10**

O corpo 10 corresponde ao primeiro claustro deste mosteiro, denominado de Claustro Novo. Localiza-se junto à igreja, a sul do corpo 6 (corpo central) e é ainda delimitado ainda pelos corpos 2, 7 e 3 (Figura 4.35). Apresenta uma planta aproximadamente quadrada com aproximadamente 1391 m<sup>2</sup> de área e é composto por dois pisos – o piso 0 é constituído por uma galeria aberta e o piso 1 é materializado por um terraço.

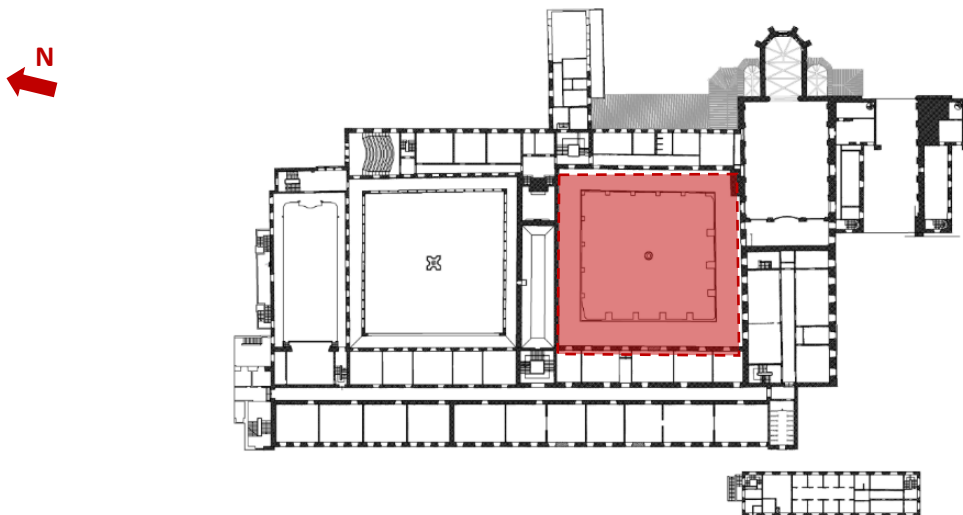


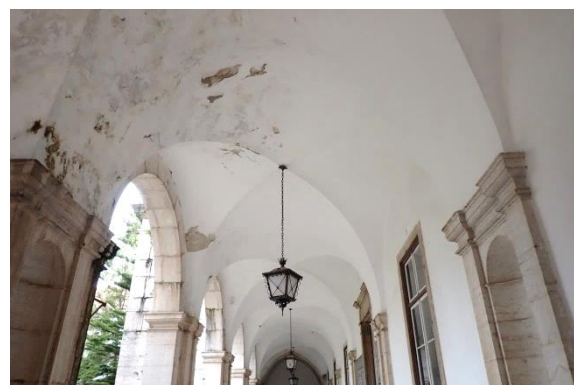
Figura 4.35 – Localização do corpo 10 dentro do conjunto do Mosteiro

A estrutura do Claustro, em galeria aberta e com um espaço ajardinado no interior, apresenta dois pisos, sendo a sua estrutura materializada por elementos de alvenaria e cantaria de pedra calcária. A estrutura deste corpo pode ser separada em duas tipologias, sendo que as alas sul e poente remontam a época de construção original do mosteiro e as alas norte e nascente são de construção posterior (séc. XIII).

A estrutura horizontal do claustro é constituída por abóbadas de cruzaria com nervuras chanfradas, no caso das alas sul e poente (Figura 4.36a), e abóbadas de aresta simples, nas outras alas (Figura 4.36b). Estas abóbadas, que apoiam sobre as paredes existentes em alvenaria e os elementos que constituem a estrutura vertical da galeria, apresentam elementos em betão armado, tendo este facto sido concluído aquando da realização das obras de reabilitação e restauro dos Claustros (Figura 4.37).



a) Abóbadas de cruzaria com nervuras existentes nas alas sul e poente



b) Abóbadas de aresta existentes na alas norte e nascente

Figura 4.36 – Elementos que constituem a estrutura horizontal do corpo 10



Figura 4.37 – Exemplo de elemento em betão armado existente nas abóbadas do Claustro Novo (ala sul)  
(fonte: Câmara Municipal de Odivelas)

A estrutura vertical do Claustro é composta pelas paredes em alvenaria de pedra que constituem a estrutura dos diferentes edifícios que o delimitam e pelos muros, pilares, arcos e contrafortes em alvenaria e cantaria de pedra. As alas sul e poente são compostas por pilares em pedra, com elementos em contraforte na parte interior do Claustro, pilares secundários de secção circular, apoiados sobre um muro de alvenaria, sobre os quais se formam dois arcos em cantaria de pedra (Figura 4.38a). Já as alas norte e nascente são materializadas apenas por pilares de secção transversal retangular, de maior dimensão que os primeiros, complementados também por um elemento de contraforte na parte interior do claustro e ligados entre si por um arco de volta perfeita (Figura 4.38b).



a) Elementos verticais das alas sul e poente



b) Elementos verticais das alas norte e nascente

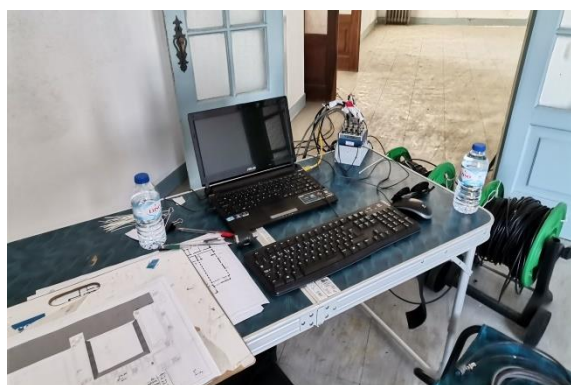


Figura 4.38 – Elementos que constituem a estrutura vertical do corpo 10

### 4.4.3 Ensaios de identificação dinâmica

Como foi mencionado anteriormente, a segunda campanha de inspeção consistiu na realização de ensaios de identificação dinâmica, tendo sido necessários 3 dias para ensaiar todo o conjunto edificado.

Os ensaios de identificação dinâmica são um tipo de ensaio não destrutivo com grande utilidade na verificação do comportamento estrutural e integridade da construção, sendo utilizado para a calibração de parâmetros de comportamento global. Os ensaios realizados (Figura 4.39) consistiram na medição de vibração ambiental, em que a excitação dinâmica da estrutura é imposta por condições ambientais como vento, tráfego, máquinas em movimento, etc. [43]. Através dos dados recolhidos na campanha de ensaios será possível proceder à validação/calibração do modelo numérico da estrutura.



a) Ponto de aquisição de dados



b) Acelerómetros

Figura 4.39 – Registo fotográfico dos ensaios de identificação dinâmica realizados

Este tipo de ensaio requer uma escolha criteriosa da localização dos pontos de leitura, tendo estes sido escolhidos com base na análise do levantamento estrutural, com o objetivo de caracterizar o melhor possível todos os corpos que compõem o Mosteiro, assim como o seu funcionamento em conjunto. Foram utilizados um total de 8 acelerómetros, agrupados 2 a 2 para medição das 2 direções bidimensionais principais (x e y) (Figura 4.39b). Foram realizados, no total, 11 *setups*, cada um composto por 4 pontos de leitura bidireccionais, tendo sido mantido um ponto fixo numa extremidade do Mosteiro (corpo 4) nos 10 primeiros. Foram efetuados registos com durações de 15 e 10 minutos em todos os pontos de leitura, que se distribuíram essencialmente pelos pisos 1 e 2 dos vários corpos.

Ainda no domínio deste trabalho, foi desenvolvido um modelo numérico do conjunto do Mosteiro, que será calibrado com os resultados destes ensaios e que permitirá uma melhor compreensão e avaliação do comportamento global dos edifícios. Dada a dimensão e complexidade do Mosteiro, o modelo numérico foi desenvolvido em duas fases, com recurso a duas ferramentas: (i) criação de um modelo tridimensional com recurso ao *software CAD Draftsight*® (Figura 4.40); e (ii) importação do modelo tridimensional para o programa de cálculo automático de análise estrutural *SAP200*® (Figura 4.41), onde é feita a restante modelação dos elementos estruturais. Nesta segunda fase de modelação, além da definição de malhas de

elementos finitos em todos os corpos, terão que ser modelados todos os elementos estruturais existentes, nomeadamente vigas e pilares em elementos do tipo “barra”. Até à data da conclusão do estágio, foi concluído o corpo da igreja (Figura 4.42), à exceção das coberturas, tendo sido gerada uma malha automática e posteriormente corrigida.

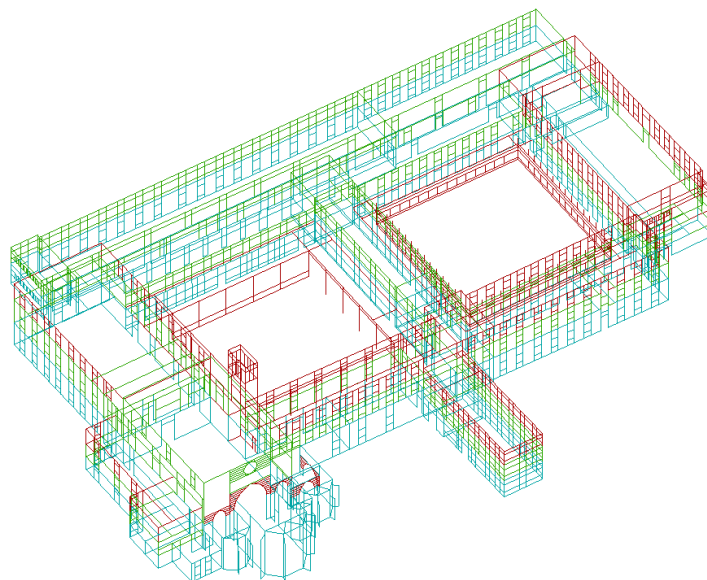


Figura 4.40 – Modelo tridimensional desenvolvido com recurso ao *Draftsight*®

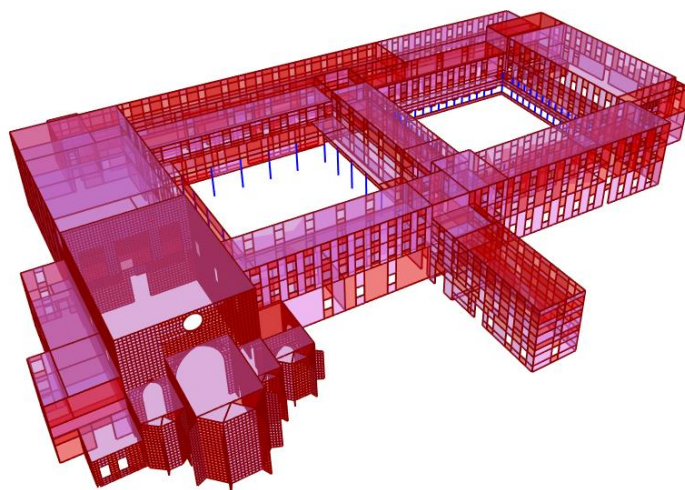


Figura 4.41 – Modelo tridimensional importado no *SAP2000*®

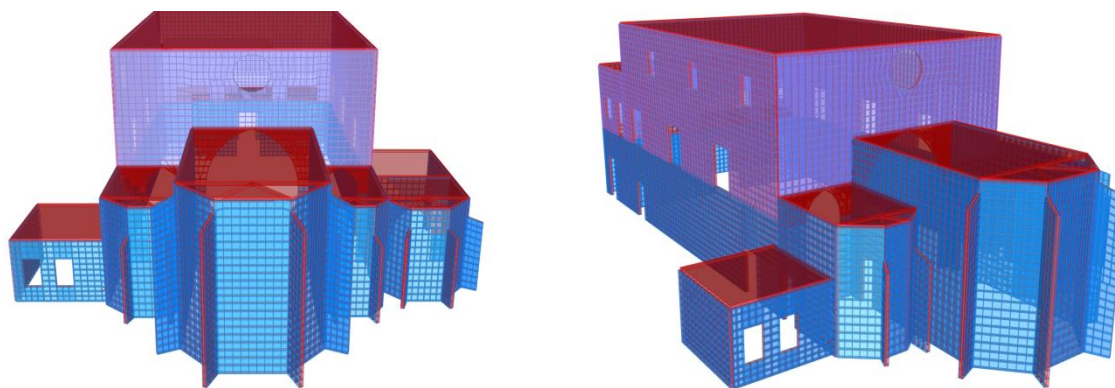


Figura 4.42 – Modelo numérico do corpo da Igreja (SAP2000®)

Além dos ensaios dinâmicos já realizados, cujos resultados serão tratados fora do âmbito deste relatório, terão de ser ainda planeadas campanhas de inspeção que incluam a realização dos vários ensaios previstos para a caracterização estrutural do Mosteiro – abertura de janelas de sondagens; extração de carotes; ensaios com macacos planos; entre outros. A realização de ensaios de diagnóstico e de caracterização dos materiais é essencial num trabalho de inspeção como este.

Estando previstas obras de alteração e adaptação no Mosteiro de Odivelas, a inspeção e diagnóstico é um trabalho de extrema importância para a caracterização das estruturas existentes e para a sua avaliação da segurança, nomeadamente segurança sísmica, sendo assim possível intervir nos edifícios com vista à melhoria do seu comportamento estrutural.

## CAPÍTULO 5

### INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO – CASA MILHEIRÓS

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados do trabalho de inspeção e diagnóstico realizado, em colaboração com a equipa do NCREP, numa casa localizada em Milheirós. No seguimento da visita técnica realizada, foi elaborado um relatório de inspeção e diagnóstico, que foi dividido nas secções apresentadas nos subcapítulos seguintes. Este relatório foi ainda complementado com peças desenhadas, apresentadas no Anexo IV deste documento.

#### 5.2 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E ESTRUTURAL

##### 5.2.1 Descrição Geral do edifício

A Casa Milheirós é um edifício residencial composto pela casa principal e anexos (Figura 5.1). A casa principal apresenta uma planta aproximadamente retangular e é composta por 2 pisos e um pequeno espaço de aproveitamento do desvão da cobertura. O conjunto edificado apresenta uma área total de implantação de aproximadamente 230 m<sup>2</sup>.



a) Fachada principal (alçado noroeste)



a) Fachada lateral (alçado sudoeste)



c) Fachada de tardoz (alçado sudeste)



d) Anexos na zona posterior do edifício

Figura 5.1 – Registo fotográfico do edifício em estudo

O edifício apresenta uma tipologia construtiva tradicional composta essencialmente por paredes exteriores e interiores resistentes em alvenaria de granito, paredes interiores em tabique, com função de compartimentação e pavimentos, escadas e cobertura em estrutura de madeira.

### 5.2.2 Ensaios realizados no local

A estrutura resistente do edifício encontrava-se maioritariamente à vista devido à ausência de revestimentos dos tetos, facilitando a sua caracterização geométrica e material e a avaliação do estado de conservação dos elementos existentes. A inspeção visual foi complementada e validada com a realização dos seguintes ensaios não destrutivos, com recurso aos seguintes equipamentos (Figura 5.2):

- Martelo – permitiu obter informações sobre o estado de conservação dos elementos de madeira através da apreciação do som produzido pelo seu impacto;
- Detetor de metais – permitiu identificar o alinhamento e o espaçamento das vigas de madeira, através da deteção dos pregos de fixação do soalho muitas vezes invisíveis;
- *Resistograph* – permitiu avaliar o estado de conservação superficial e interno da madeira, assim como conhecer a altura das vigas quando estas não estavam visíveis ou acessíveis.

Foram realizados, no total 22 ensaios com o *Resistograph*, estando os elementos ensaiados identificados nas pelas desenhadas em anexo com o código *ERi*. Os resultados destes ensaios são apresentados no Anexo III deste relatório, com identificação dos elementos ensaiados e um comentário sobre o resultado da avaliação do estado de conservação.

Os ensaios realizados nos pavimentos e cobertura revelaram um estado de conservação razoável dos elementos estruturais, tendo sido detetados elementos em mau estado de conservação. O ensaio realizado nas escadas existentes junto à entrada principal revelou o seu mau estado de conservação.



a) Martelo

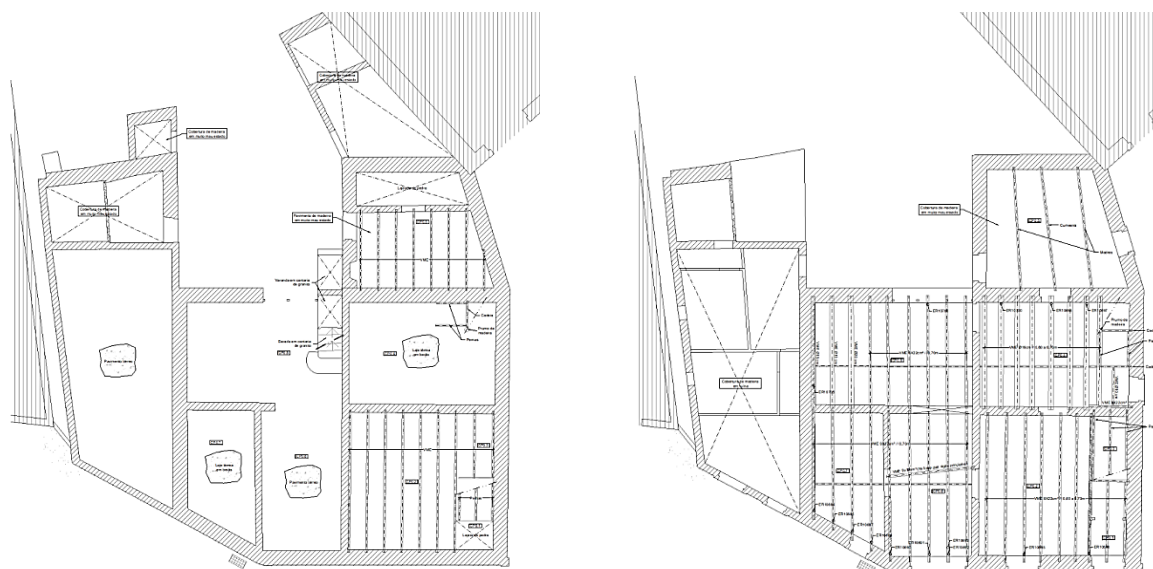
b) Detetor de metais

c) *Resistograph*

Figura 5.2 – Instrumentos utilizados na campanha de inspeção

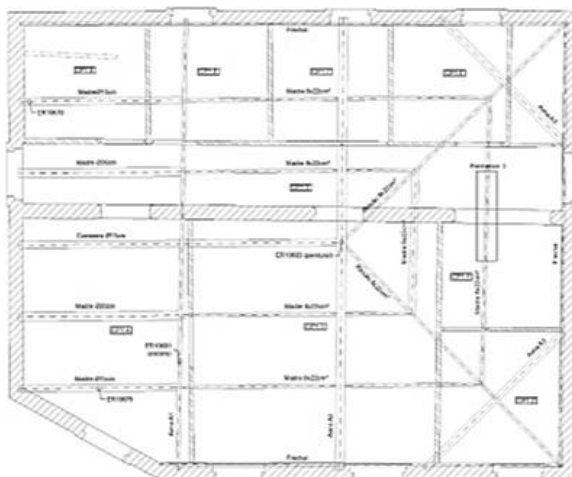
### 5.2.3 Caracterização dos elementos estruturais

A caracterização dos elementos estruturais existentes, realizada com base nos levantamentos, medições e ensaios efetuados, é apresentada seguida e complementada pelas plantas estruturais apresentadas na Figura 5.3 e que podem ser consultadas com maior escala nas peças desenhadas que se encontram em anexo.



a) Planta estrutural do piso 0

b) Planta estrutural do piso 1



c) Planta estrutural da cobertura

Figura 5.3 – Levantamento estrutural do edifício (sem escala)

A estrutura resistente vertical do edifício é materializada por paredes exteriores e interiores em alvenaria de granito (Figura 5.4), com espessuras que variam entre 0,30 e 0,55 metros, diminuindo em altura. Apenas uma das paredes interiores se estende desde a cota do piso 0 até à cobertura, sendo um ponto de apoio intermédio das vigas de pavimento do piso 1 e das asnas da cobertura.



a) Fachada posterior e anexos



b) Parede interior (piso 0)

Figura 5.4 – Exemplos de elementos resistentes verticais em alvenaria de pedra

Além das paredes em alvenaria de pedra, existem paredes em tabique (Figura 5.5), com função de compartimentação no piso 1 e na separação para a caixa de escadas ao nível do piso 0. Estas paredes apresentam uma espessura de aproximadamente 10 centímetros e são constituídas por uma estrutura de madeira formada por tábuas costaneiras e por um fasquiado, sobre o qual é aplicado o reboco, em ambas as faces.



Figura 5.5 – Elementos verticais em tabique

Foi ainda encontrada uma parede em alvenaria de tijolo furado, com função de compartimentação, num dos edifícios anexos existentes na zona posterior do edifício.

No que diz respeito aos pavimentos, a observação direta dos mesmos, aliada aos ensaios de *Resistograph*, permitiu concluir que os pavimentos do piso 1 (Figura 5.6) são constituídos por vigas com secção circular, em madeira folhosa, com aproximadamente 18 centímetros de diâmetro e vigas com secção retangular, em madeira de Pinho, com secção 8x22cm<sup>2</sup>. Nos espaços onde não foi possível confirmar a configuração das vigas foi assumida a geometria dos espaços contíguos. No piso 0 assumiu-se uma geometria idêntica ao do piso 1 uma vez que, dado o seu mau estado de conservação global, não foi efetuado o levantamento dos elementos existentes.



Figura 5.6 – Exemplos de vigas de pavimento existentes

As escadas que fazem a ligação vertical entre o piso 0 e o piso 1, assim como a escada de acesso ao desvão da cobertura, são materializadas por estruturas de madeira. A escada existente junto à entrada principal (Figura 5.7a) é composta por duas pernas laterais com secção de 7x21 cm<sup>2</sup> e uma perna central de 8x14 cm<sup>2</sup>, que apoiam na estrutura do pavimento do piso 0 e na parede interior em alvenaria. A segunda escada que realiza o acesso ao piso 1 (Figura 5.7b) é composta por 2 pernas que apoiam num prumo de madeira e nas cadeias existentes. Em relação ao acesso ao desvão da cobertura, é realizado por 3 lanços de escadas e 2 patamares, não tendo sido possível caracterizar sua estrutura.



a) Escada junto à entrada principal



b) Escada existente no compartimento central da casa principal

Figura 5.7 – Escadas que realizam a ligação entre o piso 0 e o piso 1

No que diz respeito à cobertura principal do edifício, esta é materializada por uma estrutura de madeira de 3 águas composta por 4 asnas, sendo 2 delas asnas secundárias que realizam um apoio intermédio dos rincões. À semelhança dos pavimentos, a cobertura contém elementos de secção circular em madeira folhosa e elementos de secção retangular em madeira de Pinho.

As duas asnas principais (Figura 5.8), que apoiam nas paredes exteriores e na parede interior em alvenaria de pedra, apresentam uma configuração tradicional de Palladio – cada asna é composta por duas pernas, um pendural e duas escoras, com secção de  $8 \times 22 \text{ cm}^2$ , e uma linha. No caso da asna A1, a linha é realizada por uma peça única com secção de  $9 \times 28 \text{ cm}^2$ , enquanto a linha da asna A2 é composta por uma viga descontínua com secção circular com 20 cm de diâmetro.

As asnas secundárias (Figura 5.9), de dimensão mais pequena, são compostas por duas pernas, uma linha baixa e uma linha alta com secções circulares com diâmetros entre os 10 e os 15 cm. Além das asnas existe

ainda um alinhamento de escoras (Figura 5.10), com secções circulares, que realiza o apoio intermédio de uma das madres.

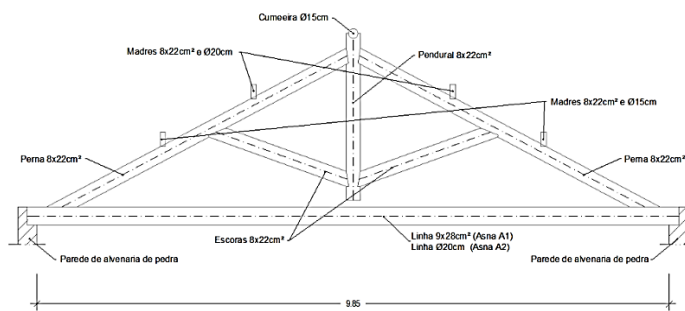


Figura 5.8 – Alçado da asna principal (sem escala) e registo fotográfico da asna A2

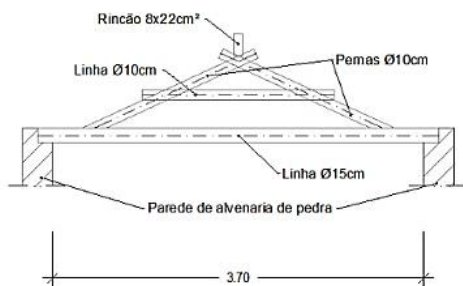


Figura 5.9 – Alçado (sem escala) e registo fotográfico da asna secundária

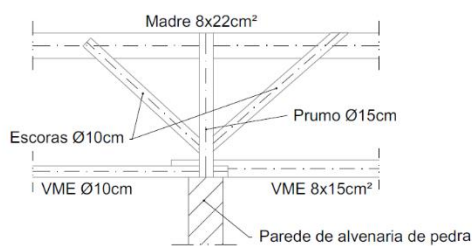


Figura 5.10 – Alçado (sem escala) e registo fotográfico do alinhamento de escoras

A estrutura da cobertura conta ainda com dois alinhamentos de madres, compostos por peças de diferentes dimensões, uma cumeeira circular com 15 cm de diâmetro e dois rincões com secção retangular com 8x22 cm<sup>2</sup>.

As restantes coberturas existentes encontram-se em mau estado de conservação, não tendo sido feito o levantamento da sua geometria.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DANOS OBSERVADOS

A inspeção visual e os ensaios realizados permitiram identificar e avaliar os danos existentes nos elementos estruturais, assim como avaliar o estado de conservação dos mesmos. De uma forma geral, os elementos estruturais do edifício apresentam um estado de conservação razoável, tendo sido detetados alguns elementos em mau estado, como será detalhado de seguida.

Serão apresentados, de forma sucinta, os principais danos observados nos elementos estruturais, sendo feita a sua representação espacial nas peças desenhadas em anexo. Estes danos foram divididos em dois grupos – danos em elementos resistentes horizontais (pavimentos, escadas e cobertura) e danos em elementos resistentes verticais (paredes).

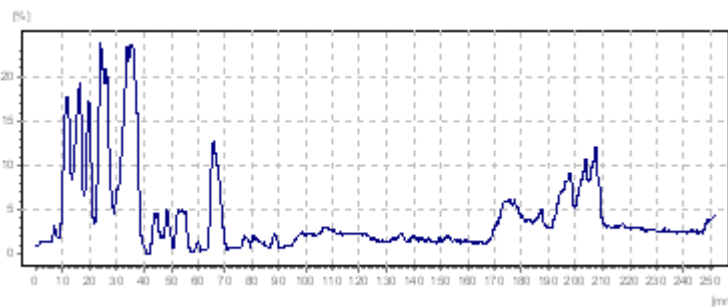
Com o objetivo de sistematizar as anomalias encontradas, a representação dos danos nas peças desenhadas foi feita com o código *Mi* para os elementos horizontais (em madeira) e *Ai* para os elementos verticais (em alvenaria de pedra e tabique), de acordo com o que é indicado na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2. Para os danos não estruturais foi utilizado o código *Bi*.

Tabela 5.1 – Danos estruturais em elementos resistentes horizontais

---

#### Degradação por ataques de insetos sociais (térmitas) – M1

Foram encontrados sinais de ataques de térmitas, nomeadamente caminhos de terra, nas escadas junto à entrada principal do edifício. Foi realizado um ensaio com *Resistograph* (ER22) neste ponto, que permitiu confirmar a degradação interna de uma das pernas desta estrutura.



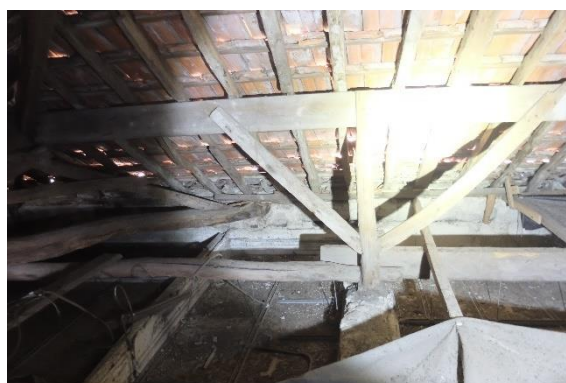
### Degradação por ataques de agentes bióticos (caruncho) – M2

Foram detetados danos de origem biótica em algumas peças da cobertura, nomeadamente uma perna e uma escora da asna A1, que apresentavam degradação superficial causada pelo ataque de caruncho potenciado pela presença de água. Também foi identificada degradação por ataques de caruncho nos degraus da escada junto à entrada, nas vigas de pavimento do piso 0 e numa viga de suporte de teto do piso 2, alinhada com as linhas das asnas.



### Deformação – M3

Na cobertura, foi encontrada uma madre com uma deformação significativa, devido ao seu grande vão (6,40m). Acredita-se que o alinhamento de escoras existentes foi colocado posteriormente para servir de apoio intermédio a este elemento.



### Manchas de humidade – M4

Foi identificada presença de humidade e consequente degradação material de alguns elementos da cobertura principal, devido à fraca impermeabilização da mesma. Este dano é evidente em alguns pontos da estrutura, essencialmente junto às entregas. Também foi possível identificar um foco de entrada de água no teto do piso 1, originando a degradação do material de revestimento.



Além das anomalias descritas acima, como já foi mencionado anteriormente, os pavimentos do piso 0 e as coberturas dos espaços anexos apresentam um nível de degradação avançado, devido à sua fraca configuração estrutural, presença de água e falta de ventilação (dos pavimentos) (Figura 5.11).



Figura 5.11 – Degradação das vigas de pavimento do piso 0 e das coberturas dos edifícios anexos

Tabela 5.2 – Danos estruturais em elementos resistentes horizontais

**Fissuração vertical – A1 e A3**

Foram identificadas fissuras verticais numa parede de tabique do piso 1 que poderão estar relacionadas com a não continuidade das paredes em altura, estando sujeitas à deformação das vigas de madeira (A1).

Foram ainda encontradas fissuras verticais na ligação entre paredes ortogonais (A3) – no caso das paredes de alvenaria, pode dever-se à falta de ligação entre as mesmas; no caso da ligação entre a parede de tabique e parede de fachada, pode estar relacionado com a própria interação de materiais com comportamentos distintos.



### Fissuração diagonal – A2

Foram identificadas fissuras diagonais ao longo de uma das paredes de tabique do piso 1, que, à semelhança das fissuras verticais encontradas noutra parede, se devem à deformação dos pavimentos de madeira.



Nas paredes de alvenaria de pedra foram ainda identificados danos não estruturais como manchas de humidade (B1) e existência de argamassa cimentícia (B2) (Figura 5.12).



Figura 5.12 – Manchas de humidade e argamassa cimentícia nas paredes de alvenaria de pedra

## 5.4 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL

Foi feita a verificação de segurança estrutural das estruturas de madeira, quer dos pavimentos como da cobertura, para os Estados Limite Últimos (ELU) e para os Estado Limite de Utilização/Serviço (ELS), no caso dos pavimentos. Esta verificação tem em vista avaliar a adequabilidade da estrutura existente às cargas atuantes, tendo em conta a legislação vigente. A avaliação da segurança estrutural foi realizada considerando a estrutura no seu estado atual e as cargas a que está submetida, sendo necessário contabilizar, em fase de projeto, contabilizar as cargas efetivas tendo em conta as soluções construtivas definidas no projeto de arquitetura.

Tal como já foi referido anteriormente, a inspeção visual e os ensaios realizados permitiram concluir acerca da configuração geométrica das estruturas assim como as características dos materiais que as compõem. Foi, então, possível aferir que os elementos de madeira com secção transversal circular são em madeira do tipo folhosa, provavelmente madeira de Castanho, e os elementos com secção retangular são em madeira de Pinho. Foi também verificada uma densidade alta nas peças de madeira da cobertura, sendo este parâmetro correlacionável com a sua resistência. Assim sendo, na análise dos elementos

estruturais de madeira foram adotadas as características correspondentes às seguintes classes, de acordo com a norma EN338 [20]:

- Elementos com secção circular – madeira maciça folhosa de castanho, D30;
- Elementos da cobertura com secção retangular – madeira maciça resinosa de pinho nórdico (*pinus sylvestris*), C24;
- Vigas de pavimento com secção retangular – madeira maciça resinosa de pinho nacional (*pinus pinaster*), C18.

Adotaram-se os critérios de verificação de segurança definidos na regulamentação portuguesa em vigor, nomeadamente:

- NP EN 1990 – Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas [44];
- NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1 – Ações em estrutura. Parte 1-1: Ações gerais – pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios [45];
- NP EN 1995 – Eurocódigo 5 – Projeto de estruturas de madeira. Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios [19].

Tendo em conta os pressupostos na regulamentação apresenta anteriormente, foram consideradas as seguintes combinações de ações [44]:

- Combinação de ações fundamentais, para verificação dos estados limite últimos:

$$Comb_{ELU} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (5.1)$$

- Combinação característica, para a verificação dos estados limite de utilização, no cálculo da deformação instantânea:

$$Comb_{ELS (u_{inst})} = G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (5.2)$$

- Combinação quase-permanente, na verificação dos estados limite de deformação (deformação final):

$$Comb_{ELS} = G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \times Q_{k,i} \quad (5.3)$$

Onde:

$G_{k,j}$  – valor característico das ações permanentes;

$Q_{k,1}$  – valor característico da ação variável base;

$Q_{k,i}$  – valor característico das ações variáveis, que não a ação base;

$\gamma_{G,j}$  – coeficiente parcial de segurança relativo às ações permanentes (1,35);

$\gamma_{Q,1}$  – coeficiente parcial de segurança relativo às ações variáveis (1,5);

$\psi_0$  – coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável (Tabela 5.3);

$\psi_2$  – coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Coeficientes  $\psi$  considerados [44]

	$\psi_0$	$\psi_2$
Pavimentos e escadas	0,7	0,3
Cobertura	0	0

Como ações permanentes foram incluídos os pesos próprios dos elementos estruturais e não estruturais, considerando as suas dimensões, os pesos volúmicos dos materiais e as disposições previstas na regulamentação existente. Como ações variáveis foram contabilizadas as sobrecargas regulamentares nos pavimentos, escadas e cobertura. Os valores adotados são apresentados na Tabela 5.4

Tabela 5.4 – Ações permanentes ( $G_k$ ) e ações variáveis ( $Q_k$ ) consideradas [20,45]

<b>Pesos próprios</b>	
Pesos específico da madeira maciça de pinho nacional (C18)	3,80 kN/m <sup>3</sup>
Pesos específico da madeira maciça de pinho nórdico (C24)	4,20 kN/m <sup>3</sup>
Pesos específico da madeira maciça de castanho (D30)	6,40 kN/m <sup>3</sup>
<b>Restantes cargas permanentes</b>	
Peso do revestimento do pavimento em zonas correntes - soalho	0,10-0,20 kN/m <sup>2</sup>
Peso do revestimento do pavimento em zonas húmidas - betonilha	0,60 kN/m <sup>2</sup>
Peso do revestimento dos tetos - gesso cartonado	0,20 kN/m <sup>2</sup>
Peso dos revestimentos da cobertura, incluindo varas, ripas e telhas cerâmicas	0,90 kN/m <sup>2</sup>
<b>Sobrecargas regulamentares</b>	
Sobrecarga nos pavimentos (atividades domésticas e residências)	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga nas circulações e acessos - escadas	3,0 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga nas coberturas não acessíveis	0,40 kN/m <sup>2</sup>

Tendo em conta que a madeira perde cerca de 40% da sua capacidade resistente instantânea inicial sob carregamento de longa duração, procedeu-se à determinação dos valores de cálculo das propriedades dos materiais em análise. Considerando as classes de serviço 1 (para os pavimentos) e 2 (para a cobertura) e uma classe de duração média, tendo em conta a ação com duração mais curta (sobrecarga), foi

considerado um  $k_{mod}$  igual a 0,8. A Tabela 5.5 apresenta as resistências de cálculo para as várias classes resistentes consideradas nesta análise.

Tabela 5.5 – Resistências de cálculo dos elementos de madeira existentes


Classe resistente	$f_{m,d}$ (MPa)	$f_{t,0,d}$ (MPa)	$f_{c,0,d}$ (MPa)	$f_{c,90,d}$ (MPa)	$f_{v,d}$ (MPa)
<b>C18</b>	11,1	6,77	11,1	1,35	1,23
<b>C24</b>	14,77	8,62	12,92	1,54	1,54
<b>D30</b>	18,46	11,08	14,15	4,92	1,85

5.4.1 Verificação de segurança dos pavimentos existentes

A verificação de segurança estrutural dos pavimentos foi realizada tanto em termos de resistência, para os estados limite últimos (ELU), como em termos de conforto, para os estados limite de serviço (ELS), nomeadamente para os estados limite de deformação e de vibração.

As tabelas seguintes apresentam a verificação de segurança para ELU (Tabela 5.6) e ELS (Tabela 5.7), realizada para as vigas de pavimento cujo estado de conservação permite a sua manutenção. As condições de segurança estrutural dos regulamentos aplicados verificam-se quando o rácio de segurança (tensão atuante/tensão resistente) é inferior a 1.


Tabela 5.6 – Verificação de segurança aos ELU dos pavimentos de madeira existentes



CONSULTORIA  
EM REABILITAÇÃO  
DO EDIFICADO  
E PATRIMÓNIO

Piso	Elemento	Notas	Vão (m)		Espaçamento vigas (m)		Carregamento		Características e propriedades das vigas				E.L.U. Flexão (sem bambeamento)		E.L.U. Com bambeamento		E.L.U. Corte		E.L.U. Esmag. apoio		
			gk (kN/m <sup>2</sup> )	Sobrecarga (kN/m <sup>2</sup> )	psd, ELU (kN/m)	Tipo de madeira	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	$M_{Ed}$ (kNm), G+0	$M_{Rd}$ (kNm), G+0	Rácio (G+0)	Rácio	$V_{Ed}$	$\tau_{sd}$	Rácio	Rácio			
<b>Avaliação de segurança dos elementos existentes</b>																					
<b>Pavimentos Piso 1</b>																					
	Viga 9x22//0,70		5,2	0,70	0,4	2	2,49	Maciça	C18	90	220	Rect.	8,4	9	0,95	0,95	6	1	0,60	0,41	
	Viga Ø18//0,70		3,9	0,70	0,4	2	2,49	Maciça	D30		180	Circ.	4,7	12	0,41	0,00	5	0	0,21	0,04	
	Viga Ø10//0,55		1,5	0,55	0,3	2	1,86	Maciça	D30		100	Circ.	0,5	2	0,24	0,00	1	0	0,19	0,02	
	Viga 9x22//0,70		5,3	0,70	0,2	2	2,31	Maciça	C18	90	220	Rect.	7,9	9	0,90	0,90	6	1	0,56	0,38	
	Viga 9x22//0,70		4,4	0,70	0,2	2	2,31	Maciça	C18	90	220	Rect.	5,6	9	0,63	0,63	5	1	0,47	0,32	
	Viga 8x22//0,70		3,8	0,70	0,2	2	2,29	Maciça	C18	80	220	Rect.	4,1	8	0,53	0,53	4	1	0,45	0,31	
	Viga 8x22//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	0,8	2	2,86	Maciça	C18	80	220	Rect.	5,2	8	0,66	0,66	5	1	0,56	0,39	
	Viga Ø15//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	0,9	2	2,99	Maciça	D30		150	Circ.	5,4	7	0,80	0,00	6	1	0,35	0,06	
	Viga Ø20//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	1,1	2	3,11	Maciça	D30		200	Circ.	5,6	16	0,35	0,00	6	0	0,20	0,05	
<b>Vigas de suporte de paredes - Piso 1</b>																					
	Viga 9x22//0,70	Tabique// kN/m	5,2	0,70	0,4	2	6,14	Maciça	C18	90	220	Rect.	20,8	8	2,58	2,58	16	2	1,47	1,01	
	Viga Ø18//0,70	Tabique// kN/m	3,9	0,70	0,4	2	6,14	Maciça	D30		180	Circ.	11,7	11	1,10	-	12	1	0,51	0,10	
	Viga 9x22//0,70	Tabique// kN/m	5,3	0,70	0,2	2	5,95	Maciça	C18	90	220	Rect.	20,5	8	2,55	2,55	16	2	1,43	0,99	
	Viga 8x22//0,70	Tabique// kN/m	3,8	0,70	0,2	2	5,94	Maciça	C18	80	220	Rect.	10,7	7	1,50	1,50	11	1	1,17	0,80	
<b>Vigas de suporte de tecto - Piso 1</b>																					
	Viga 8x15		4,3	1,80	0,2	0	0,59	Maciça	C18	90	220	Rect.	1,4	8	0,17	0,17	1	0	0,12	0,08	
	Viga Ø20		4,3	1,80	0,3	0	0,75	Maciça	D30		200	Circ.	1,7	14	0,12	0,00	2	0	0,05	0,01	
	Viga Ø15		4,3	1,60	0,3	0	0,58	Maciça	D30		150	Circ.	1,3	6	0,21	0,00	1	0	0,08	0,01	
	Viga Ø10		4,3	1,45	0,2	0	0,46	Maciça	D30		100	Circ.	1,0	2	0,53	0,00	1	0	0,13	0,02	
	Viga 8x15		5,6	1,80	0,2	0	0,59	Maciça	C18	90	220	Rect.	2,3	8	0,29	0,29	2	0	0,15	0,10	

Tabela 5.7 - Verificação de segurança aos ELS dos pavimentos de madeira existentes



Piso	Elemento	Notas	Espaçamento vigas (m)		Carregamento			Características e propriedades das vigas					E.L.S. - Deformação					E.L.S. - Vibração					
			Vão (m)	gk (kN/m <sup>2</sup> )	Sobrecarga (kN/m <sup>2</sup> )	pscd ELS, G (kN/m)	pscd ELS, Q (kN/m)	Tipo de madeira	Maciça	b (mm)	h ou e (mm)	Secção Transversal	u <sub>inst,G</sub> (mm)	u <sub>inst,Q</sub> (mm)	u <sub>lim,tot</sub> (mm)	1º Critério u <sub>inst,EL/500</sub>	u <sub>lim,G</sub> (mm)	u <sub>lim,Q</sub> (mm)	u <sub>lim,tot</sub> (mm)	2º Critério u <sub>lim,EL/250</sub>	Frequência (Hz)	Rácio	
<b>Avaliação de segurança dos elementos existentes</b>																							
<b>Pavimentos Piso 1</b>																							
	Viga 9x22//0,70		5,2	0,70	0,4	2	0,29	1,40	Maciça	C18	90	220	Rect.	4,0	19,1	23,0	17,3	6,4	22,5	28,8	20,8	5,78	1,16
	Viga Φ18//0,70		3,9	0,70	0,4	2	0,29	1,40	Maciça	D30		180	Circ.	1,8	8,5	10,2	13,0	2,8	10,0	12,8	15,6	8,70	0,50
	Viga Φ10//0,55		1,5	0,55	0,3	2	0,15	1,10	Maciça	D30		100	Circ.	0,2	1,6	1,8	5,0	0,4	1,9	2,2	6,0	22,05	0,25
	Viga 9x22//0,70		5,3	0,70	0,2	2	0,15	1,40	Maciça	C18	90	220	Rect.	2,1	19,8	21,9	17,5	3,4	23,4	26,8	21,0	6,33	1,21
	Viga 9x22//0,70		4,4	0,70	0,2	2	0,15	1,40	Maciça	C18	90	220	Rect.	1,1	9,9	10,9	14,7	1,7	11,6	13,4	17,6	9,01	0,59
	Viga 8x22//0,70		3,8	0,70	0,2	2	0,14	1,40	Maciça	C18	80	220	Rect.	0,6	6,3	6,9	12,7	1,0	7,4	8,4	15,2	11,47	0,38
	Viga 8x22//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	0,8	2	0,56	1,40	Maciça	C18	80	220	Rect.	2,5	6,3	8,8	12,7	4,0	7,4	11,4	15,2	8,68	0,38
	Viga Φ15//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	0,9	2	0,66	1,40	Maciça	D30		150	Circ.	7,4	15,7	23,1	12,7	11,9	18,5	30,4	15,2	5,16	0,96
	Viga Φ20//0,70	c/betonilha	3,8	0,70	1,1	2	0,75	1,40	Maciça	D30		200	Circ.	2,7	5,1	7,8	12,7	4,3	6,0	10,3	15,2	8,83	0,30
<b>Vigas de suporte de paredes - Piso 1</b>																							
	Viga 9x22//0,70	Tabique// kN/m	5,2	0,70	0,4	2	2,99	1,40	Maciça	C18	90	220	Rect.	40,7	19,1	59,8	17,3	65,2	21,3	86,5	20,8	5,59	1,16
	Viga Φ18//0,70	Tabique// kN/m	3,9	0,70	0,4	2	2,99	1,40	Maciça	D30		180	Circ.	18,1	8,5	26,5	13,0	28,9	9,5	38,4	15,6	8,42	0,50
	Viga 9x22//0,70	Tabique// kN/m	5,3	0,70	0,2	2	2,85	1,40	Maciça	C18	90	220	Rect.	40,3	19,8	60,1	17,5	64,5	22,2	86,7	21,0	6,07	1,21
	Viga 8x22//0,70	Tabique// kN/m	3,8	0,70	0,2	2	2,84	1,40	Maciça	C18	80	220	Rect.	12,7	6,3	19,0	12,7	20,3	7,0	27,3	15,2	11,00	0,38
<b>Vigas de suporte de tecto - Piso 1</b>																							
	Viga 8x15		4,3	1,80	0,2	0	0,43	0,00	Maciça	C18	90	220	Rect.	2,8	0,0	2,8	14,3	4,5	0,0	4,5	17,2	-	-
	Viga Φ20		4,3	1,80	0,3	0	0,56	0,00	Maciça	D30		200	Circ.	3,1	0,0	3,1	14,2	5,0	0,0	5,0	17,0	-	-
	Viga Φ15		4,3	1,60	0,3	0	0,43	0,00	Maciça	D30		150	Circ.	7,5	0,0	7,5	14,2	12,0	0,0	12,0	17,0	-	-
	Viga Φ10		4,3	1,45	0,2	0	0,34	0,00	Maciça	D30		100	Circ.	29,6	0,0	29,6	14,2	47,4	0,0	47,4	17,0	-	-
	Viga 8x15		5,6	1,80	0,2	0	0,43	0,00	Maciça	C18	90	220	Rect.	7,9	0,0	7,9	18,7	12,7	0,0	12,7	22,4	-	-

A análise dos resultados apresentados nas tabelas anteriores permite concluir que, de um modo global, os pavimentos cumprem os limites de segurança regulamentares no que diz respeito aos estados limite últimos. No entanto, no que diz respeito aos estados limite de serviço, não são verificadas as condições de conforto em alguns pavimentos, sendo necessário recorrer ao reforço dos mesmos.

Nesta fase, foram também verificadas as vigas que suportam as paredes de tabique, tendo-se verificado que não cumprem os limites regulamentares, quer em termos de segurança como em termos de deformação e vibração.

No que diz respeito às vigas de suporte de teto do piso 1, existentes ao nível das linhas das asnas, apenas a viga com menor secção (diâmetro de 10 cm) não cumpre os requisitos de deformação. No entanto, é importante referir que estas vigas passam a estar sujeitas a condições de carregamento diferentes, no caso deste espaço se tornar um espaço útil.


### 5.4.2 Verificação de segurança da estrutura da cobertura

A verificação de segurança estrutural dos diferentes elementos estruturais da cobertura principal foi realizada, tendo em conta os esforços a que cada elemento está sujeito, para os estados limites últimos (resistência) e para o estado limite de deformação.

Nas tabelas representadas abaixo são apresentados os resultados da verificação de segurança para ELU e ELS, respetivamente, para as madres e cumeeira (Tabela 5.8 e Tabela 5.9) e para os elementos das asnas


A1 e A2 (Tabela 5.10 e Tabela 5.11) cujo estado de conservação possibilita a sua manutenção. Importa referir que as condições de segurança estrutural dos regulamentos aplicados são verificadas quando o rácio de segurança (tensão atuante/tensão resistente) é inferior a 1. A verificação de segurança das asnas foi feita com recurso a uma folha de cálculo desenvolvida no âmbito do estágio curricular de Soares [46] no NCREP. Esta folha de cálculo tem em conta, além configuração estrutural das asnas, a posição das madres e da cumeeira, onde atuam as cargas pontuais resultantes, sendo estas definidas de acordo com o caso em estudo. A Figura 5.13 apresenta o esquema estrutural das asnas com as forças consideradas.

Tabela 5.8 – Verificação de segurança aos ELU das madres e cumeeira de madeira existentes



Piso	Elemento	Notas	Espaçamento vigas		Carregamento		Características e propriedades das vigas				E.L.U. Flexão (sem bambeamento)		E.L.U. Com bambeamento	E.L.U. Corte		E.L.U. Esmag. apoio				
			Vão (m)	(m)	gk (kN/m <sup>2</sup> )	Sobrecarga (kN/m <sup>2</sup> )	psd, ELU (kN/m)	psd, ELU (kN/m)	Tipo de madeira	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	M <sub>act</sub> (kN m), G + Q	M <sub>Res</sub> (kN m), G + Q	Rácio (G+Q)	Rácio	V <sub>sd</sub>	τ <sub>sd</sub>	Rácio
<b>Avaliação de segurança dos elementos existentes</b>																				
<b>Coberturas - cumeeira e madre</b>																				
	Cumeeira ø15		3,6	1,75	0,96	0,40	3,33	Maciça	D30		150	Circ.	5,4	6	0,88	0,00	6	1	0,37	0,06
	Madre ø15		3,6	1,7	0,97	0,40	3,19	Maciça	D30		150	Circ.	5,2	6	0,84	0,00	6	1	0,35	0,06
	Madre ø20		3,6	1,7	1,02	0,40	3,31	Maciça	D30		200	Circ.	5,4	14	0,37	0,00	6	0	0,20	0,05
	Madre 8x22		3,6	1,7	0,94	0,40	3,13	Maciça	C18	80	220	Rect.	5,1	7	0,71	0,71	6	1	0,58	0,40
	Madre 8x22		6,4	1,7	0,94	0,40	3,13	Maciça	C18	80	220	Rect.	16,0	7	2,24	2,24	10	1	1,03	0,71

Tabela 5.9 – Verificação de segurança aos ELS das madres e cumeeira de madeira existentes



Piso	Elemento	Notas	Espaçamento vigas		Carregamento		Características e propriedades das vigas				E.L.S. - Deformação										
			Vão (m)	(m)	gk (kN/m <sup>2</sup> )	Sobrecarga (kN/m <sup>2</sup> )	psd, ELS, G (kN/m)	psd, ELS, Q (kN/m)	Tipo de madeira	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	u <sub>inst,G</sub> (mm)	u <sub>inst,Q</sub> (mm)	u <sub>inst,tot</sub> (mm)	1º Critério u <sub>inst</sub> /300	u <sub>lim,G</sub> (mm)	u <sub>lim,Q</sub> (mm)	u <sub>lim,tot</sub> (mm)	2º Critério u <sub>lim</sub> /250
<b>Avaliação de segurança dos elementos existentes</b>																					
<b>Coberturas - cumeeira e madre</b>																					
	Cumeeira ø15		3,6	1,75	0,96	0,40	1,69	0,70	Maciça	D30		150	Circ.	15,2	6,3	21,6	12,0	27,4	6,3	33,8	14,4
	Madre ø15		3,6	1,7	0,97	0,40	1,62	0,67	Maciça	D30		150	Circ.	14,6	6,1	20,7	12,0	26,4	6,1	32,4	14,4
	Madre ø20		3,6	1,7	1,02	0,40	1,70	0,67	Maciça	D30		200	Circ.	5,0	2,0	6,9	12,0	9,0	2,0	10,9	14,4
	Madre 8x22		3,6	1,7	0,94	0,40	1,57	0,67	Maciça	C18	80	220	Rect.	5,7	2,4	8,1	12,0	10,3	2,4	12,7	14,4
	Madre 8x22		6,4	1,7	0,94	0,40	1,57	0,67	Maciça	C18	80	220	Rect.	54,8	23,3	78,1	21,3	98,6	23,3	121,9	25,6

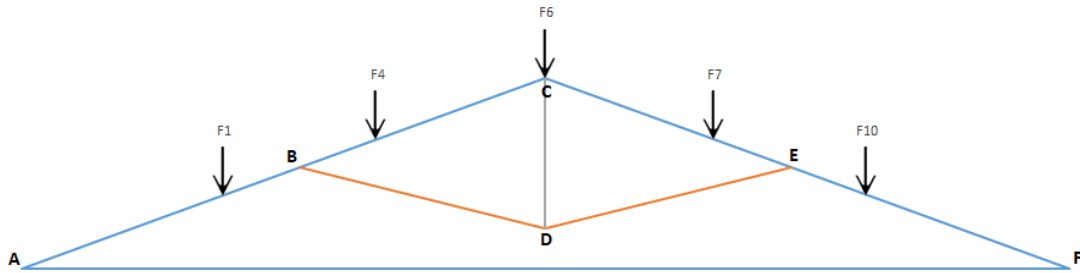


Figura 5.13 – Esquema das asnas com representação das forças consideradas

Tabela 5.10 – Verificação de segurança aos ELU e ELS da asna A1 (rácios de segurança)

Barras	Elemento	Tipo de madeira		Secção	b ou e (mm)	h (mm)	ELU (G+Q)						E.L.S. - Deformação									
							Flexão simples	flexão simples (com bambamento)	compressão	Flexão composta F+C (s/ bambamento)	Flexão composta F+C (c/ bambamento)	Treção	Flexão composta F+T	Corte	u <sub>inst,G</sub> (mm)	u <sub>inst,Q</sub> (mm)	u <sub>inst,total</sub> (mm)	1º Critério u <sub>instEI</sub> /300	u <sub>fin,G</sub> (mm)	u <sub>fin,Q</sub> (mm)	u <sub>fin,total</sub> (mm)	2º Critério u <sub>finEI</sub> /250
AB	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	0,45	0,45	0,53	0,96	0,96	-	-	0,79	1,90	0,76	2,65	18,10	3,41	0,76	4,17	21,72
BC	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	0,46	0,46	0,53	0,99	0,99	-	-	0,80	1,93	0,77	2,70	18,13	3,47	0,77	4,24	21,76
EF	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BD	Escora	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	Escora	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	Pendural	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF	Linha	Maciça	C24	Rect.	90	280	0,01	-	-	-	-	0,25	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5.11 – Verificação de segurança aos ELU e ELS da asna A2 (rácios de segurança)

Barras	Elemento	Tipo de madeira		Secção	b ou e (mm)	h (mm)	ELU (G+Q)						E.L.S. - Deformação									
							Flexão simples	flexão simples (com bambamento)	compressão	Flexão composta F+C (s/ bambamento)	Flexão composta F+C (c/ bambamento)	Treção	Flexão composta F+T	Corte	u <sub>inst,G</sub> (mm)	u <sub>inst,Q</sub> (mm)	u <sub>inst,total</sub> (mm)	1º Critério u <sub>instEI</sub> /300	u <sub>fin,G</sub> (mm)	u <sub>fin,Q</sub> (mm)	u <sub>fin,total</sub> (mm)	2º Critério u <sub>finEI</sub> /250
AB	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	0,46	0,46	0,53	0,96	0,96	-	-	0,79	1,85	0,74	2,59	18,10	3,33	0,74	4,07	21,72
BC	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	0,47	0,47	0,53	1,00	1,00	-	-	0,80	1,86	0,74	2,60	18,13	3,34	0,74	4,09	21,76
EF	Perna	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BD	Escora	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	Escora	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	Pendural	Maciça	C24	Rect.	80	220	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF	Linha	Maciça	D30	Circ.	200	-	0,02	-	-	-	-	0,16	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Através da análise das tabelas apresentadas anteriormente, é possível concluir que a estrutura da cobertura cumpre, de um modo global, as disposições regulamentares de ELU e ELS, necessitando apenas de reforços pontuais, essencialmente devido à degradação de algumas peças.

Embora a avaliação global desta estrutura seja positiva, elementos como a cumeeira e algumas madres não verifica, a segurança, principalmente no que diz respeito ao estado limite de deformação, apresentando uma secção insuficiente para vencer um vão de 3,60 m. A madre com o vão máximo de 6,40 m, além de não cumprir os limites de segurança estrutural, apresenta já uma deformação significativa sendo necessária a sua substituição e a preconização de um apoio intermédio.

## 5.5 SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

Tendo em conta o levantamento dos elementos estruturais, bem como a avaliação de segurança estrutural para as condições existentes, são sugeridas medidas de intervenção globais e específicas que devem ser revistas com maior detalhe em fase de projeto, no âmbito da reabilitação do edifício.

Atendendo ao seu bom estado de conservação, considera-se que as paredes de alvenaria de pedra podem ser mantidas após medidas gerais de reparação, essencialmente no que diz respeito às fissuras existentes, devendo ser melhorada a ligação entre elementos ortogonais. Os focos de humidade deverão ser eliminados após uma intervenção global no edifício, de modo a não existirem novas entradas de água. Já no que toca às paredes de tabique, a fissuração existente deverá ser estabilizada através do reforço das vigas de pavimento que as suportam.

As estruturas horizontais em madeira, como foi possível perceber, apresentam diferentes estados de conservação, sendo necessário definir diferentes níveis de intervenção, tendo em conta as necessidades de cada zona ou elemento estrutural. Foram, portanto, definidos 3 níveis de intervenção, tendo em conta o estado de conservação e a verificação de segurança efetuada. Estes níveis de intervenção encontram-se definidos nos mapas de intervenção apresentados na Figura 5.14 e nas peças desenhadas em anexo, sendo distinguidos pelas 3 cores:

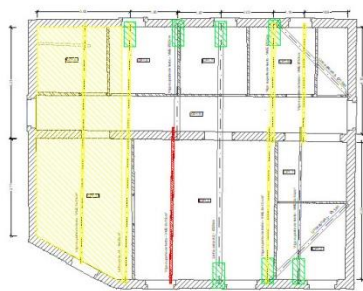
- Zonas a verde: os elementos estruturais poderão ser mantidos, sendo necessárias ações de limpeza, tratamento e substituição pontual e/ou parcial de elementos (nomeadamente nas entregas);
- Zonas a amarelo: os elementos estruturais poderão ser mantidos, com ações de limpeza, tratamento e substituições pontuais, mas apresentam necessidade de reforço;
- Zonas a vermelho: os elementos estruturais apresentam um nível de degradação avançado e terão de ser substituídos por elementos novos.



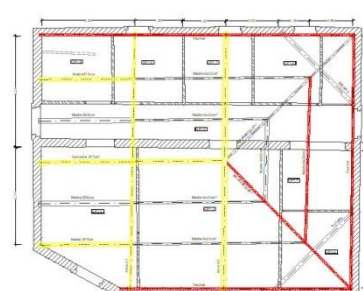
a) Planta estrutural do piso 0



b) Planta estrutural do piso 1



c) Planta estrutural do teto do piso 1



d) Planta estrutural da cobertura

Figura 5.14 – Mapas de intervenção dos elementos estruturais horizontais (sem escala)



## CAPÍTULO 6

# AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL POR ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (LCA)

### 6.1 INTRODUÇÃO

Ao longo do período do estágio foi desenvolvido um estudo, aplicando a metodologia LCA, sobre os impactos ambientais de metodologias de reabilitação estrutural de edifícios com diferentes níveis de intervenção.

O estudo, desenvolvido com apoio da Professora Cristina Delerue Matos e da Doutora Elena Surra do grupo de investigação GRAQ pertencente ao ISEP, inserido no Laboratório Associado LAQV/REQUIMTE, teve como principal objetivo avaliar os benefícios ambientais que um trabalho de inspeção e diagnóstico estrutural (IDE) pode ter em termos de impacto no ciclo de vida dos edifícios, em comparação com obras de reabilitação estrutural sem aplicação de IDE. Para o efeito, foi feita uma análise comparativa sobre 7 diferentes casos de estudo da base de dados do NCREP, quantificando os impactos ambientais de obras de reabilitação estrutural que têm por base uma avaliação inicial do estado de conservação dos edifícios (IDE) e de obras de reconstrução.

Este capítulo apresenta a metodologia adotada e divide-se em 4 subcapítulos. Depois da introdução é feito um resumo dos objetivos e âmbito deste trabalho onde também são definidos os cenários de comparação, as fronteiras do sistema, a unidade funcional e a metodologia utilizada. Os subcapítulos seguintes reportam os detalhes do inventário do ciclo de vida, necessário para a definição dos *inputs* e *outputs* do sistema, sendo a própria análise de ciclo de vida e a discussão dos resultados apresentados e comentados no último subcapítulo.

### 6.2 OBJETIVOS E ÂMBITO

Como foi mencionado anteriormente, o objetivo deste estudo prende-se na comparação dos impactos ambientais entre cenários de reabilitação estrutural e reconstrução de edifícios tradicionais do Porto, cuja tipologia construtiva é, de uma forma geral, composta por paredes exteriores em alvenaria de granito, paredes interiores em tabique e pavimentos e cobertura em estrutura de madeira.

Este estudo teve por base 7 casos de estudo reais (Figura 6.1), que foram reabilitados e que passaram pelas seguintes fases durante o processo de intervenção: (i) realização de inspeção e diagnóstico estrutural com o objetivo de caracterizar a estrutura existente e avaliar o estado de conservação dos edifícios; (ii) desenvolvimento de projetos de estabilidade baseados nos resultados da inspeção e diagnóstico estrutural e nos projetos de arquitetura desenvolvidos para cada um dos edifícios; (iii) realização de obra de reabilitação tendo em conta os projetos de execução das diferentes especialidades. A Tabela 6.1 apresenta um resumo das características dos edifícios em análise, sendo que estes apresentavam um estado de conservação bom a razoável.



Figura 6.1 – Registo fotográfico dos casos de estudo A-G (fonte: NCREP)

Tabela 6.1 – Características dos casos de estudo.

Casos de estudo	Ocupação	Nº de pisos	Área	Estado de conservação
A Rua S. Bento Vitória	Residencial + comércio	3	700 m <sup>2</sup>	Razoável
B Rua do Rosário	Residencial	4	700 m <sup>2</sup>	Bom
C Rua do Pinheiro	Residencial	4	300 m <sup>2</sup>	Razoável/bom
D Rua Barão São Cosme	Residencial + comércio	4	450 m <sup>2</sup>	Razoável/bom
E Praça Coronel Pacheco	Residencial + comércio	5	600 m <sup>2</sup>	Razoável/bom
F Rua Alexandre Braga	Residencial	6	850 m <sup>2</sup>	Razoável
G Rua do Almada	Residencial	5	500 m <sup>2</sup>	Bom

Para cada um dos edifícios foram considerados 4 cenários de intervenção: um cenário de base (Cenário 0), em que as decisões de intervenção tomadas têm por base os resultados de um trabalho de IDE que definem a necessidade de reforço ou de demolição dos elementos estruturais, de acordo com a segurança estrutural do edifício; e três cenários alternativos (Cenários 1, 2 e 3) que, não partindo de uma avaliação inicial do estado de conservação da estrutura existente (sem IDE), consistem na demolição e reconstrução do interior dos edifícios. O cenário 0 foi ainda influenciado pela arquitetura, que implicou um aumento médio de 192% na quantidade de material a demolir (média dos 4 casos de estudo onde a informação disponível permitiu comparar as demolições efetivas com as demolições previstas na IDE). Respeitando sempre a mesma arquitetura, foram estudados os seguintes cenários:

- **Cenário 0:** demolição parcial e reabilitação estrutural com base na IDE e de acordo com o projecto de execução;
- **Cenário 1** (sem IDE): demolição integral e reconstrução com estrutura nova em madeira maciça, classe C24;
- **Cenário 2** (sem IDE): demolição integral e reconstrução com estrutura nova em madeira lamelada colada, classe GL24h;
- **Cenário 3** (sem IDE): demolição integral e reconstrução com estruturas novas em betão armado, com pavimentos em lajes aligeiradas e escadas e coberturas em lajes maciças, classe C25/30.

O dimensionamento das estruturas novas, para os cenários 1, 2 e 3, foi padronizado, sendo utilizada sempre a mesma solução para todos os casos de estudo, dependendo dos vãos existentes. As soluções utilizadas são apresentadas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Soluções adotadas para as estruturas novas em madeira e betão armado.

Vão (m)	Estrutura de madeira (C24 ou GL24h)	Lajes Aligeiradas <sup>1</sup> (vigotas C30/37)	Lajes maciças em betão armado (C25/30)
< 2	100x120 mm <sup>2</sup> // 0,45 m	P3-BL40x12-15	h <sub>laje</sub> = 15 cm
2 - 4	120x160 mm <sup>2</sup> // 0,45 m	P3-BL33x15-20	h <sub>laje</sub> = 18 cm
4 - 6	120x260 mm <sup>2</sup> // 0,45 m	P3-BL23x21-25	h <sub>laje</sub> = 25 cm

<sup>1</sup> Lajes dimensionadas com recurso ao software online da Presdouro.

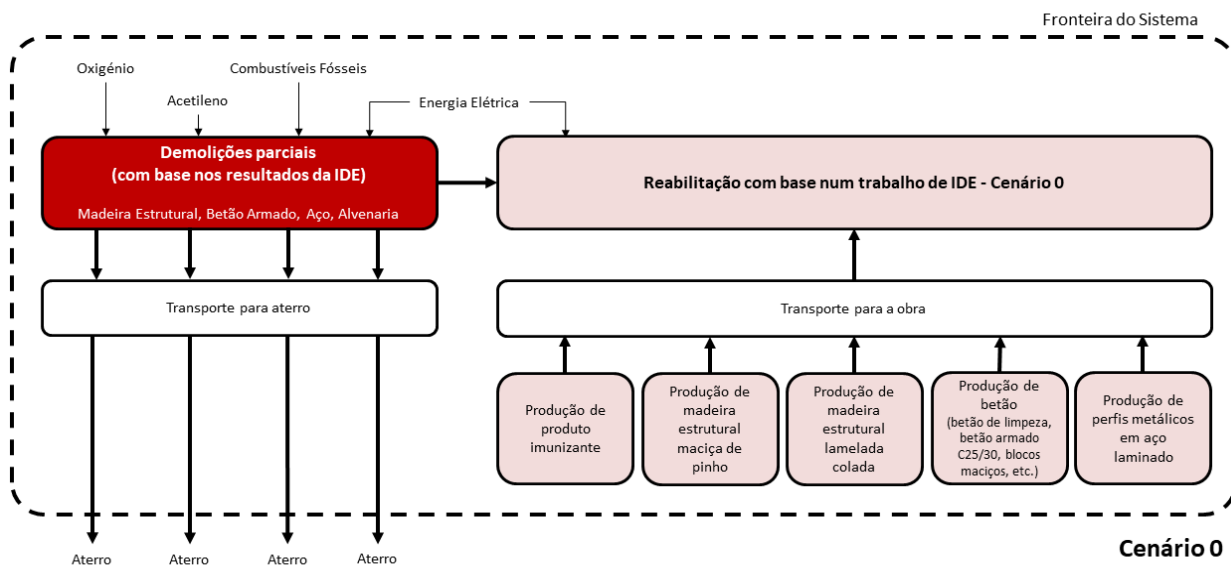
Importa salientar que soluções novas em estrutura de betão ou estrutura metálica utilizadas no caso real (cenário 0) foram extrapoladas para os outros cenários, sendo consideradas soluções iguais para estas situações e variando apenas nos elementos realizados por estruturas de madeira.

Foi adotada, para a análise LCA, uma abordagem *cradle-to-gate*, incluindo as fases de demolição, desde a remoção dos materiais do edifício até a entrada em local aterro, excluindo o tratamento dos materiais; e

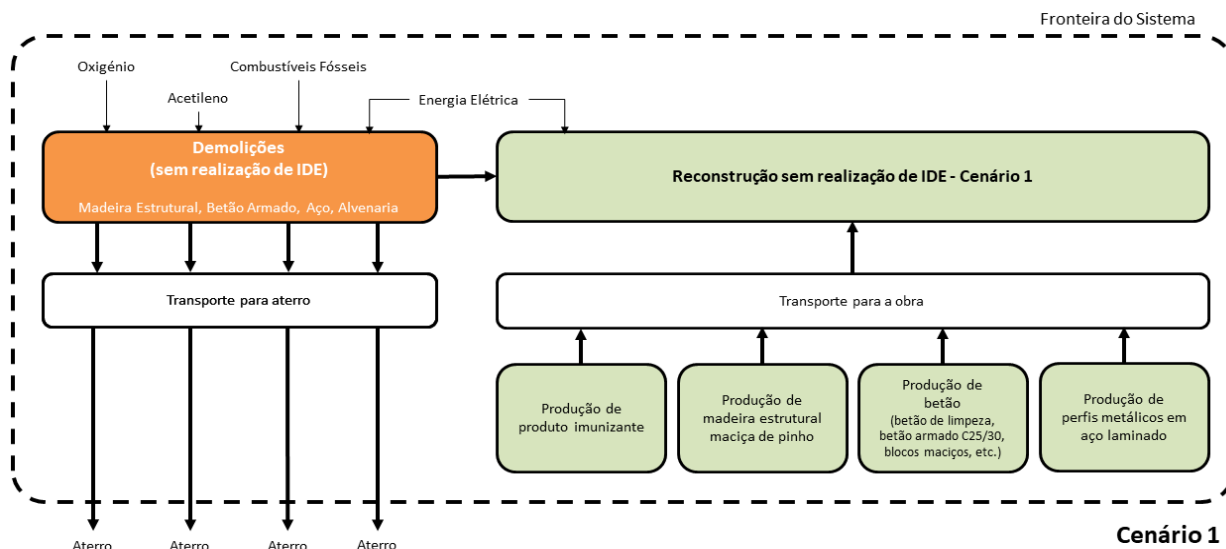
de construção, desde a extração e produção dos materiais até à sua colocação em obra. Foram incluídos em ambas as fases os transportes dos materiais, quer da obra para o aterro, como dos fornecedores dos materiais de construção para a obra, assim como os consumos energéticos que cada atividade implica.

Uma vez que se pretende fazer a avaliação de 7 edifícios diferentes, assim como comparar diversas soluções estruturais, que implicam materiais e quantidades distintas, definiu-se como unidade funcional uma unidade de área de edifício, obtendo assim todos os resultados para **1 m<sup>2</sup> de edifício**.

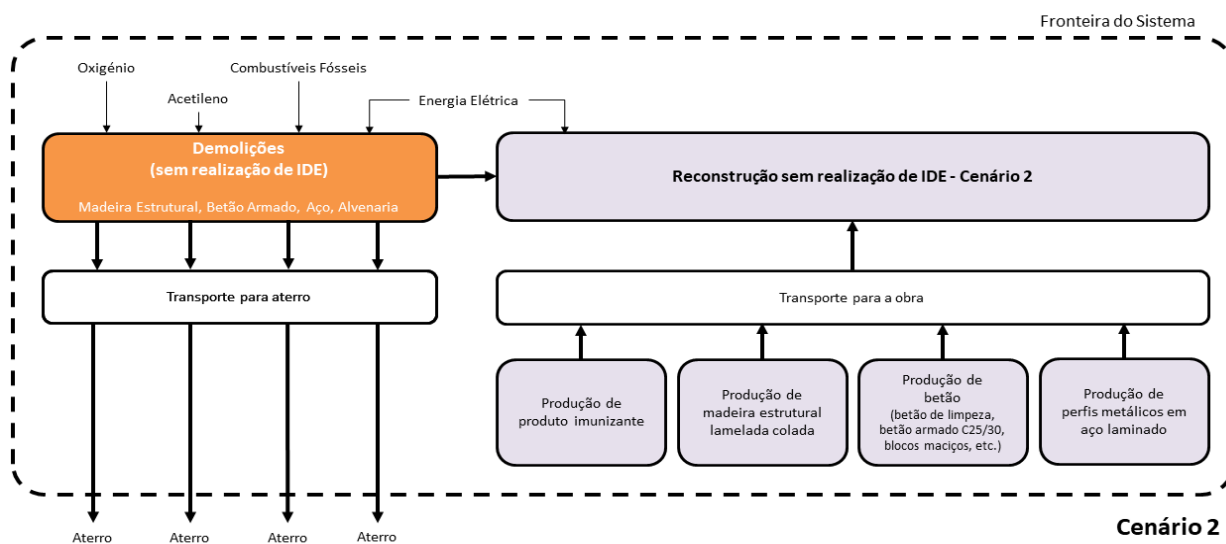
Definidos os objetivos e o âmbito deste trabalho, foi estruturado um fluxograma, para cada cenário estudado, que define o sistema em análise, tendo em conta as fronteiras do sistema consideradas anteriormente. A Figura 6.2 apresenta os fluxogramas gerais de cada cenário em análise, sendo que, além das estruturas novas principais (em madeira maciça, madeira lamelada colada e betão armado), os fluxos dependem dos materiais existentes em cada caso de estudo, assim como dos materiais novos previstos em cada projeto de execução.



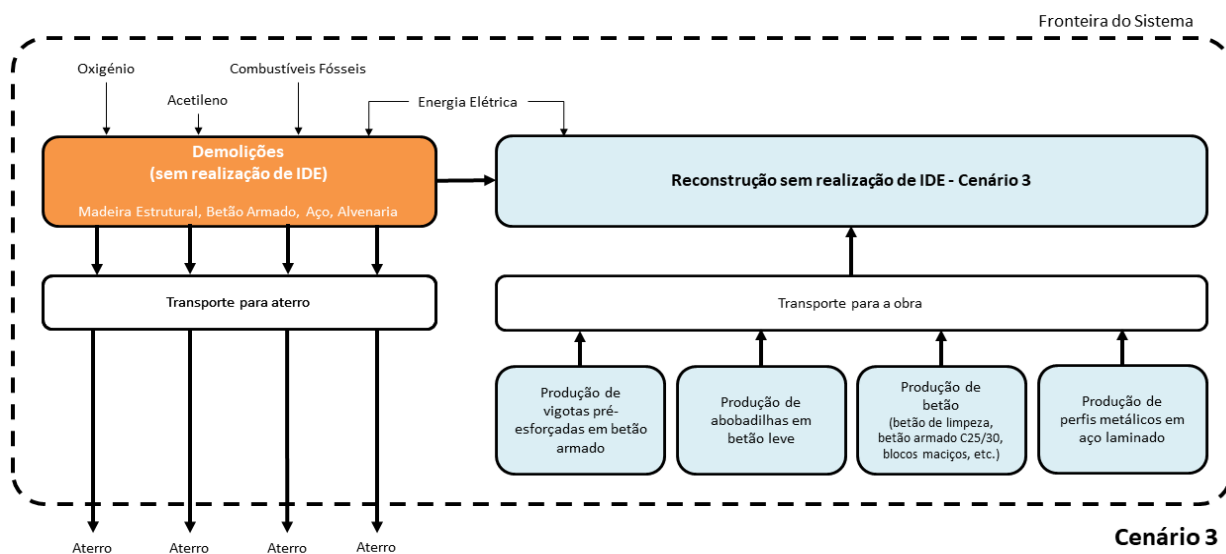
a) Fluxograma do cenário 0 – reabilitação com estrutura principal em madeira maciça e/ou madeira lamelada colada, de acordo com o projeto de execução



b) Fluxograma do cenário 1 – reconstrução com a estrutura principal em madeira maciça



c) Fluxograma do cenário 2 – reconstrução com a estrutura principal em madeira lamelada colada



d) Fluxograma do cenário 3 – reconstrução com estruturas de betão

Figura 6.2 – Fluxogramas dos 4 cenários em análise

A avaliação dos impactos ambientais foi feita com recurso ao *software openLCA* - versão 1.10.3, utilizando a base de dados *Ecoinvent* - versão 3.5 aplicando o método CML2001. A licença da base de dados utilizada pertence à FCT/UNL e foi partilhada para efeitos da realização deste estudo.

Os indicadores ambientais considerados foram selecionados de acordo com a norma EN 15978:2011<sup>2</sup> que define o método de cálculo do desempenho ambiental dos edifícios e estipula como indicadores de desempenho ambiental o conjunto de indicadores reportados na Tabela 6.3 [34,47]. É apresentada no Anexo V uma descrição mais detalhada dos indicadores utilizados.

Tabela 6.3 – Impactos ambientais considerados, e respetivas unidades.

Indicador Ambiental	Breve descrição	Unidade
Potencial de acidificação	Pretende quantificar as emissões de substâncias que podem ser transformadas em substâncias ácidas, nomeadamente o dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg SO <sub>2</sub> eq
Potencial de aquecimento global	Está diretamente associado às emissões de gases efeito de estufa, como o dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), responsáveis pelas alterações climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq
Potencial de eutrofização	Está relacionado com o excesso de macronutrientes no ambiente, nomeadamente em ambientes aquáticos	kg PO <sub>4</sub> eq
Potencial de criação de ozono fotoquímico	Pretende avaliar o fenómeno da oxidação fotoquímica, sendo o ozono o principal composto químico reativo formado devido à ação da radiação UV	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Potencial de esgotamento de recursos abióticos	Está relacionado com a preservação dos ecossistemas e com a disponibilidade dos recursos naturais	kg Sb eq
Potencial de destruição da camada de ozono	Pretende avaliar as emissões de clorofluorcarbonetos, como o triclоромонofluormetano (CFC-11), que provocam a destruição da camada de ozono	kg CFC-11 eq

### 6.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (LCI)

No âmbito deste estudo foram quantificados todos os materiais estruturais existentes em cada edifício, assim como os materiais a demolir e os novos a introduzir. Para este fim, foi recolhido da base de dados da empresa acolhedora do estágio um conjunto de informações sobre os casos de estudo, nomeadamente relatórios de IDE e projetos de execução, incluindo peças desenhadas. A quantificação dos materiais foi feita essencialmente a partir de peças desenhadas, com apoio dos ficheiros de Medições, Trabalhos e Quantidades, e compilada em duas tabelas pivot, apresentadas no Anexo VI, que apresentam, para todos

<sup>2</sup>Norma atualizada em 2019 – EN 15978:2019 Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios - Método de cálculo.

os casos de estudo, o volume (em m<sup>3</sup>) e a massa (em kg), por m<sup>2</sup> de edifício, de todos os materiais novos e demolidos em cada cenário.

Os gráficos seguintes (Tabela 6.3 e Tabela 6.4) resumem este inventário, apresentando para cada caso de estudo o volume total de materiais a demolir e a introduzir, por m<sup>2</sup> de edifício.

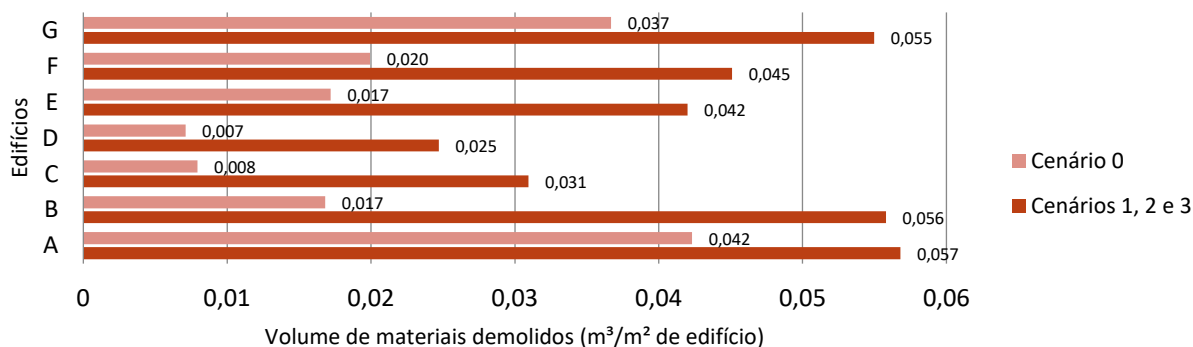


Figura 6.3 – Volume total de materiais a demolir em cada caso de estudo

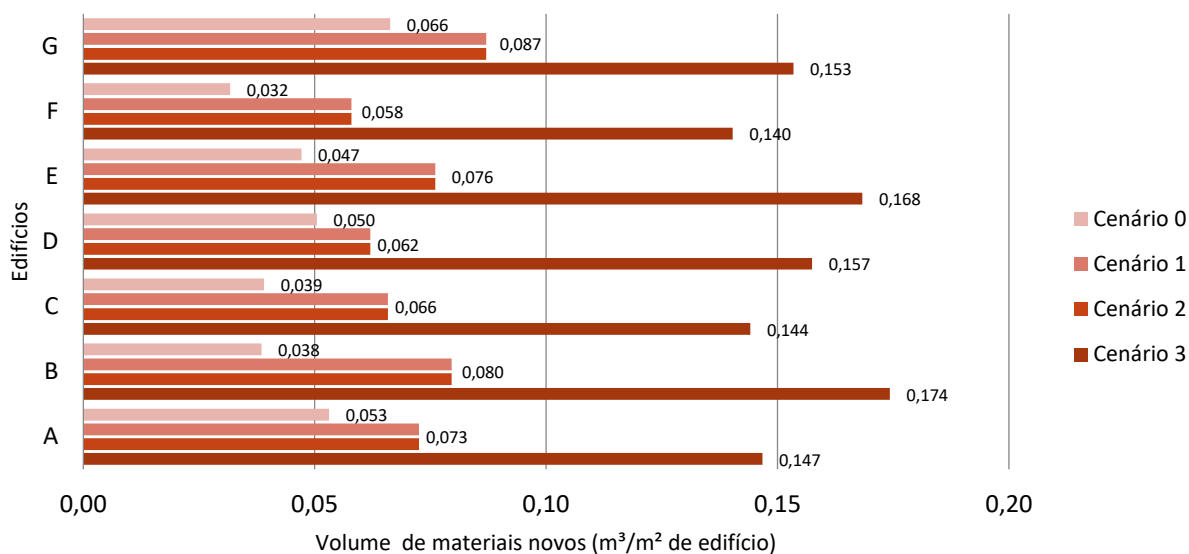


Figura 6.4 – Volume total de materiais a introduzir em cada caso de estudo

Importa referir que os volumes de materiais a demolir e a introduzir variam de edifício para edifício, de forma não linear, tendo em conta os materiais existentes, assim como a intrusividade da intervenção realizada. Podemos reparar que o edifício G, por exemplo, com uma área bruta total inferior aos edifícios A, B e F, apresenta volumes de materiais na mesma ordem ou superior a estes – o volume materiais a demolir é influenciado pelo facto de existirem demolições de paredes de alvenaria e lajetas de pedra (previstas no projeto de execução e extrapoladas para todos os cenários) e o volume de materiais a introduzir deve-se essencialmente às estruturas de betão e mistas introduzidas no caso real, ao nível do piso 1 neste edifício (sendo também extrapoladas para os restantes cenários).

Além do volume de materiais, foram ainda considerados os transportes dos mesmos e os consumos energéticos dos equipamentos utilizados em obra, com base em informações realistas disponibilizadas por empreiteiros. Para efeitos de transporte foram calculadas as distâncias aproximadas ao fornecedor mais próximo (de entre os indicados) até ao centro do Porto (Tabela 6.4). Em relação às lajes aligeiradas, foi considerada a distância até à Presdouro, uma vez que o dimensionamento foi feito para este fornecedor. No que diz respeito aos consumos energéticos (Tabela 6.5), foi necessário fazer o levantamento do tipo de equipamentos utilizados em cada fase (junto dos empreiteiros) e estimar o número de horas de funcionamento dos mesmos. A potência dos equipamentos elétricos foi baseada em equipamentos reais existentes no mercado e o número de horas em que estão em funcionamento foi estimado com base nas fichas de rendimento disponíveis no *site* [orçamentos.eu](http://orçamentos.eu) [48] e nas indicações fornecidas por empreiteiros.

Tabela 6.4 – Distâncias consideradas no transporte dos materiais

	Distância ao centro do Porto (km)
Resíduos de demolição	9
Estruturas de madeira maciça	14
Estruturas de madeira lamelada colada	21
Estruturas metálicas	8
Lajes aligeiradas	27

Tabela 6.5 – Consumos considerados, por m<sup>3</sup> de material

Atividade	Equipamento	Rendimento	Consumo por m <sup>3</sup> de material
Demolição de estruturas de madeira	Motosserra <sup>(a)</sup>	3,50 h/m <sup>3</sup>	3,50 L gasolina/m <sup>3</sup>
	Rebarbadora <sup>(b)</sup>	3,50 h/m <sup>3</sup>	7,00 kWh/m <sup>3</sup>
Demolição de estruturas em betão armado	Martelo elétrico <sup>(c)</sup>	2,67 h/m <sup>3</sup>	4,67 kWh/m <sup>3</sup>
	Rebarbadora <sup>(b)</sup>	2,67 h/m <sup>3</sup>	5,34 kWh/m <sup>3</sup>
Demolição de estruturas metálicas	Rebarbadora <sup>(b)</sup>	2,68 h/m <sup>3</sup>	5,36 kWh/m <sup>3</sup>
	Maçarico com oxicorte <sup>(d)</sup>	2,68 h/m <sup>3</sup>	1621,4 L oxigénio/m <sup>3</sup>
		2,68 h/m <sup>3</sup>	629,8 L acetileno/m <sup>3</sup>

<sup>(a)</sup> Equipamento indicado pelo empreiteiro, com um consumo de 1 L de gasolina por hora;

<sup>(b)</sup> Rebarbadora BOSCH GWS 20-230 JH profissional (2000 W);

<sup>(c)</sup> Martelo demolidor BOSCH GSH 16-30 Profissional (1750 W);

<sup>(d)</sup> Equipamento indicado pelo empreiteiro, com um consumo de 605 L de oxigénio e 235 L de acetileno por hora.

Adicionalmente, foi ainda contabilizada a energia consumida pela grua, para a qual foi considerada uma grua TEREX CTT51/A-2 (15 kW) ou equivalente. Para este cálculo foi considerada uma duração de 1 ano para uma obra de 500 m<sup>2</sup>, sendo a duração dos restantes edifícios proporcional a esta, e estimado que a grua está em funcionamento 4 horas por dia (meio dia), durante toda a obra. Esta estimativa resultou num consumo de 30,36 kWh/m<sup>2</sup> de edifício.

Feito o levantamento de todos os fluxos do sistema, foram selecionados os processos mais adequados de entre os disponíveis na base de dados utilizada (*Ecoinvent 3.5*). A Tabela 6.6 resume os *inputs* e os respetivos processos considerados neste estudo.

Tabela 6.6 – Processos utilizados para a análise do ciclo de vida

<b>Material</b>	<b>Processos <i>Ecoinvent 3.5</i></b>
Madeira maciça de pinho	planing, beam, softwood, u=10%   sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed   Consequential, U - RoW
Madeira lamelada colada	glued laminated timber production, for indoor use   glued laminated timber, for indoor use   Consequential, U - RER
Produto imunizante	market for wood preservative, organic, indoor use, occasionally wet   wood preservative, organic, indoor use, occasionally wet   Consequential, U - GLO
Betão armado	market for concrete, high exacting requirements   concrete, high exacting requirements   Consequential, U - RoW
Betão armado*	market for concrete, 25MPa   concrete, 25MPa   Consequential, U - GLO
Vigotas pré-esforçadas	pre-cast concrete – RER <sup>3</sup>
Abobadilhas	lightweight concrete block production, expanded clay   lightweight concrete block, expanded clay   Consequential, U - RoW
Blocos de betão	market for concrete block   concrete block   Consequential, U - GLO
Perfis metálicos	section bar rolling, steel   section bar rolling, steel   Consequential, U - RER
Transporte	market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   Consequential, U - RER
Eletricidade	market for electricity, low voltage   electricity, low voltage   Consequential, U - PT
Gasolina	market for petrol, unleaded   petrol, unleaded   Consequential, U - RER
Oxigénio líquido	market for oxygen, liquid   oxygen, liquid   Consequential, U - RER
Acetileno	market for acetylene   acetylene   Consequential, U - RER

Betão armado\* - betão armado com malhasol AQ50 e betão de enchimento das lajes aligeiradas.

<sup>3</sup> Processo importado da base de dados gratuita ELCD 3.2.

### 6.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da avaliação do ciclo de vida de todos os cenários em estudo foram extraídos do *openLCA* e são apresentados abaixo, para cada impacto considerado. As Figuras 6.5 a 6.10 apresentam os resultados obtidos, para cada caso de estudo, ilustrando o incremento dos impactos do cenário 0 (que tem por base um trabalho de IDE) ao cenário 3. As Tabelas 6.7 a 6.12 apresentam o acréscimo, em percentagem, dos cenários 1, 2 e 3 (cenários que não têm por base um trabalho de IDE e resulta da demolição integral da estrutura) comparativamente ao cenário 0.

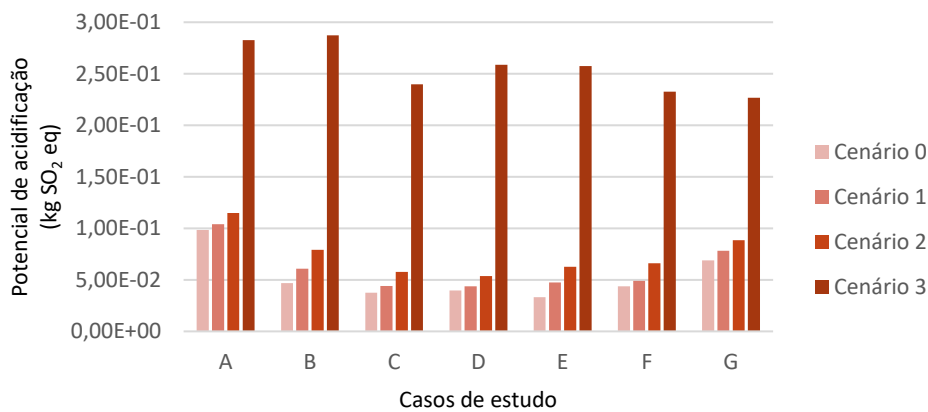


Figura 6.5 – Potencial de acidificação, expresso em kg SO<sub>2</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.7 – Acréscimo do potencial de acidificação em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+5,8%	+30,3%	+17,2%	+9,7%	+42,7%	+12,4%	+13,5%	<b>+18,8%</b>
<b>Cenário 2</b>	+16,8%	+69,6%	+53,7%	+34,9%	+89,0%	+50,8%	+28,7%	<b>+49,1%</b>
<b>Cenário 3</b>	+187,6%	+514,9%	+539,5%	+551,5%	+676,0%	+431,4%	+228,9%	<b>+447,1%</b>

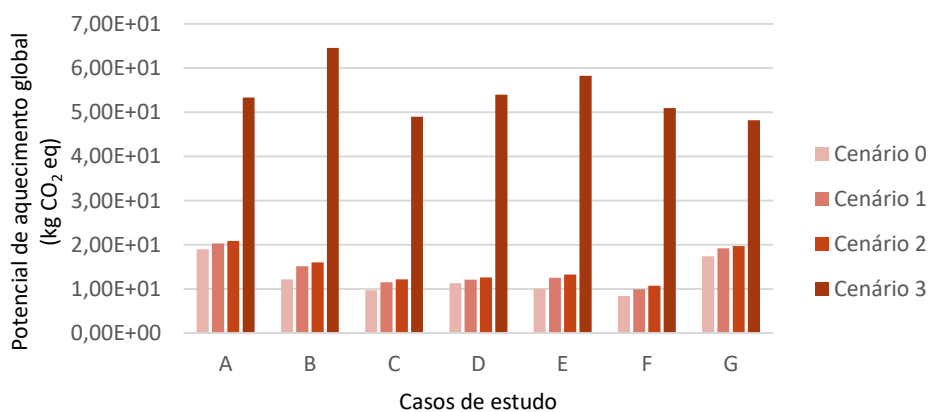


Figura 6.6 – Potencial de aquecimento global, expresso em kg CO<sub>2</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.8 – Acréscimo do potencial de aquecimento global em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+7,1%	+24,7%	+18,8%	+7,2%	+24,3%	+18,2%	+10,6%	<b>+15,8%</b>
<b>Cenário 2</b>	+9,8%	+31,9%	+25,5%	+11,6%	+31,6%	+27,6%	+13,5%	<b>+21,6%</b>
<b>Cenário 3</b>	+181,3%	+432,3%	+404,6%	+377,8%	+477,4%	+509,4%	+176,0%	<b>+365,5%</b>

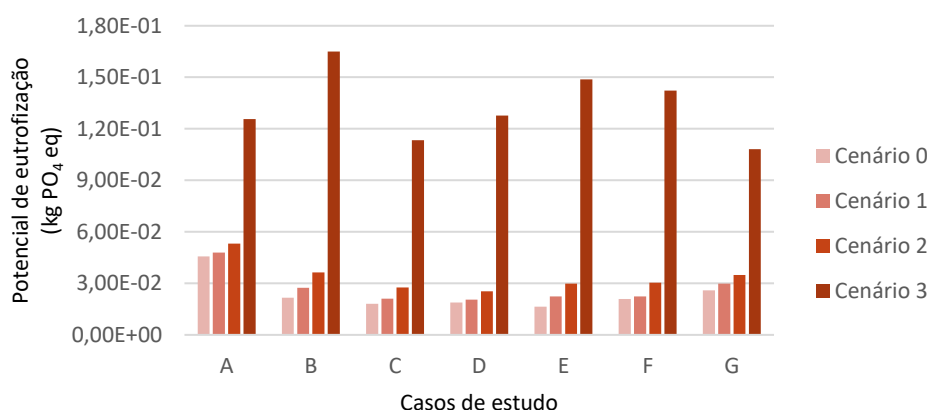


Figura 6.7 – Potencial de eutrofização, expresso em kg PO<sub>4</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.9 – Acréscimo do potencial de eutrofização em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+4,9%	+26,8%	+16,1%	+8,0%	+36,8%	+7,7%	+15,2%	<b>+16,5%</b>
<b>Cenário 2</b>	+16,3%	+67,6%	+52,4%	+34,5%	+81,9%	+45,7%	+34,6%	<b>+47,6%</b>
<b>Cenário 3</b>	+174,7%	+661,0%	+526,1%	+574,9%	+806,0%	+581,9%	+316,1%	<b>+520,1%</b>

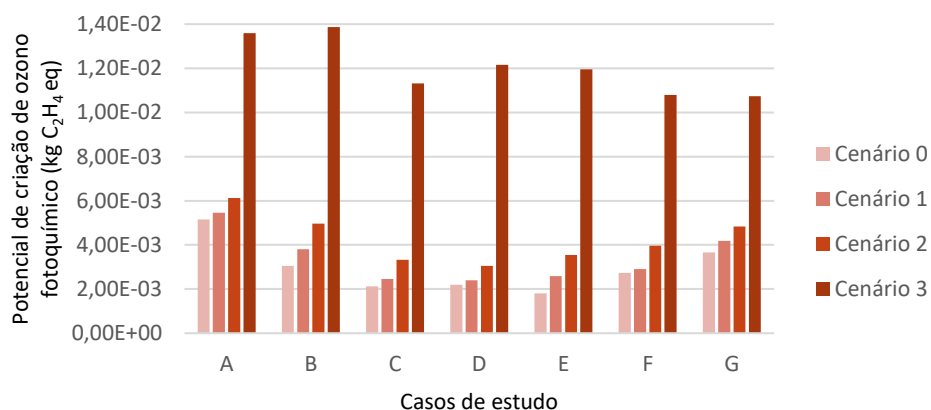


Figura 6.8 – Potencial de criação de ozono fotoquímico, expresso em kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.10 – Acréscimo do potencial de criação de ozono fotoquímico em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+5,8%	+24,9%	+16,0%	+9,1%	+43,1%	+6,6%	+14,2%	<b>+17,1%</b>
<b>Cenário 2</b>	+19,0%	+62,6%	+56,6%	+38,6%	+96,1%	+45,1%	+32,2%	<b>+50,0%</b>
<b>Cenário 3</b>	+163,9%	+354,4%	+433,5%	+452,7%	+560,2%	+295,2%	+192,1%	<b>+350,3%</b>

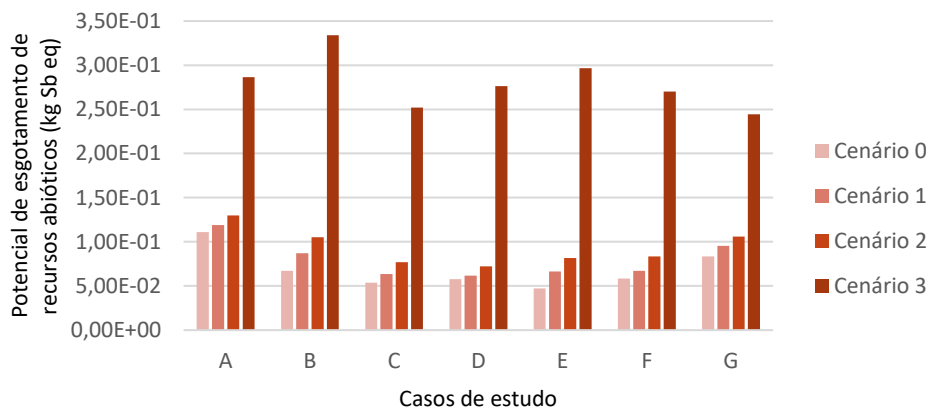


Figura 6.9 – Potencial de esgotamento de recursos abióticos, expresso em kg Sb eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.11 – Acréscimo do potencial de esgotamento de recursos abióticos em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+7,3%	+29,7%	+18,4%	+7,5%	+40,0%	+14,4%	+14,1%	<b>+18,8%</b>
<b>Cenário 2</b>	+16,9%	+57,0%	+43,9%	+25,7%	+72,4%	+42,5%	+26,6%	<b>+40,7%</b>
<b>Cenário 3</b>	+158,0%	+398,3%	+370,2%	+380,4%	+527,3%	+361,5%	+190,1%	<b>+340,8%</b>

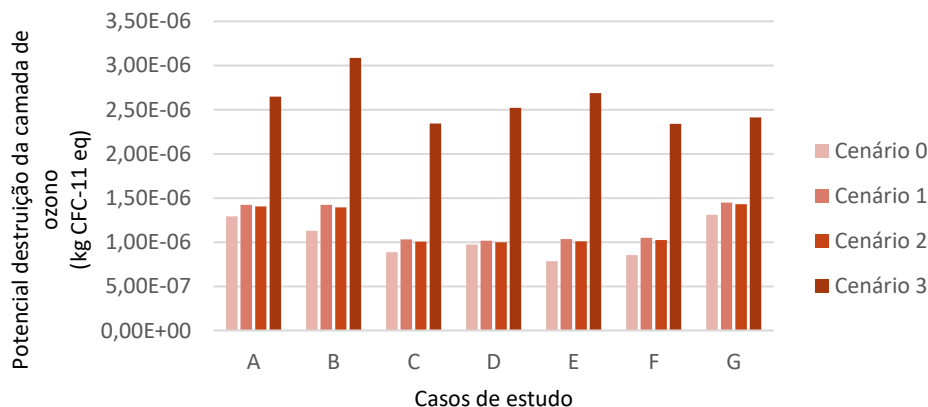


Figura 6.10 – Potencial de destruição da camada de ozono, expresso em kg CFC-11 eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Tabela 6.12 – Acréscimo do potencial de destruição da camada de ozono em relação ao cenário 0

	A	B	C	D	E	F	G	Média
<b>Cenário 0</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 1</b>	+9,9%	+26,1%	+16,3%	+4,5%	+31,8%	+23,1%	+10,5%	<b>+17,5%</b>
<b>Cenário 2</b>	+8,5%	+23,4%	+13,7%	+2,7%	+28,5%	+19,9%	+9,2%	<b>+15,1%</b>
<b>Cenário 3</b>	+104,6%	+173,5%	+164,5%	+159,0%	+242,0%	+174,0%	+82,0%	<b>+157,1%</b>

De seguida são apresentados, para o edifício A, os resultados obtidos com a quantificação da contribuição dos vários processos em cada um dos indicadores ambientais em análise (Figura 6.11 a Figura 6.16). Estes resultados são apresentados, para todos os edifícios, no Anexo VII.

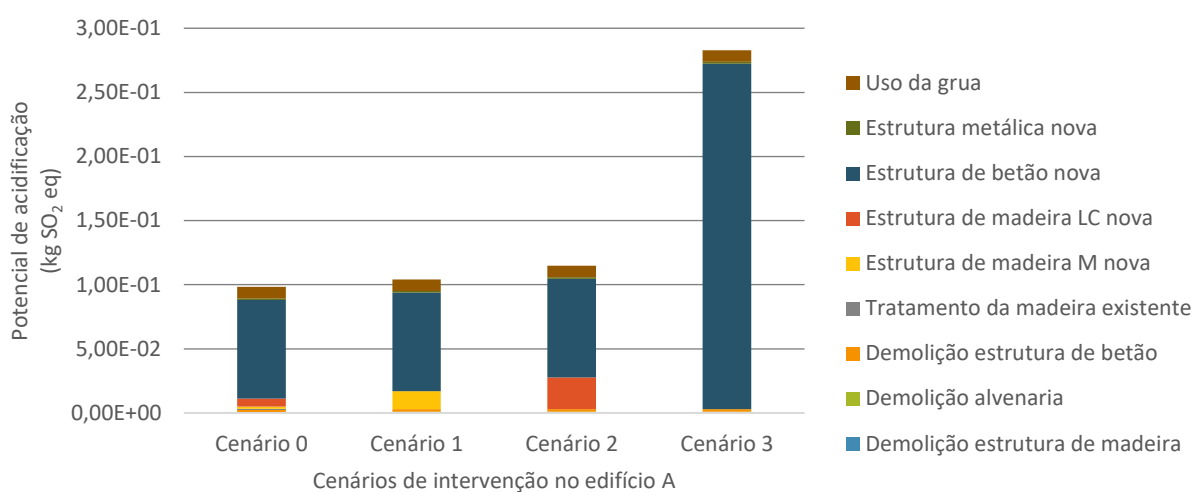


Figura 6.11 – Potencial de acidificação do edifício A, expresso em kg SO<sub>2</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

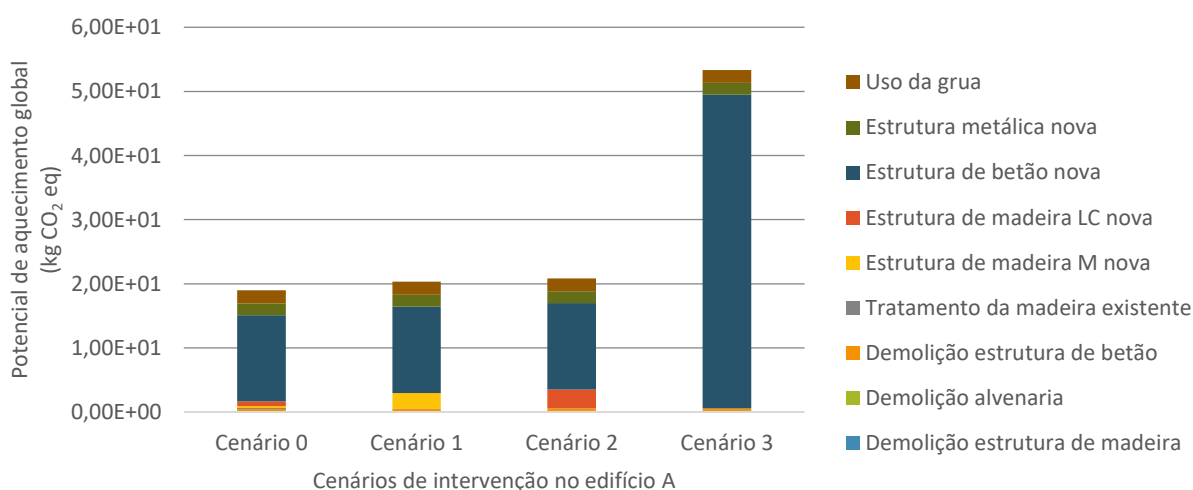


Figura 6.12 – Potencial de aquecimento global do edifício A, expresso em kg CO<sub>2</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

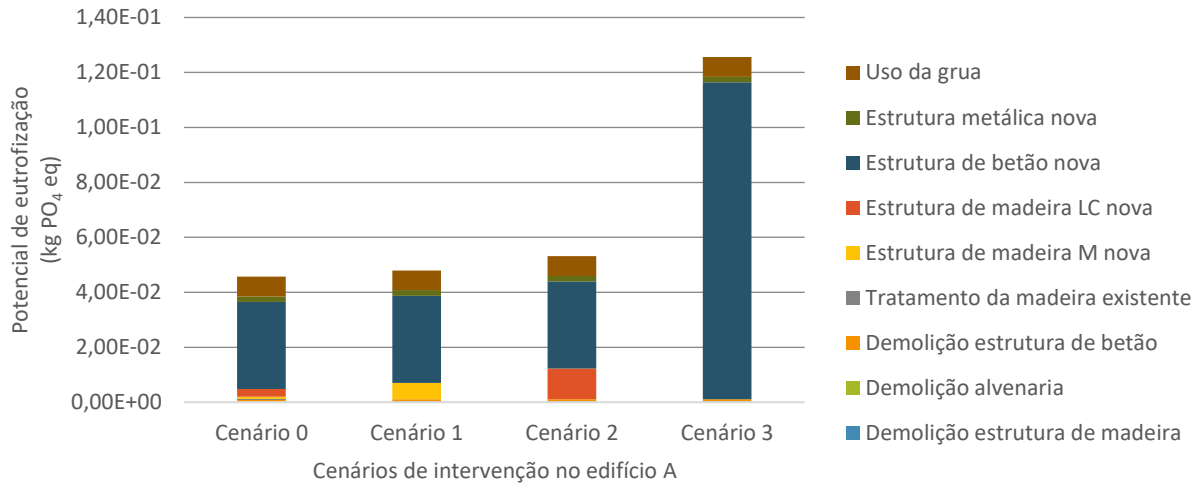


Figura 6.13 - Potencial de eutrofização do edifício A, expresso em kg PO<sub>4</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

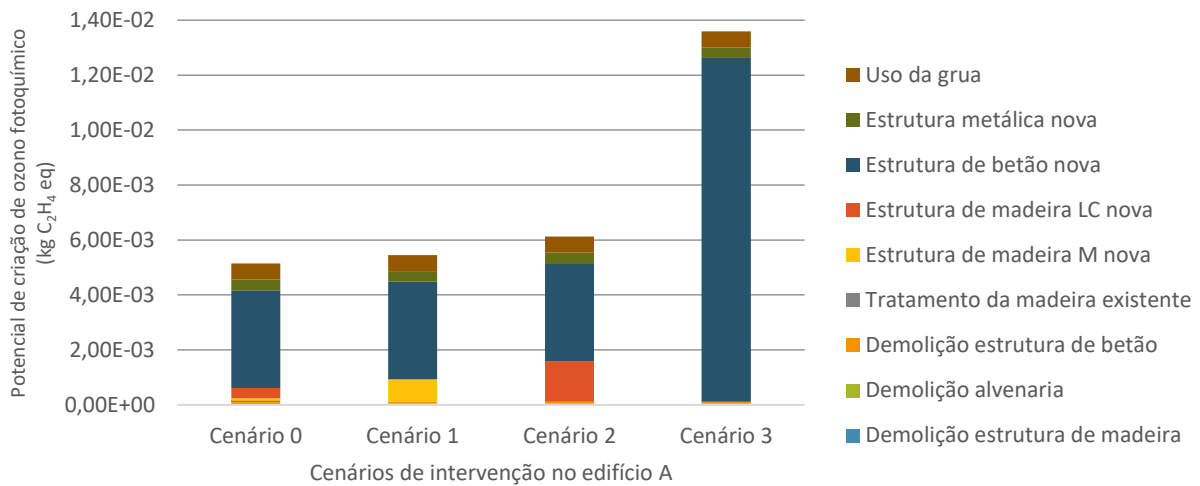


Figura 6.14 – Potencial de criação de ozono fotoquímico do edifício A, expresso em kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq, por m<sup>2</sup> de edifício

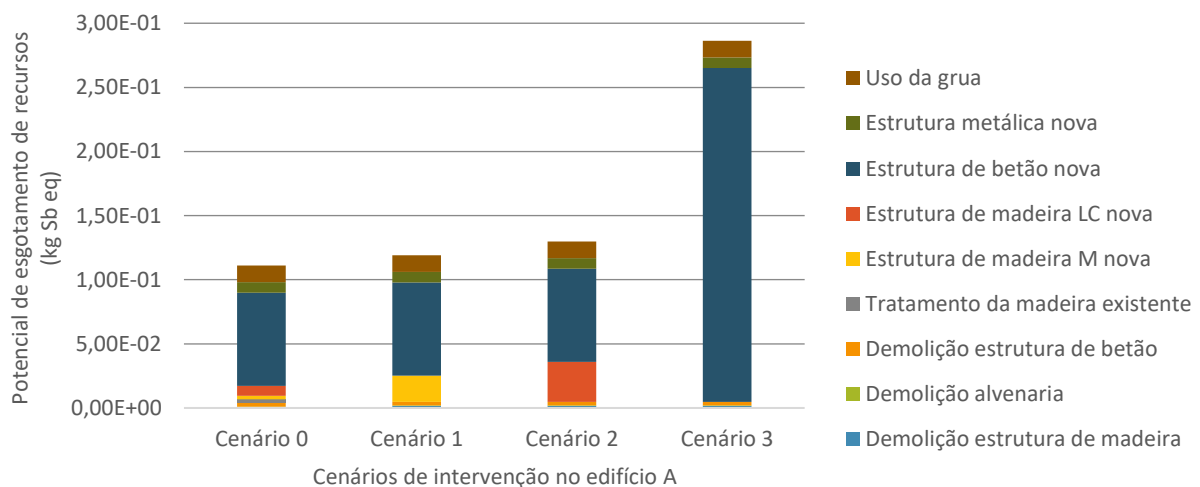


Figura 6.15 - Potencial de esgotamento de recursos abióticos do edifício A, expresso em kg Sb eq, por m<sup>2</sup> de edifício

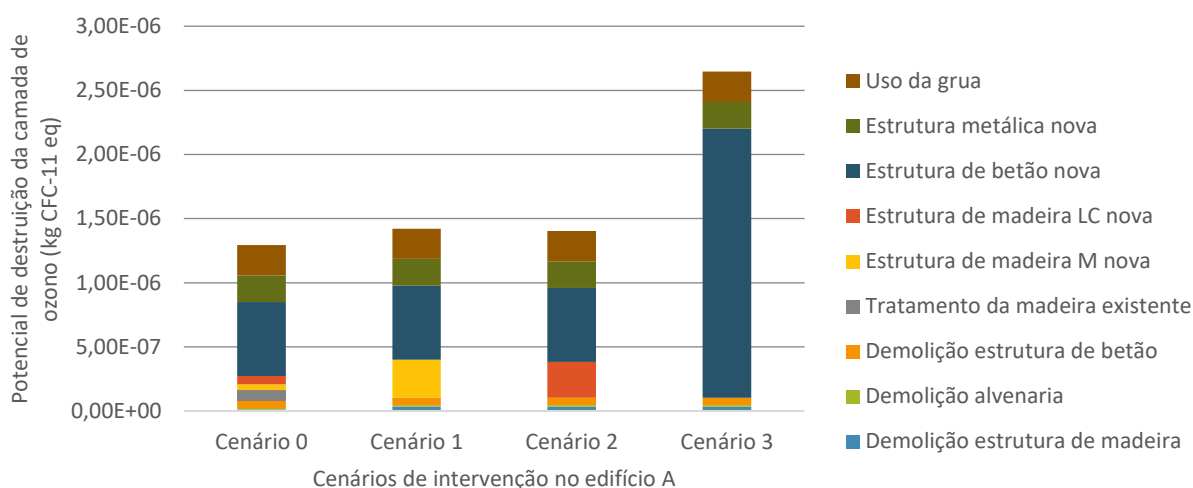


Figura 6.16 - Potencial de destruição da camada de ozono do edifício A, expresso em kg CFC-11 eq, por m<sup>2</sup> de edifício

Como pode ser confirmado nos resultados apresentados anteriormente, o cenário 0, que representa a metodologia adotada pelo NCREP na intervenção de edifícios existentes, revela ser o melhor cenário para todos os impactos considerados, sendo responsável pelas menores emissões em todos os casos de estudo. Por outro lado, também foi possível constatar que uma solução nova com estruturas em betão armado, um dos cenários mais comuns em Portugal, é claramente o cenário mais gravoso, tendo um agravamento em mais de 300% em quase todos os impactos.

Foi também possível concluir que as estruturas em betão influenciam negativamente os outros cenários, sendo que os casos de estudo A e G, que apresentam o maior volume de estruturas de betão nos cenários 0, 1 e 2 (Anexo VI), apresentam, nestes cenários, resultados ligeiramente superiores aos restantes e, conseqüentemente, variações entre cenários inferiores. Esta influência também pode ser analisada através da análise dos resultados com as contribuições de cada processo (Anexo VII), sendo que, nos casos A e G (cenários 0 a 2), as estruturas de betão apresentam uma contribuição acima de 50% em todos os impactos. Isto deve-se ao facto da produção do betão ser altamente poluente – esta inclui um processo de queima de diversas matérias-primas (entre elas a calcite), utilizando combustíveis maioritariamente provenientes de fontes não renováveis como fonte de energia, para produção de clínquer (material que constitui a base do cimento). Este processo, desde a alteração das próprias matérias-primas ao consumo de combustíveis, resulta em emissões de diversos gases poluentes como dióxido de carbono, óxido de enxofre, óxido de nitrogénio, entre outros, sendo que mais de metade das emissões de CO<sub>2</sub> se devem à reação de calcinação [49].

Da análise da contribuição de cada processo para o resultado final foi possível concluir que, para os cenários alternativos (1, 2 e 3), os processos que mais contribuem para os resultados obtidos, além do

betão que prevalece muitas vezes, são os que se referem à produção e transporte para obra dos materiais principais (madeira maciça no cenário 1, madeira lamelada colada no cenário 2 e betão no cenário 3). Entre os três materiais, o que apresenta menores impactos é a madeira maciça, excetuando o potencial de destruição da camada de ozono, em que a madeira lamelada colada revela ser menos prejudicial.

No que diz respeito às emissões de CO<sub>2</sub>, é possível afirmar que a reabilitação estrutural com base num trabalho de IDE resulta em impactos ambientais bastante inferiores comparativamente com o cenário mais intrusivo de demolição integral e reconstrução com uma estrutura de betão armado, que implica um acréscimo médio das emissões em 365,5%. Além disso, apesar do cenário 0 implicar uma redução significativa na produção de resíduos de demolição, em média superior a 50% (como é ilustrado na Figura 6.3), no caso de se revelar ser necessário demolir grande parte ou toda a estrutura existente, seja devido ao seu estado de conservação ou devido a outras condicionantes como o projeto de arquitetura, a melhor solução (entre os cenários analisados) será sempre introduzir novas estruturas de madeira maciça ou lamelada colada.

Finalmente, conclui-se que um trabalho de inspeção e diagnóstico, que permite intervir num edifício antigo respeitando os materiais e as técnicas construtivas existentes, tem uma influência positiva não só na conservação do património construído como também na sustentabilidade da intervenção, no ciclo de vida do edifício e no meio ambiente.

# CAPÍTULO 7

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 CONCLUSÕES

Pretendeu-se, com este trabalho, apresentar as principais atividades desenvolvidas ao longo do estágio curricular realizado na empresa NCREP, sendo nele descritos trabalhos efetuados no âmbito da inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural.

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre o tema abordado, foi feita uma pesquisa bibliográfica que resultou num estado de arte sobre a reabilitação e a sua importância, na qual também foi apresentado o método de cálculo utilizado na verificação de segurança de estruturas de madeira. Nesta fase foi também feito um breve estudo sobre LCA depois de conhecidos os objetivos traçados, a nível nacional e europeu, para atingir a neutralidade carbónica e como a construção pode contribuir para a mesma.

A realização de trabalhos de inspeção e diagnóstico permitiu conhecer as diferentes fases que os compõem, colocando em prática os assuntos estudados inicialmente, assim como a sua importância para a elaboração de projetos de reabilitação, partindo de um conhecimento aprofundado sobre as estruturas existente e o seu estado de conservação.

Os trabalhos de inspeção e diagnóstico desenvolvidos no Mosteiro de Odivelas foram muito enriquecedores, na medida em que o Mosteiro, tendo sido alvo de várias intervenções ao longo do tempo, apresenta estruturas tradicionais em alvenaria de pedra e madeira, mas também estruturas metálicas e em betão armado, sendo o contacto direto com todos estes materiais uma mais-valia para o aprofundamento dos conhecimentos. Este trabalho permitiu ainda conhecer a verdadeira importância da pesquisa histórica num estudo de inspeção e diagnóstico, principalmente num edifício com vários séculos e muita história como o Mosteiro de Odivelas. A pesquisa histórica permitiu compreender a evolução dos vários corpos que constituem o Mosteiro e perceber em que épocas, aproximadamente, se deram as principais alterações. Além disto, a inspeção do Mosteiro também permitiu conhecer todo o processo que envolve a realização de ensaios de identificação dinâmica.

Apesar do trabalho sobre o Mosteiro de Odivelas ainda não estar concluído, pode-se dizer que apresenta, de um modo geral, um estado de conservação razoável a bom, não apresentando anomalias com grande gravidade. A análise estrutural a realizar futuramente, nomeadamente a análise de segurança das estruturas existentes e a análise de vulnerabilidade sísmica, permitirá concluir sobre a segurança estrutural do mesmo e definir as estratégias de intervenção necessárias.

Por outro lado, a campanha de inspeção e diagnóstico realizada na Casa Milheirós, possibilitou o contacto com um edifício de menor dimensão, com tipologias construtivas tradicionais em alvenaria de pedra e madeira, e o desenvolvimento de um relatório de inspeção, até à sua conclusão. Este trabalho permitiu, através de toda a informação recolhida e dos ensaios realizados, fazer um diagnóstico devidamente fundamentado que permitiu perceber quais elementos da estrutura estão em condições de ser mantidos. Além disto foi realizada a verificação de segurança das estruturas de madeira existentes que, combinada com a restante informação, permitiu definir estratégias de reforço ou substituição dos elementos estruturais.

Tendo em conta todas as atividades desenvolvidas na inspeção da Casa Milheirós, concluiu-se que as estruturas resistentes verticais apresentam, de um modo geral, um bom estado de conservação. Assim sendo, as paredes podem ser mantidas, devendo ser preconizadas ações pontuais de reparação, essencialmente no que respeita às fissuras e aos focos de humidade encontrados. Já as estruturas horizontais em madeira, existentes nos pavimentos e nas coberturas, apresentam estados de conservação e condições de segurança distintas, tendo sido definido como ações de intervenção: manutenção de elementos que apresentam um estado de conservação razoável a bom e que cumprem com as condições de segurança; manutenção e reforço dos elementos que, tendo em conta o seu estado de conservação, podem ser mantidos mas não verificam condições de segurança; e substituição dos elementos em mau estado de conservação.

Por fim, o presente relatório apresenta o estudo desenvolvido, recorrendo à metodologia LCA, para a avaliação do impacto, em termos ambientais e de produção de resíduos, que a metodologia de intervenção estrutural usada pelo NCREP tem na reabilitação de edifícios existentes, em comparação com cenários de demolição e reconstrução. Este estudo, que incidiu sobre 7 casos de estudo já intervencionados, permitiu, em primeiro lugar, conhecer melhor os métodos de trabalho da empresa, a partir da consulta e leitura de diversos relatórios de inspeção e diagnóstico estrutural e projetos de execução desenvolvidos pela equipa do NCREP. Em segundo lugar, proporcionou a aprendizagem sobre a metodologia LCA, desde o conceito até à sua aplicação, sendo uma ferramenta de grande utilidade para o estudo da pegada ambiental de qualquer produto ou processo. Finalmente possibilitou concluir que reabilitar com base em trabalhos de inspeção e diagnóstico é mais favorável para o ambiente, na medida em que reduz a quantidade de resíduos de demolição e ainda apresenta menores impactos ambientais,

tendo em conta as fases de demolição e construção. A reabilitação com base em trabalhos de inspeção e diagnóstico apresenta, de uma forma geral, impactos significativamente inferiores em comparação com um cenário de reconstrução com estruturas de betão armado, sendo que este último pode implicar um acréscimo de até 509% das emissões de CO<sub>2</sub>. Esta conclusão vai ao encontro dos objetivos nacionais e europeus para a neutralidade carbónica.

## 7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Numa perspetiva de continuar a colaboração com a empresa NCREP, pretende-se continuar a desenvolver os trabalhos de inspeção e diagnóstico do Mosteiro de Odivelas. Para a conclusão deste trabalho deverão ser realizadas as seguintes atividades:

1. Abertura de janelas de sondagens (cerca de 185) em paredes, tetos e pavimentos, para uma melhor caracterização dos elementos que constituem a estrutura do Mosteiro;
2. Extração de carotes dos elementos em betão armado e armaduras, para caracterização dos materiais;
3. Ensaio com macacos planos nas paredes exteriores do Mosteiro de forma a conhecer as suas características mecânicas;
4. Ensaio SPT em diversos pontos do terreno que circunda o Mosteiro para serem conhecidas as condições do mesmo;
5. Outros ensaios de diagnóstico e caracterização dos materiais com recurso a equipamentos como *Resistograph*, *Ferroskan*, câmara termográfica, higrómetro, etc.;
6. Análise dos resultados obtidos nos ensaios de identificação dinâmica e calibração do modelo numérico de análise estrutural;
7. Análise da vulnerabilidade sísmica do conjunto edificado para serem definidas as estratégias de reforço necessárias.

Dada a dimensão do Mosteiro e a sua complexidade estrutural, na medida em que conjuga diversos tipos de estruturas, seria certamente vantajoso aplicar a metodologia BIM neste trabalho. Assim, aglomerando num modelo único toda a informação recolhida nas várias campanhas de inspeção, seria possível consultar, de forma simples, direta e organizada, os detalhes obtidos no levantamento estrutural, a caracterização das anomalias e os resultados dos ensaios e janelas de sondagens a realizar.

No âmbito do estudo LCA desenvolvido com o apoio do GRAQ, nomeadamente da Professora Cristina Delerue e da Doutora Elena Surra, e da FCT/UNL, na pessoa do Professor Nuno Lapa, será redigido e publicado um artigo científico onde será apresentada a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

Tendo em vista o desenvolvimento e a ampliação do âmbito do estudo realizado, seria interessante alargar a análise para outros edifícios, nomeadamente edifícios com tipologias construtivas diferentes e/ou inseridos noutras regiões do país, como por exemplo em Lisboa, onde existe uma sismicidade moderada a elevada, o que tem impacto nas intervenções a realizar, implicando, muitas vezes, uma maior intrusividade devido à necessidade de reforço sísmico. Além disto, seria também proveitoso, principalmente do ponto de vista da empresa, proceder a uma análise de custo com o objetivo de se conhecerem os impactos económicos associados a cada tipo de intervenção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INE - Censos – Resultados definitivos. Portugal – 2011. Edifícios. [online] Lisboa: INE, 2012. [Consult. 28 set. 2021]. Disponível em [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554).
- [2] UPTEC - Empresas: NCREP [Online]. [Consult. 28 jan. 2021]. Disponível em <https://uptec.up.pt/pt-pt/empresas/ncrep/>.
- [3] NCREP - NCREP [Online]. [Consult. 28 jan. 2021]. Disponível em <https://ncrep.pt/a-ncrep/>.
- [4] BATISTA, Ricardo - E os vencedores são (Prémio Construir 2014). *Construir*. ISSN 194726/03 (2 de outubro de 2014). Disponível em <https://construir.pt/2014/10/02/e-os-vencedores-sao-2/>.
- [5] HENRIQUES, Ana Marta - A Casa da Boavista tem mais de cem anos – mas não pares. *Público P3*. ISSN 0872-1548 (10 de agosto de 2017). Disponível em <https://www.publico.pt/2017/08/10/p3/fotogaleria/a-casa-da-boavista-tem-mais-de-cem-anos-mas-nao-parece-386593>.
- [6] NCREP - NCREP: Distinções [Online]. [Consult. 28 jan. 2021]. Disponível em <https://ncrep.pt/a-ncrep/distincoes/>.
- [7] APPLETON, João - *Reabilitação De Edifícios Antigos: Patologias E Tecnologias De Intervenção*. 1.ª ed. Amadora: Edições Orion, 2003. ISBN: 972-8620-03-9.
- [8] FREITAS, Vasco, et al. - Reabilitação de Edifícios. FREITAS, Vasco. (coord.) - *Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. 1.ª ed. Porto: Ordem do Engenheiros da Região Norte, 2012. ISBN: 978-972-99918-7-5. p. 21-29.
- [9] VICENTE, Romeu; FERREIRA, Tiago; SILVA, J. A. Raimundo - Supporting urban regeneration and building refurbishment: Strategies for building appraisal and inspection of old building stock in city centres. *Journal of Cultural Heritage*. ISSN 1296-2074. Vol. 16, nº1 (2015), p. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.03.004>.

- [10] CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE CONSERVAÇÃO “CRACÓVIA 2000”, Polónia, 2000 – Carta de Cracóvia: Princípios para a Conservação e o Restauro do Património Construído. Cracóvia, 2000.
- [11] CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DE MONUMENTOS HISTÓRICOS, 2ª edição, Itália, 1964 – Carta de Veneza: Sobre a Conservação e Restauro dos Monumentos e dos Sítios. Veneza, 1964.
- [12] FERNANDES, João - Manual de reabilitação, um instrumento de salvaguarda do património urbano: Uma proposta para Sines. Universidade de Coimbra, 2013. Dissertação de Mestrado.
- [13] NCREP - NCREP: Portfolio [Online]. [Consult. 02 fev. 2021]. Disponível em <https://ncrep.pt/portfolio/>.
- [14] ARÊDE, António; COSTA, Aníbal - «Inspeção e Diagnóstico Estrutural de Construções Históricas: Algumas contribuições da FEUP: atas do 1º Seminário “A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação”, Porto, 2002». Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. ISBN: 972-99101-0-3. p. 55-88.
- [15] COSTA, Aníbal - Reparação e reforço das construções. In LOPES, Mário - Sismos e Edifícios. 1.ª ed. Amadora: Edições Orion, 2008. ISBN: 978-972-8620-11-0. p. 469-529.
- [16] DIZ-MELLADO, Eduardo, et al. - Non-destructive testing and Finite Element Method integrated procedure for heritage diagnosis: The Seville Cathedral case study. Journal of Building Engineering. ISSN 2352-7102. Vol. 37 (2021), p. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102134>.
- [17] COSTA, Aníbal, et al. - Comportamento Estrutural do Edifício. In FREITAS, Vasco. (coord.) - Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos. 1.ª ed. Porto: Ordem dos Engenheiros da Região Norte, 2012. ISBN: 978-972-99918-7-5. p. 141-152.
- [18] COSTA, Aníbal, et al. - «Metodologias de Intervenção no Património Edificado: atas do 2º Seminário “A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação”, Porto, 2005». Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005. ISBN: 972-99101-3-8. p. 117-137.
- [19] NP EN 1995-1-1: 2004, Eurocódigo 5 - Projeto de estruturas de madeira. Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios.
- [20] NP EN 338: 2016, Madeira para estruturas; Classes de resistência.
- [21] COSTA, Alexandre A. - Estruturas de Madeira e Alvenaria: Parte 1 - Estruturas de Madeira. Versão 2. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015. Apontamentos da disciplina.

- [22] BRANCO, Jorge M. - «Reforço de elementos existentes de madeira: atas do Seminário “Intervir em Construções Existentes de Madeira”, Guimarães, 2014». Guimarães: Universidade do Minho, 2014. ISBN: 978-972-8692-86-5. p. 71-86.
- [23] COSTA, Aníbal; ARÊDE, António - Strengthening of structures damaged by the Azores earthquake of 1998. *Construction and Building Materials*. ISSN 0950-0618. Vol. 20, nº 4 (2006), p. 252-268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.029>.
- [24] DIZ, Sérgio; COSTA, Aníbal; COSTA, Alexandre A. - Efficiency of strengthening techniques assessed for existing masonry buildings. *Engineering Structures*. ISSN 0141-0296. Vol. 101 (2015), 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.07.017>.
- [25] FARIA, José A. - Comportamento de Estruturas de Madeira. In Freitas, V. (coord.) - *Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. 1.ª ed. Porto: Ordem do Engenheiros da Região Norte, 2012. ISBN: 978-972-99918-7-5. p. 153-169.
- [26] PORDATA - Potencial de efeito de estufa: total e por alguns sectores de actividade económica [online]. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos. [Consult. 28 set. 2021] Disponível em <https://www.pordata.pt/Portugal/Potencial+de+efeito+de+estufa+total+e+por+alguns+sectores+de+actividade+econ%3%b3mica-1077>.
- [27] SILVA, Augusto; FERNANDES, João - Acordo de Paris 2015-2020. Lisboa: República Portuguesa - Ambiente e Ação Climática; Agência Portuguesa do Ambiente, 2020. Disponível em <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/documento?i=acordo-de-paris-2015-2020>.
- [28] PNEC 2030. 2020, Plano Nacional Energia e Clima 2030. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - n.º 133. Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2020 de 10 de julho de 2020. p. 2-158. Disponível em <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/bloco-3/>.
- [29] RNC2050. 2019, Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 - Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica da Economia Portuguesa em 2050. Lisboa: Diário da República, 1.ª série - n.º 123. Anexo à Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019 de 1 de julho de 2019. p. 3208-3299. Disponível em <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/documento?i=roteiro-para-a-neutralidade-carbonica-2050->.
- [30] BASTOS, Joana; BATTERMAN, Stuart; FREIRE, Fausto - Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon. *Energy and Buildings*. ISSN 0378-7788. Vol. 69 (2014), p. 344-353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.010>.

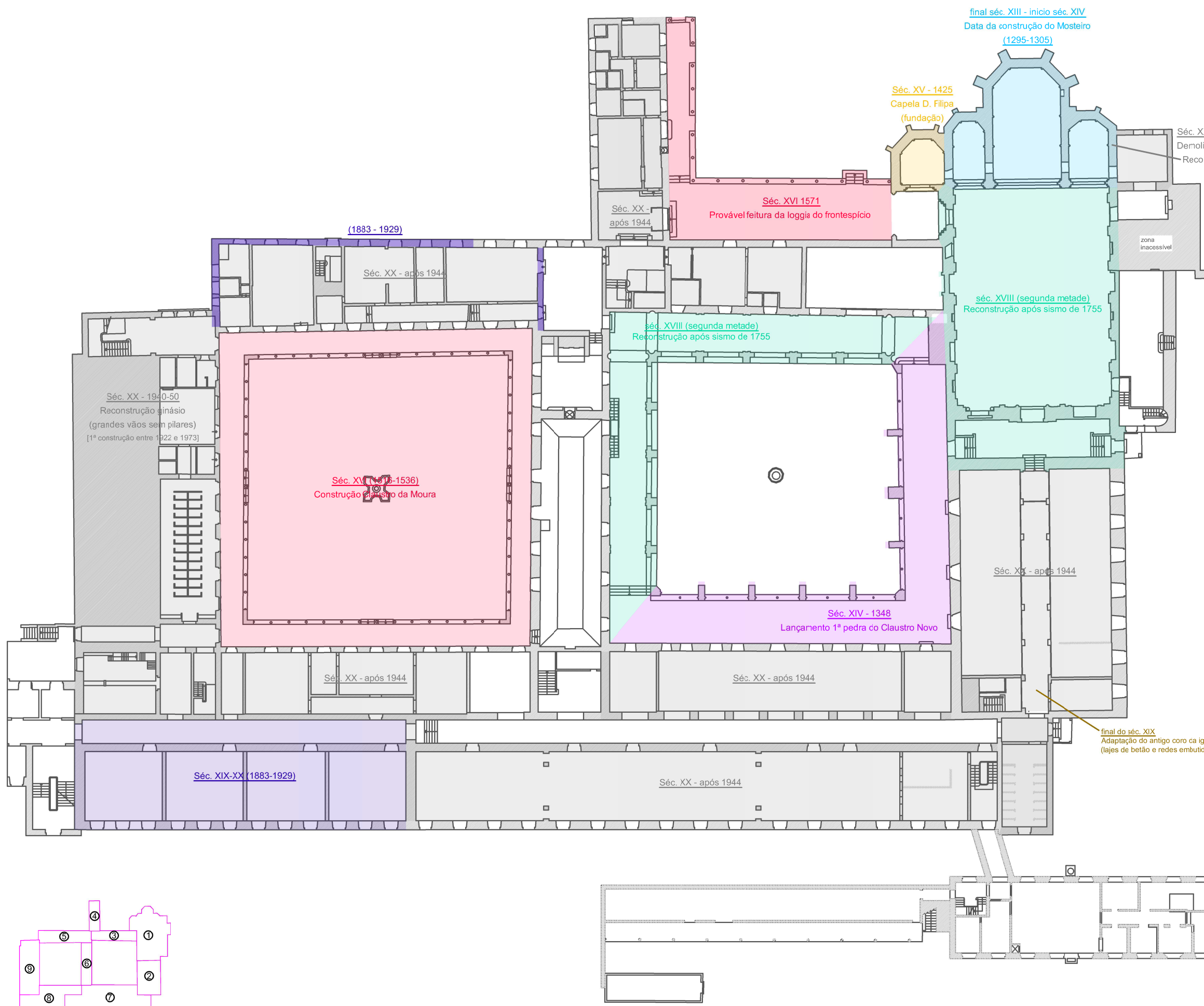
- [31] FERREIRA, Joaquim; PINHEIRO, Manuel; BRITO, Jorge - Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking. *Journal of Building Engineering*. ISSN 2352-7102. Vol. 3 (2015), p. 114-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2015.07.001>.
- [32] WEILER, Verena; HARTER, Hannes; EICKER, Ursula - Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment. *Energy and Buildings*. ISSN 0378-7788. Vol. 134 (2017), p. 319-328. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.004>.
- [33] RØNNING, Anne; VOLD, Mie; NERENG, Guro - «Refurbishment of Buildings – What is Best for the Climate: Artigo na conferência “Joint Actions on Climate Change”, Dinamarca, 2009». Dinamarca: Universidade de Aalborg, 2009. Disponível em <https://gin.confex.com/gin/2009/webprogram/Paper2551.html>.
- [34] BRAGANÇA, Luis; MATEUS, Ricardo - Life-cycle analysis of buildings: Environmental impact of building elements. 1ª edição. Portugal: iisBE Portugal, 2012. ISBN: 978-989-96543-3-4.
- [35] VILCHES, Alberto; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio; SANCHEZ-MONTAÑES, Benito - Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*. ISSN 0378-7788. Vol. 135 (2017), p. 286-301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>.
- [36] CUI, Wenjing, et al. - Co-Benefits Analysis of Buildings Based on Different Renewal Strategies: The Energy-Lca Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. ISSN 1660-4601. Vol. 18 (2021). <https://doi.org/10.3390/ijerph18020592>.
- [37] GASPAR, Pedro; SANTOS, António - Embodied energy on refurbishment vs. demolition: A Southern Europe case study. *Energy and Buildings*. ISSN 0378-7788. Vol. 87 (2015), p. 386-394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.040>.
- [38] MARIQUE, Anne-Françoise; ROSSI, Barbara - Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium. *Journal of Environmental Management*. ISSN 0301-4797. Vol. 224 (2018), p. 396-405. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.055>.
- [39] SIPA - Mosteiro de Odivelas/Mosteiro de São Dinis e São Bernardo/Instituto de Odivelas. [online] Sacavém: Direção-Geral do Património Cultural. [Consult. 24 mar. 2021] Disponível em [http://www.monumentos.gov.pt/site/app\\_pagesuser/SIPA.aspx?id=4067](http://www.monumentos.gov.pt/site/app_pagesuser/SIPA.aspx?id=4067).
- [40] BOTO, Sofia, et al. - Requalificação do Mosteiro de Odivelas: Relatório Prévio. Odivelas: Câmara Municipal de Odivelas, 2020.

- [41] MATOS, Ana - Análise histórico-artística do Mosteiro de S. Dinis de Odivelas e contributos para a recuperação para a recuperação da flora dos jardins dos seus claustros. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2018. Tese de mestrado.
- [42] INSTITUTO DE ODIVELAS (blog) - Fotogaleria: Aulas e Tempos Livres [online]. [Consult. 28 maio 2021]. Disponível em <https://meninasdeodivelas.wordpress.com/9-fotogaleria/>.
- [43] PAUPÉRIO, Esmeralda, et al. - «Inspeção e diagnóstico de estruturas. Contributo para a sua preservação: atas do Seminário “Cuidar das casas. A manutenção do património corrente”, Porto, 2011». Porto: Universidade do Porto, 2011. Disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/84524>.
- [44] NP EN 1990: 2009, Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas.
- [45] NP EN 1991-1-1: 2009, Eurocódigo 1 - Ações em estrutura. Parte 1-1: Ações gerais – pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.
- [46] SOARES, Jorge - Inspeção, Diagnóstico e Projeto no Âmbito da Reabilitação Estrutural. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016. Tese de mestrado.
- [47] SOUST-VERDAGUER, Bernardette; LLATAS, Carmen; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio - Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. Building and Environment. ISSN 0360-1323. Vol. 103 (2016) p. 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>.
- [48] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL - Fichas de rendimento [online]. [Consult. 02 set. 2021]. Disponível em <https://orcamentos.eu/fichas-de-rendimento/>.
- [49] COSTA, Eugénio, et al. – Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental. Ambiente Construído. ISSN 1678-8621. Vol. 3, n. 2 (2013) p. 75-86. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000200007>.



## **ANEXO I – MOSTEIRO DE ODIVELAS – ANÁLISE HISTÓRICA EM PLANTA**





final séc. XIII - início séc. XIV  
Data da construção do Mosteiro  
(1295-1305)

Séc. XV - 1425  
Capela D. Filipa  
(fundação)

Séc. XX - 1930-36  
Demolição e reconstrução Sacristia  
Reconstrução Absidiolo

Séc. XX -  
após 1944

Séc. XVI 1571  
Provável feitura da loggia do frontispício

(1883 - 1929)

Séc. XX - após 1944

séc. XVIII (segunda metade)  
Reconstrução após sismo de 1755

séc. XVIII (segunda metade)  
Reconstrução após sismo de 1755

zona  
inacessível

Séc. XX - 1940-50  
Reconstrução ginásio  
(grandes vãos sem pilares)  
[1ª construção entre 1922 e 1973]

Séc. XVI (1516-1536)  
Construção Claustro da Moura

Séc. XX - após 1944

Séc. XIV - 1348  
Lançamento 1ª pedra do Claustro Novo

Séc. XX - após 1944

Séc. XX - após 1944

Séc. XIX-XX (1883-1929)

Séc. XX - após 1944

final do séc. XIX  
Adaptação do antigo coro ca igreja a salas de aula/trabalho.  
(lajes de betão e redes embutidas no piso)

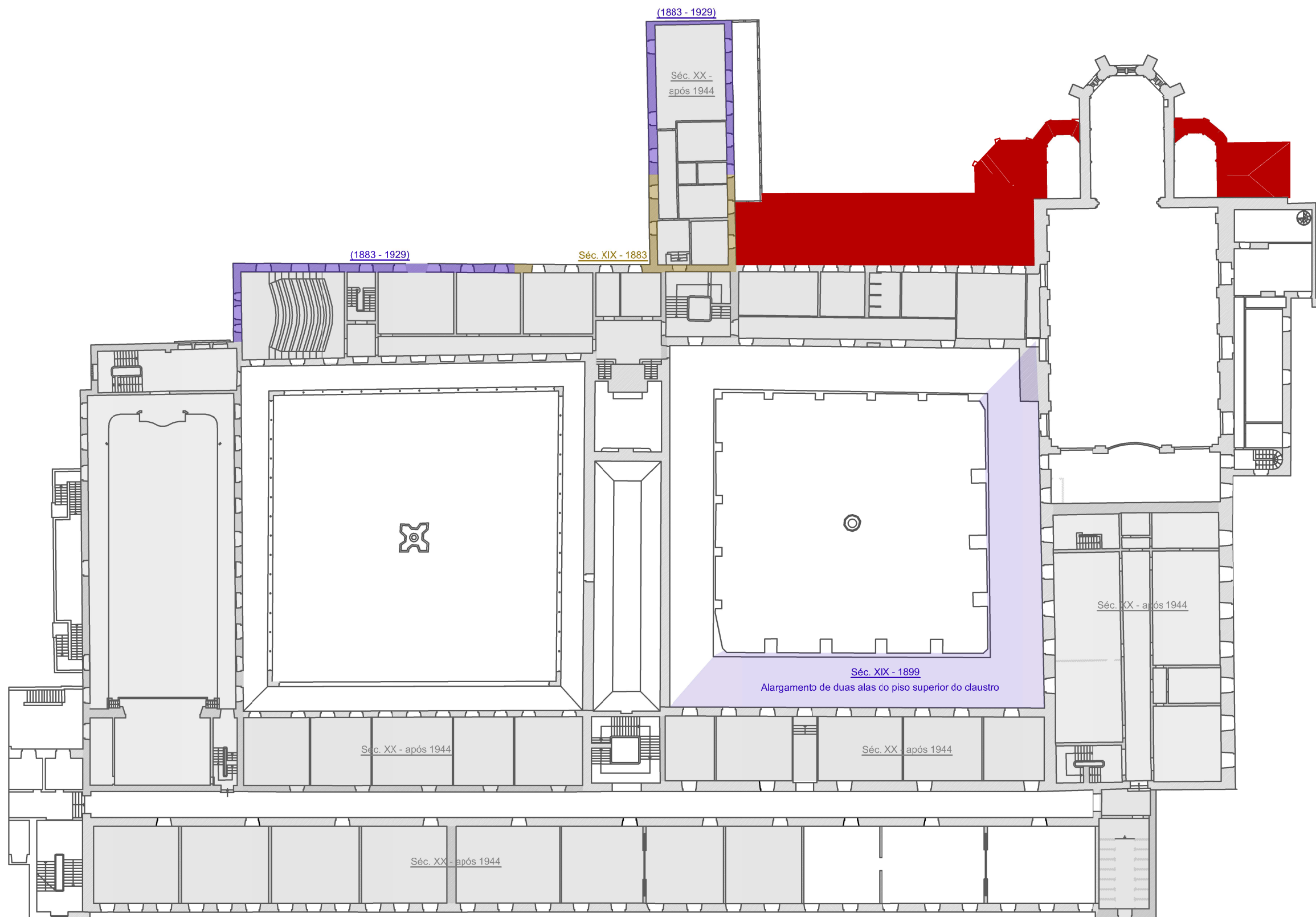
COM BASE NA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NO SIPA E NO RELATÓRIO PRÉVIO (CMO)

- Séc. XIII-XIV (1295-1305) - Construção do Mosteiro
- Séc. XIV (1348) - Construção Claustro Novo (?)
- Séc. XV (1425) - Fundação Capela D. Filipa
- Séc. XVI (1516-36) - Construção Claustro da Moura  
(1571) - Construção da loggia do frontispício (provável)
- Séc. XVIII - Reconstrução após sismo de 1755
- Séc. XX (1930-36) - Demolição e reconstrução Sacristia; reconstrução Absidiolo  
(1940-50) - Reconstrução ginásio

COM BASE NA COMPARAÇÃO DE PLANTAS (1883; 1929; 1944; EXISTENTE)

- Séc. XIX (1883) - Paredes "a construir" no projeto de alterações de 1883
- Séc. XIX-XX (1883-1929) - Alterações evidentes em planta entre 1883 e 1929
- Séc. XX (após 1944) - Alterações evidentes em planta entre 1944 e o presente

Planta do piso 0 (sem escala)

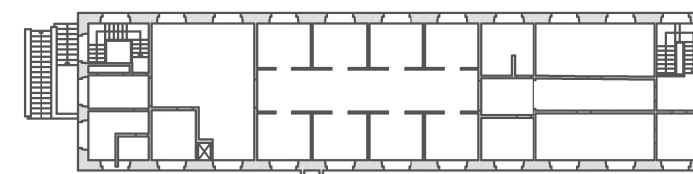
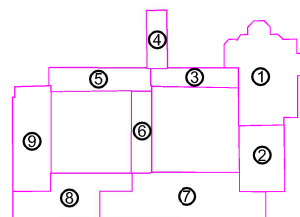


COM BASE NA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NO SIPA E NO RELATÓRIO PRÉVIO (CMO)

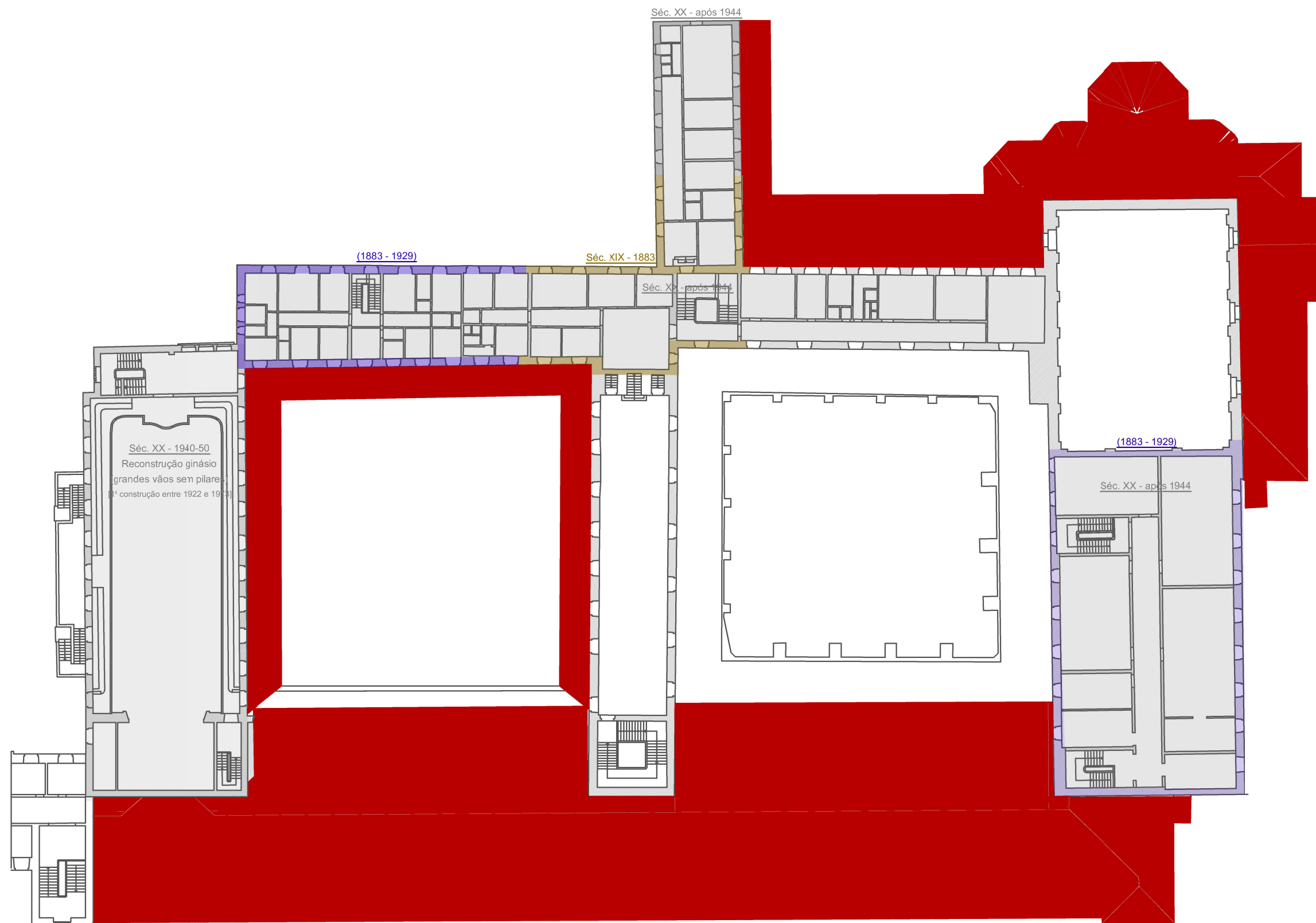
- Séc. XIII-XIV (1295-1305) - Construção do Mosteiro
- Séc. XIV (1348) - Construção Claustro Novo (?)
- Séc. XV (1425) - Fundação Capela D. Filipa
- Séc. XVI (1516-36) - Construção Claustro da Moura  
(1571) - Construção da loggia do frontespício (provável)
- Séc. XVIII - Reconstrução após sismo de 1755
- Séc. XX (1930-36) - Demolição e reconstrução Sacristia; reconstrução Absidiolo  
(1940-50) - Reconstrução ginásio

COM BASE NA COMPARAÇÃO DE PLANTAS (1883; 1929; 1944; EXISTENTE)

- Séc. XIX (1883) - Paredes "a construir" no projeto de alterações de 1883
- Séc. XIX-XX (1883-1929) - Alterações evidentes em planta entre 1883 e 1929
- Séc. XX (após 1944) - Alterações evidentes em planta entre 1944 e o presente



Planta do piso 1 (sem escala)

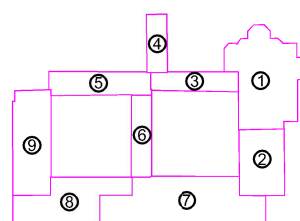


COM BASE NA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NO SIPA E NO RELATÓRIO PRÉVIO (CMO)

- Séc. XIII-XIV (1295-1305) - Construção do Mosteiro
- Séc. XIV (1348) - Construção Claustro Novo (?)
- Séc. XV (1425) - Fundação Capela D. Filipa
- Séc. XVI (1516-36) - Construção Claustro da Moura  
(1571) - Construção da loggia do frontespício (provável)
- Séc. XVIII - Reconstrução após sismo de 1755
- Séc. XX (1930-36) - Demolição e reconstrução Sacristia; reconstrução Absidiolo  
(1940-50) - Reconstrução ginásio

COM BASE NA COMPARAÇÃO DE PLANTAS (1883; 1929; 1944; EXISTENTE)

- Séc. XIX (1883) - Paredes "a construir" no projeto de alterações de 1883
- Séc. XIX-XX (1883-1929) - Alterações evidentes em planta entre 1883 e 1929
- Séc. XX (após 1944) - Alterações evidentes em planta entre 1944 e o presente

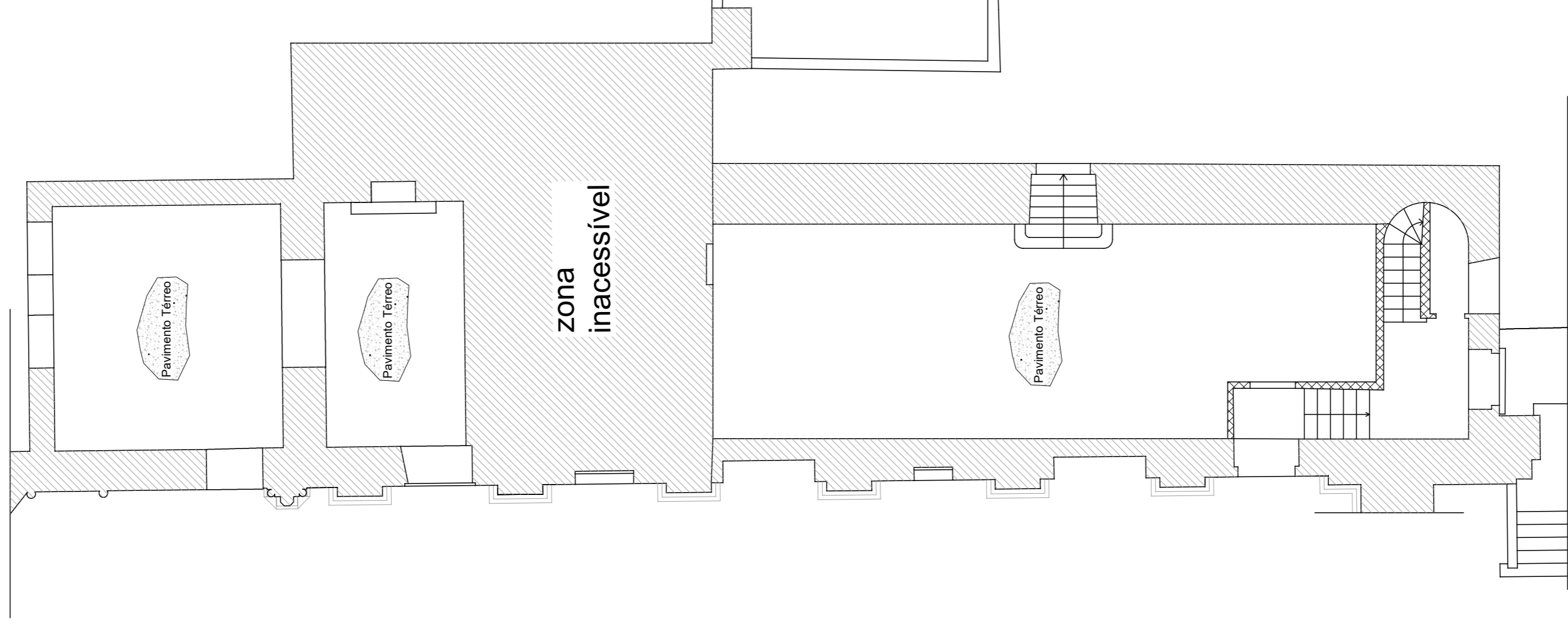
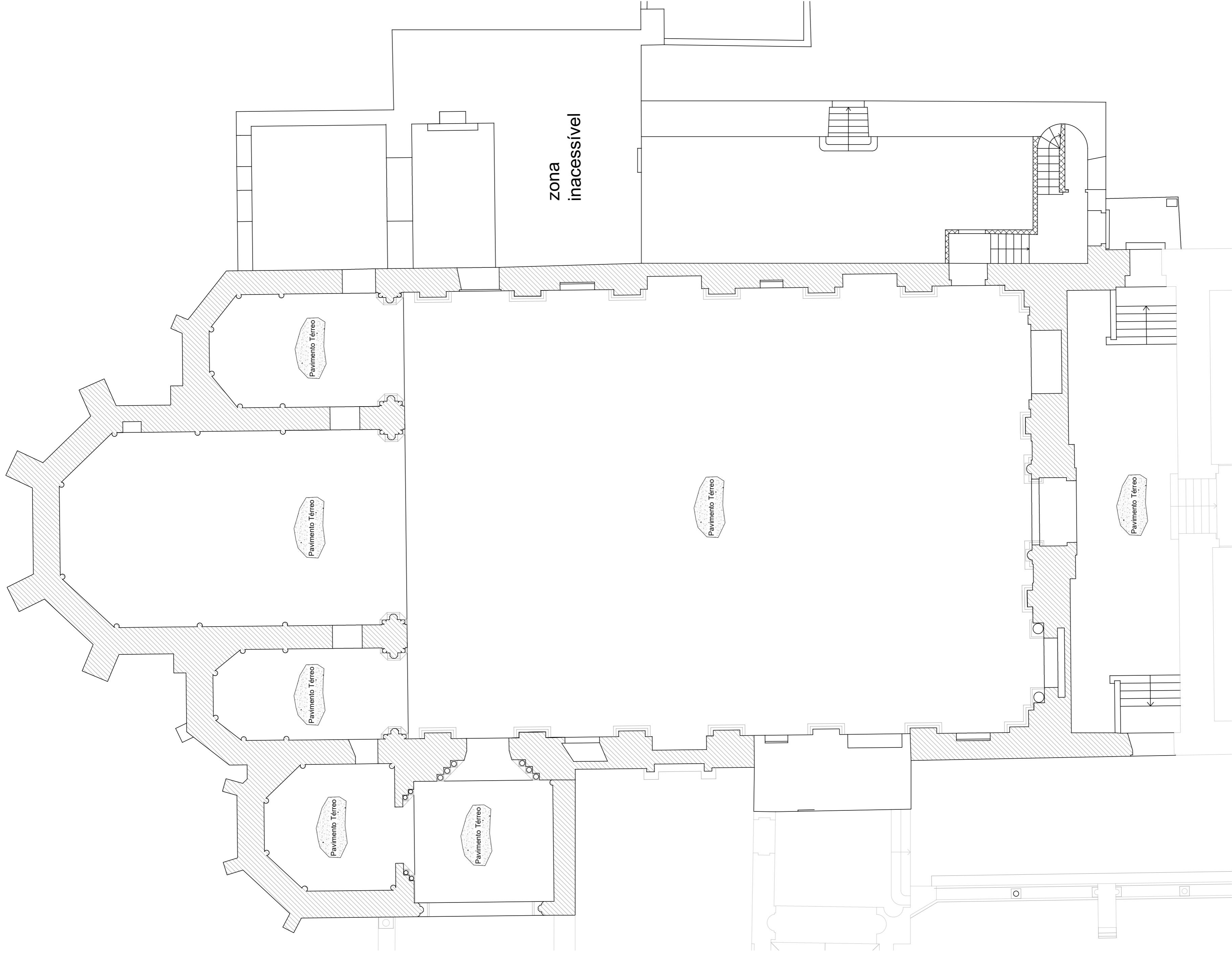


Planta do piso 2 (sem escala)

## **ANEXO II – MOSTEIRO DE ODIVELAS – PEÇAS DESENHADAS**

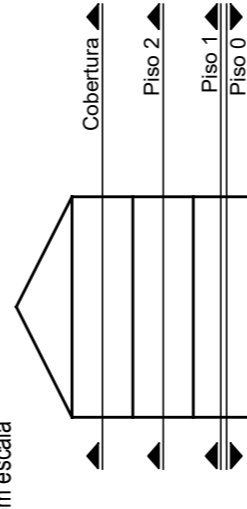






Nível de corte das plantas estruturais

Sem escada



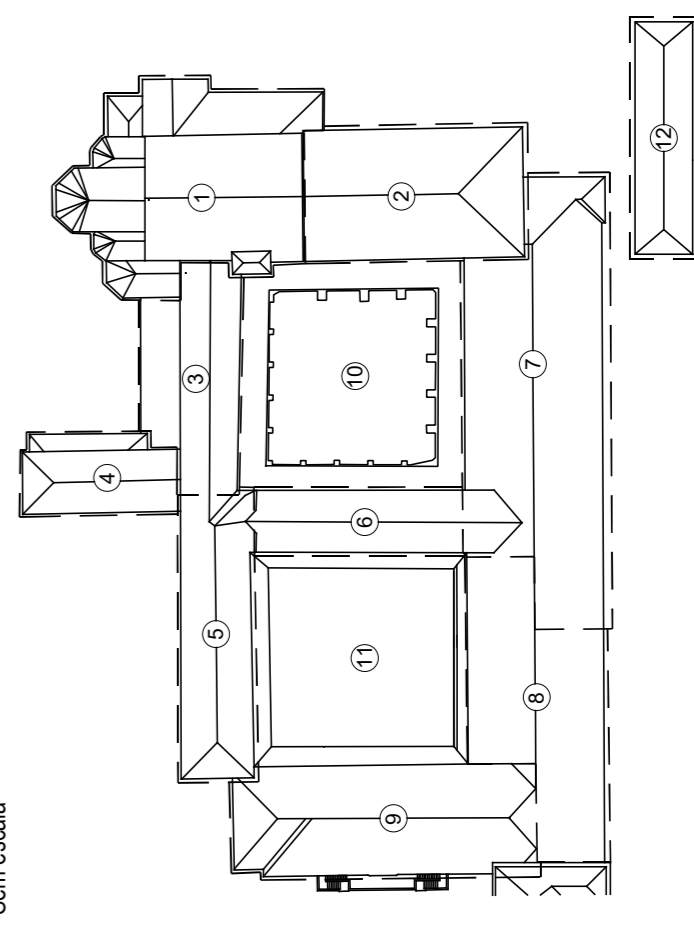
Legenda

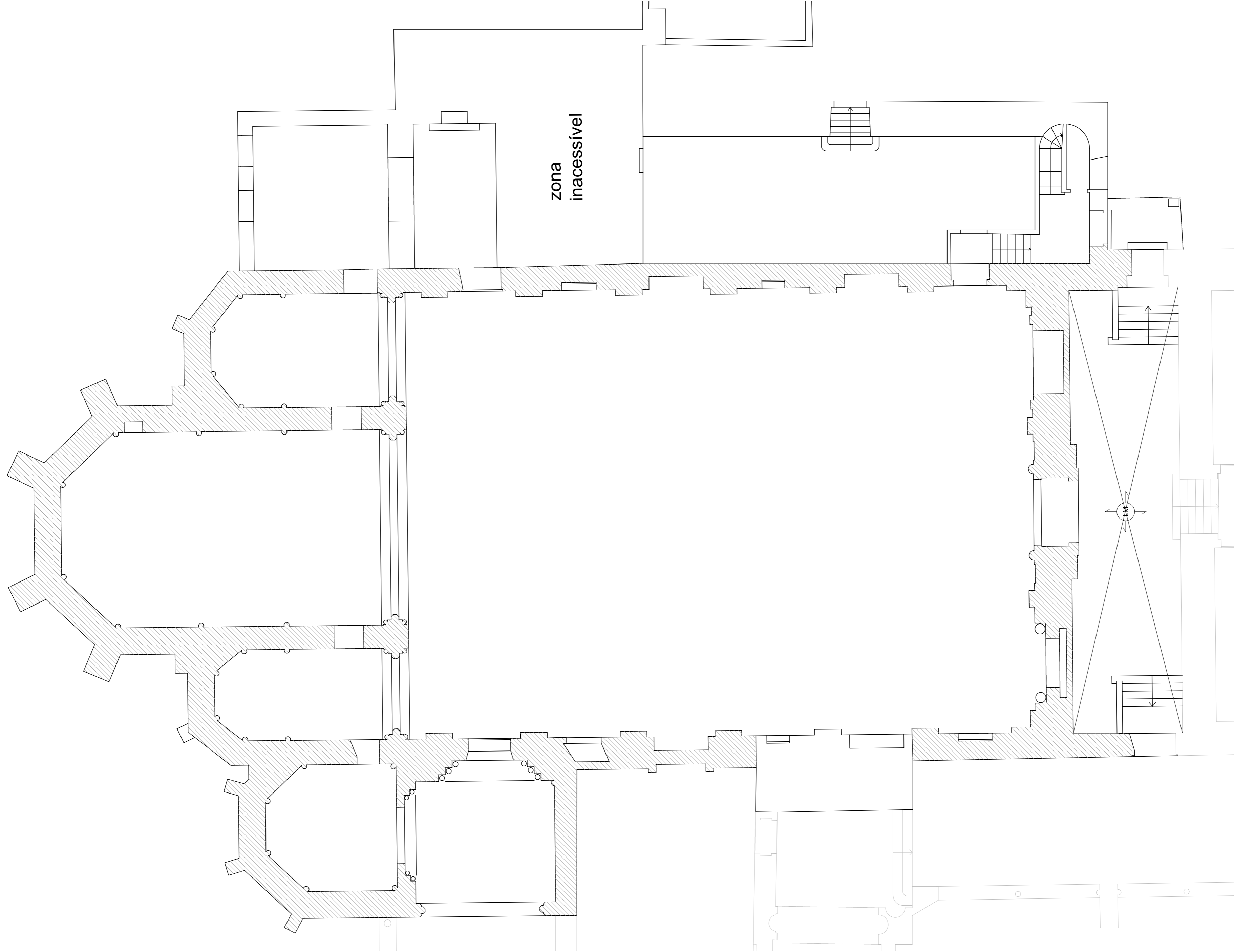
- Parede de alvenaria de pedra existente
- ▨ Elemento de betão armado
- ▤ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- ▥ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)

- SPV / - Janela de sondagem em parede
- SVV / - Janela de sondagem em viga
- SLV / - Janela de sondagem em laje
- SPAV / - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CV / - Extração de corete de betão
- M+ - Enraso de maticos planos

Identificação dos diferentes corpos

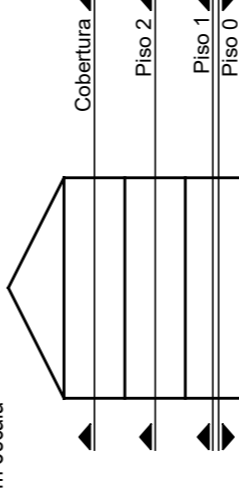
Sem escada





### Nível de corte das plantas estruturais

Sem escada



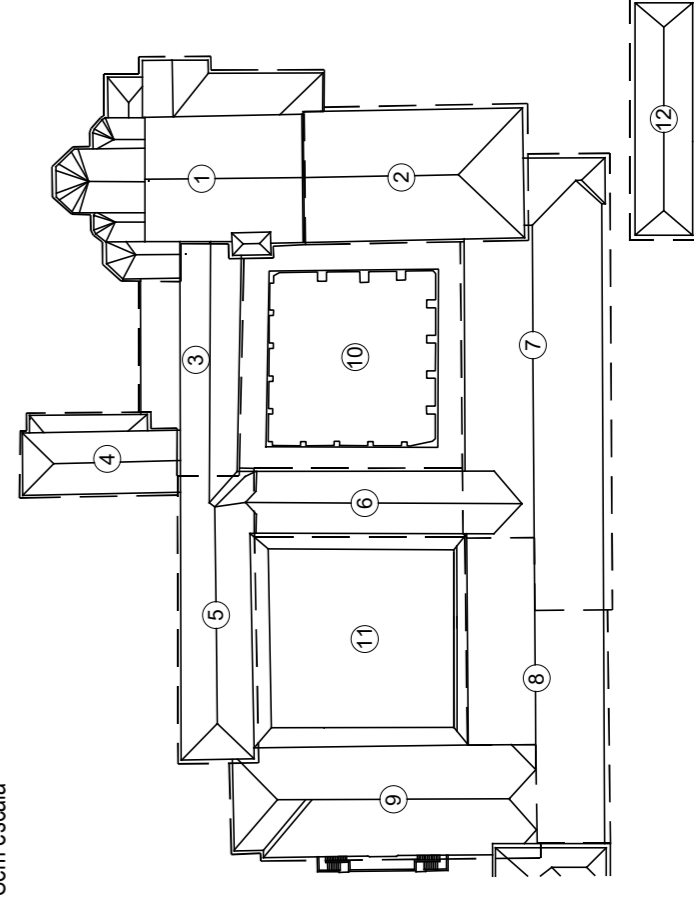
### Legenda

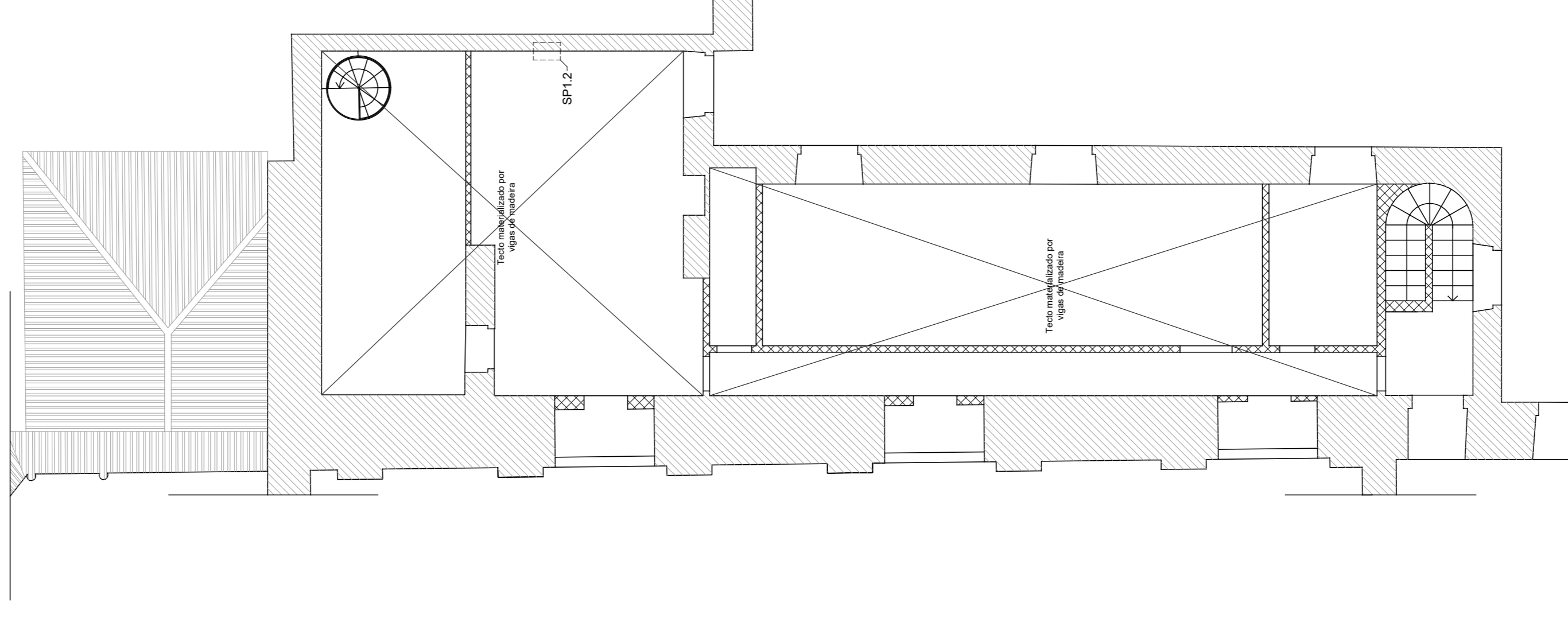
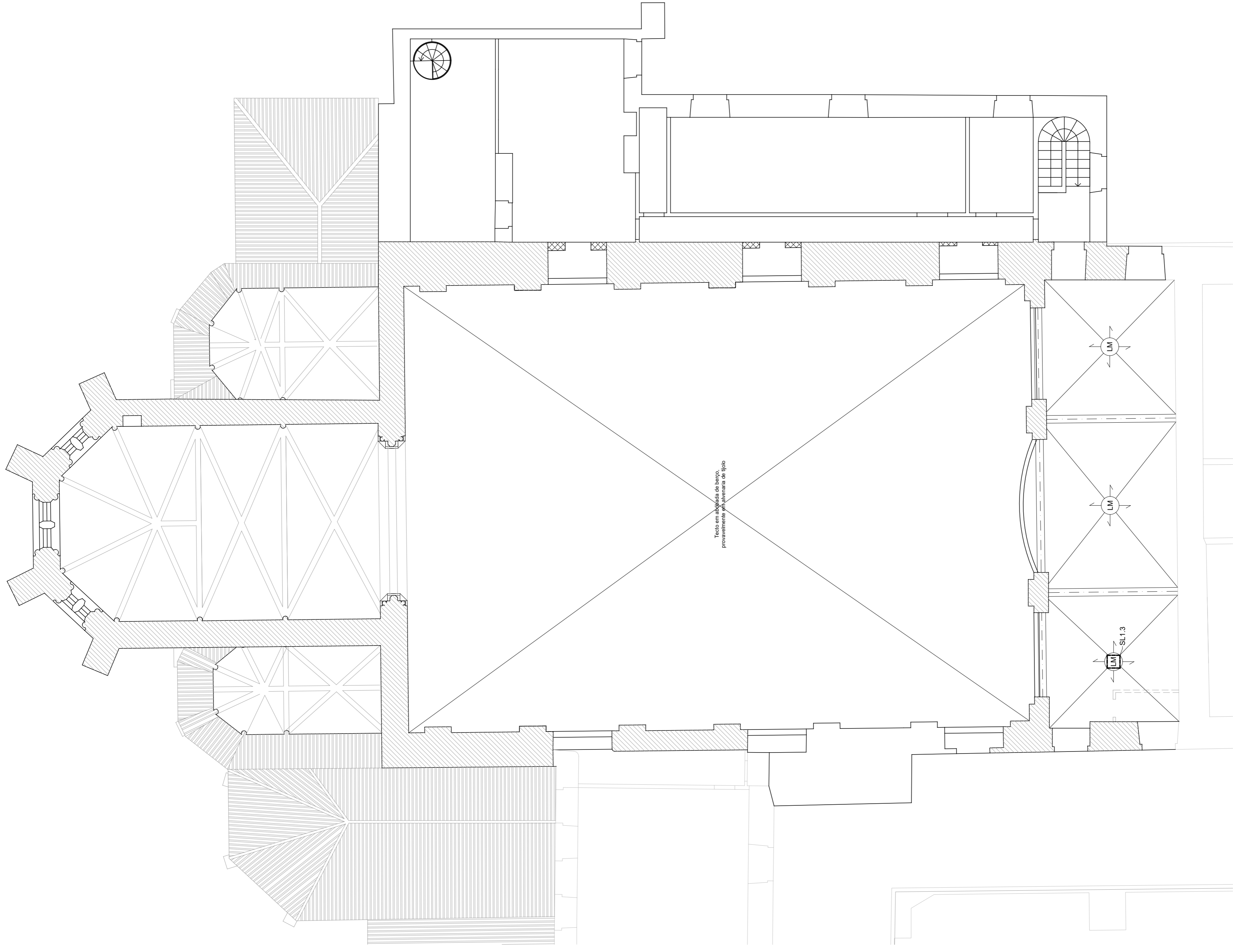
- Parque de alvenaria de pedra existente
- Elemento de betão armado
- Parque de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parque de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)

- SPV / - Janela de sondagem em parede
- SV / J - Janela de sondagem em viga
- SL / J - Janela de sondagem em laje
- SPAV / J - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CI / - Extração de carote de betão
- M - Ensaio de mapeamento

### Identificação dos diferentes corpos

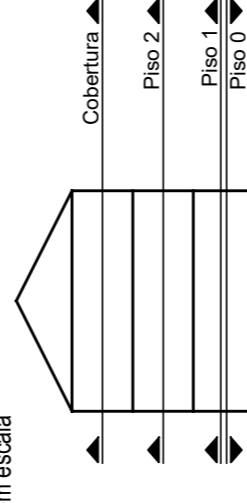
Sem escada





Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



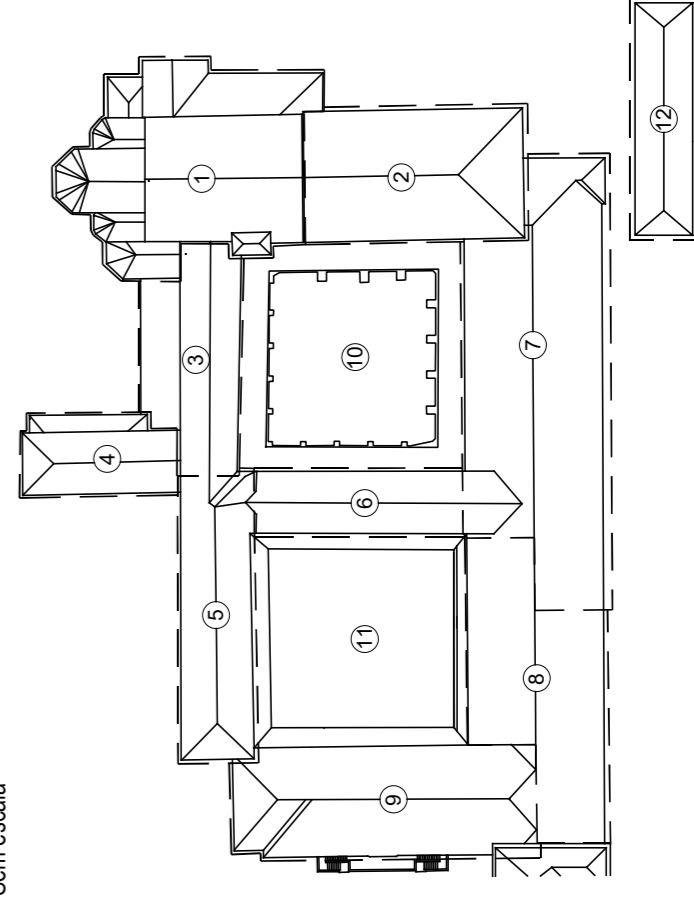
Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- ▨ Elemento de betão armado
- ▤ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- ▥ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)

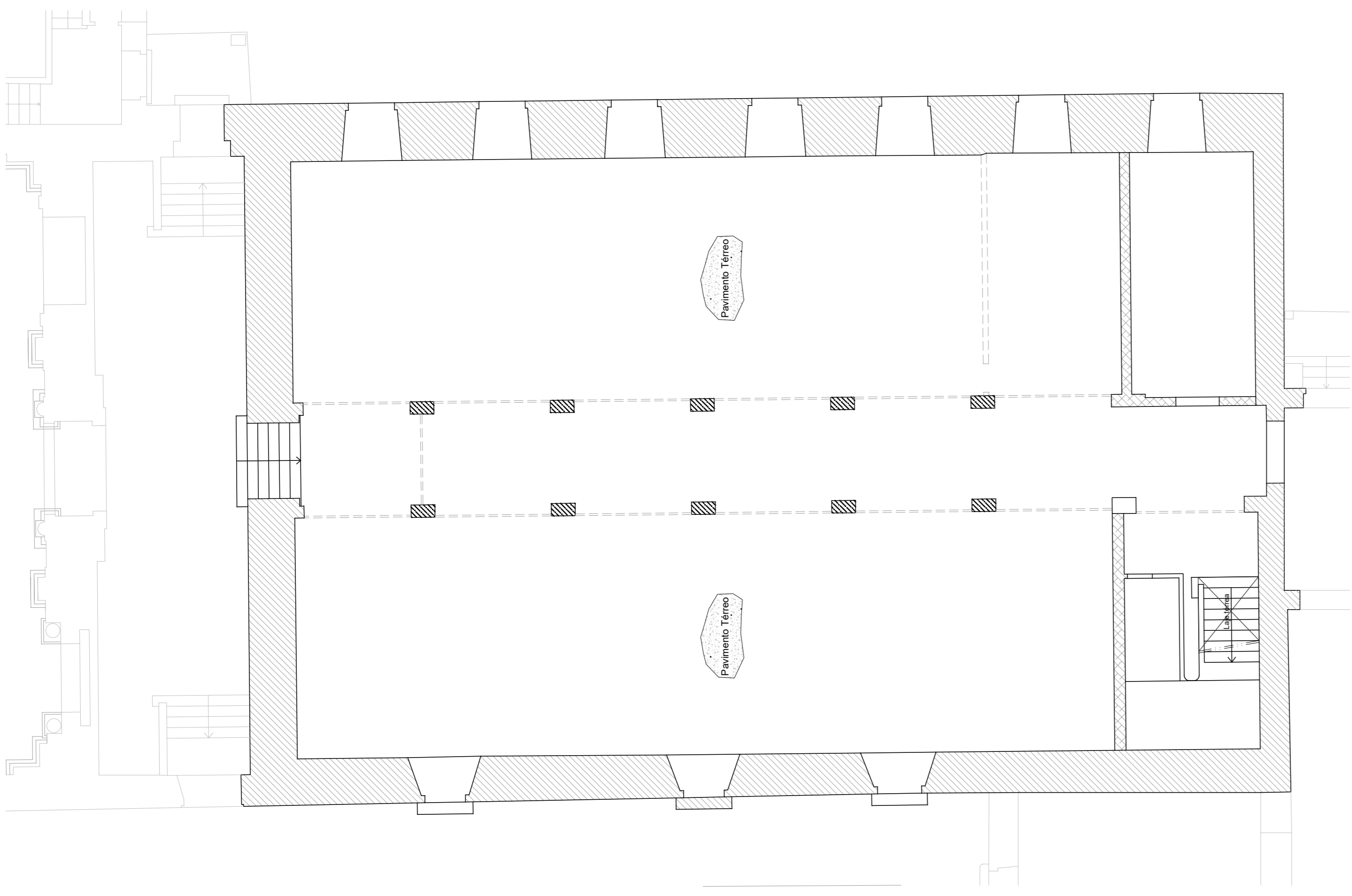
- SP1 / - Janela de sondagem em parede
- SV1 / - Janela de sondagem em viga
- SL1 / - Janela de sondagem em laje
- SPAV1 / - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CI / - Extração de coreto de betão
- M+ - Enraso de maticos planos

Identificação dos diferentes corpos

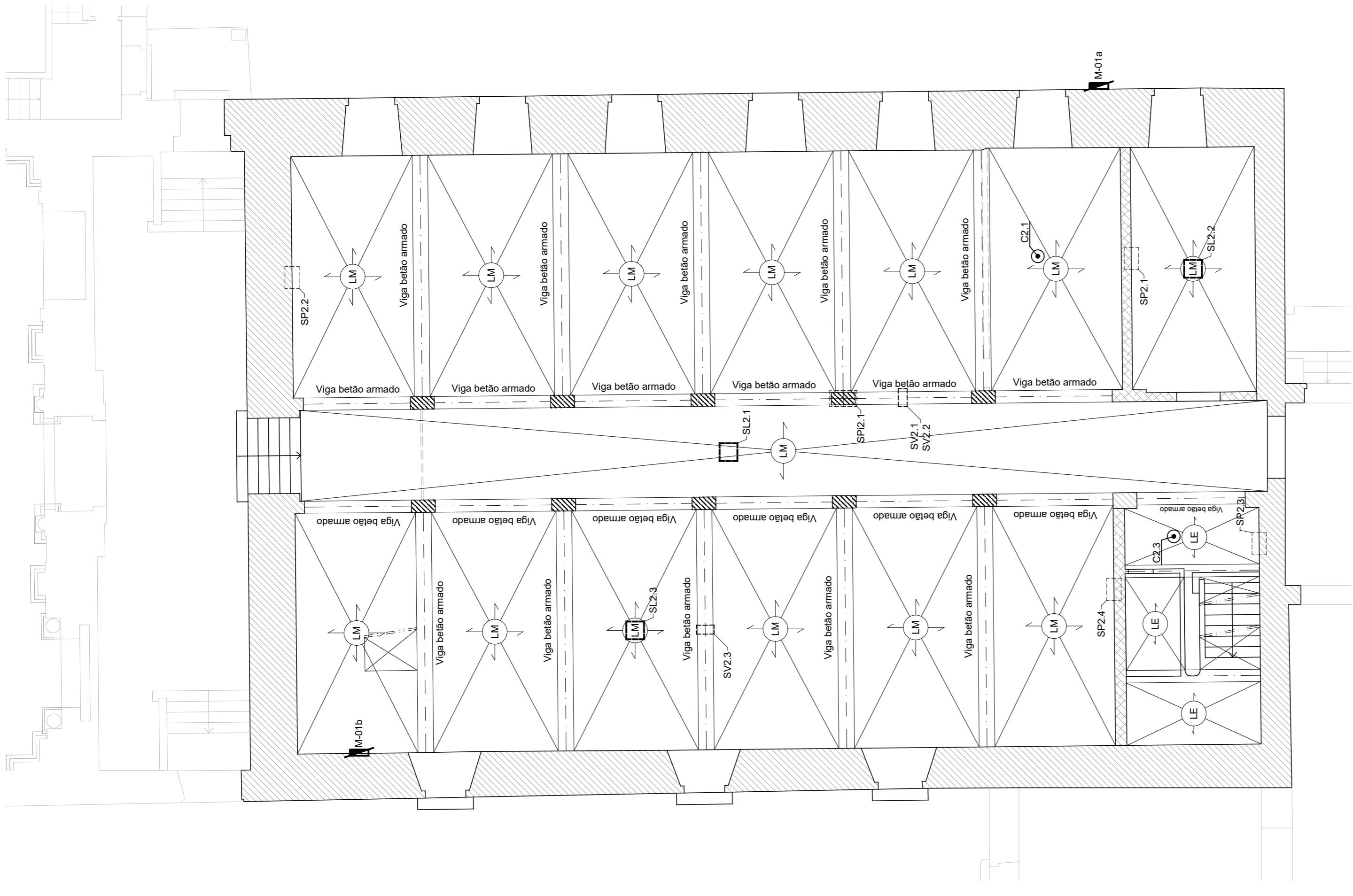
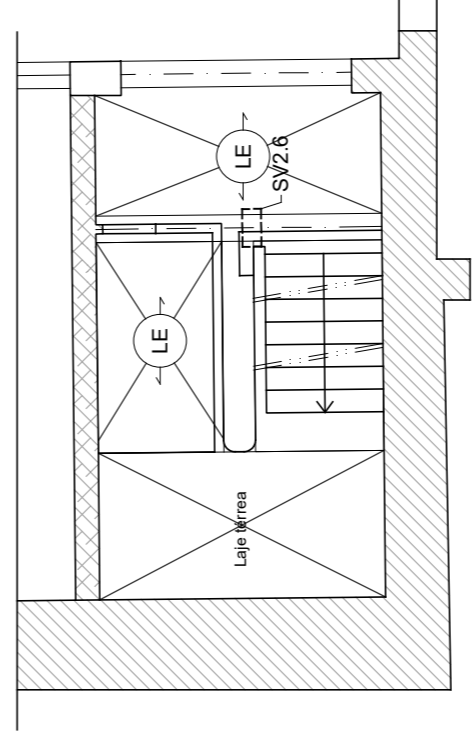
Sem escala



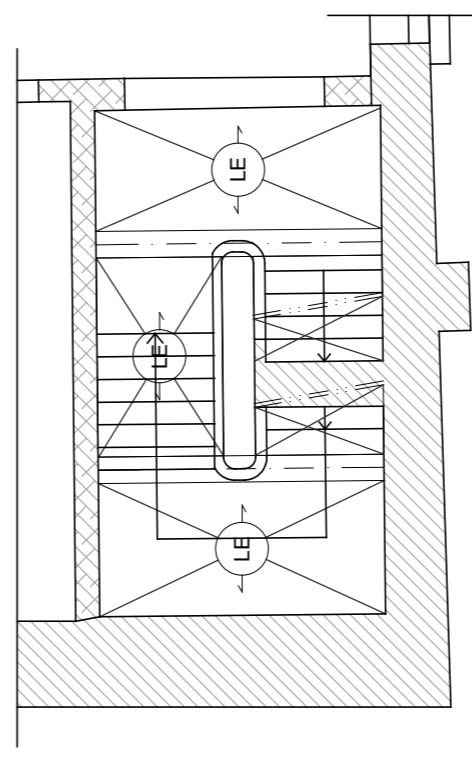




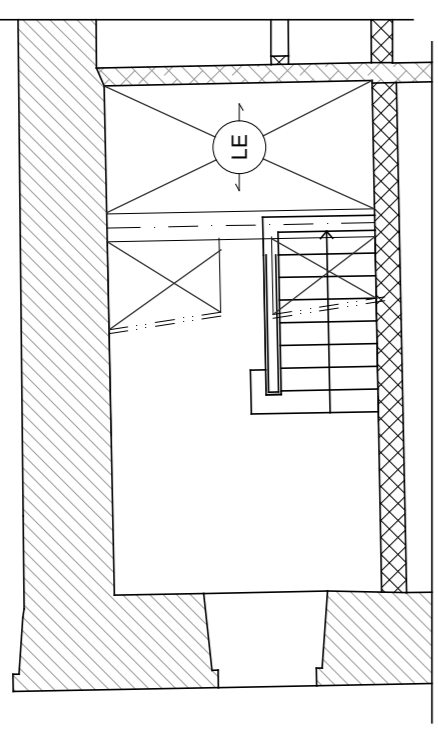
Patamar intermédio entre o piso 0 e piso 1



Patamar intermédio entre o piso 1 e piso 2

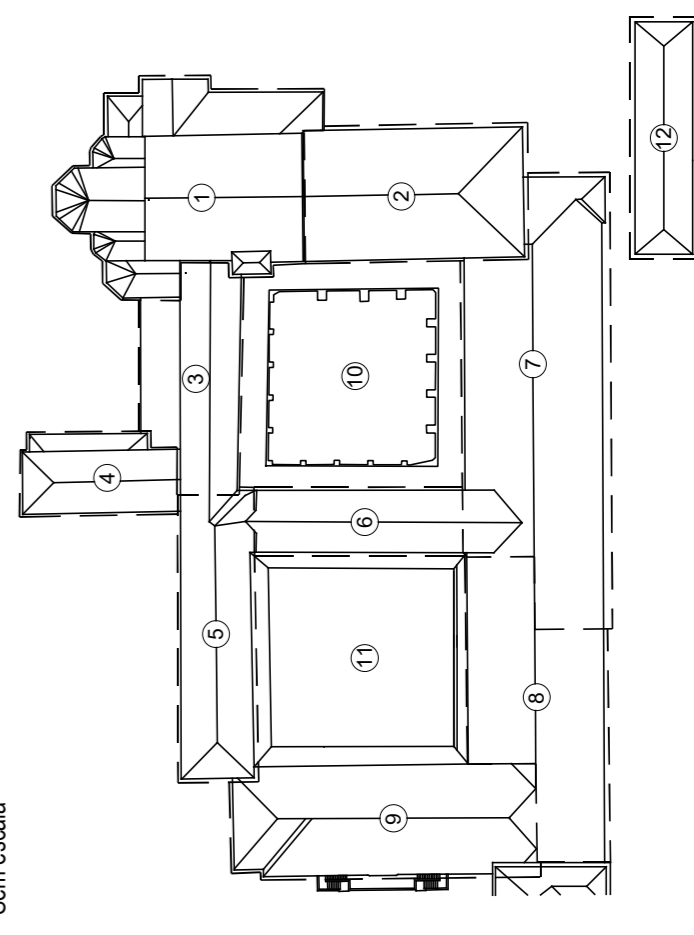


Patamar intermédio entre o piso 1 e piso 2



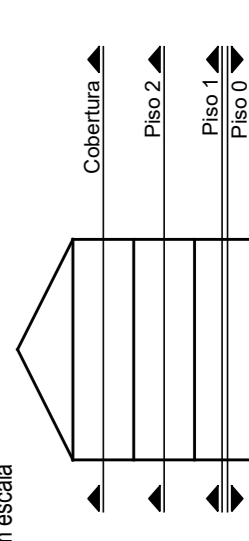
Identificação dos diferentes corpos

Sem escala

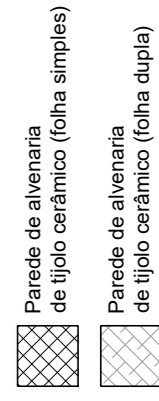


Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala

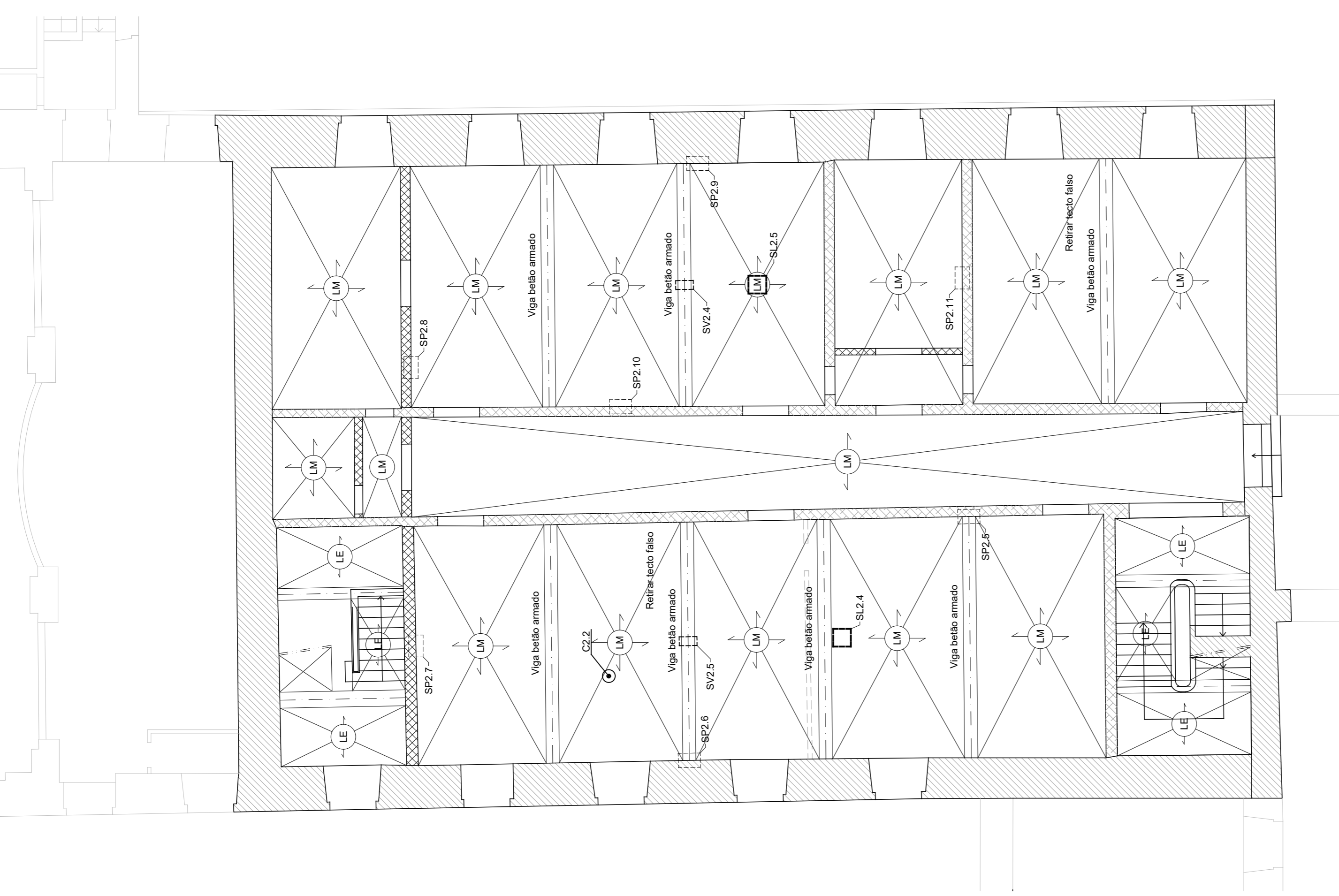


Legenda

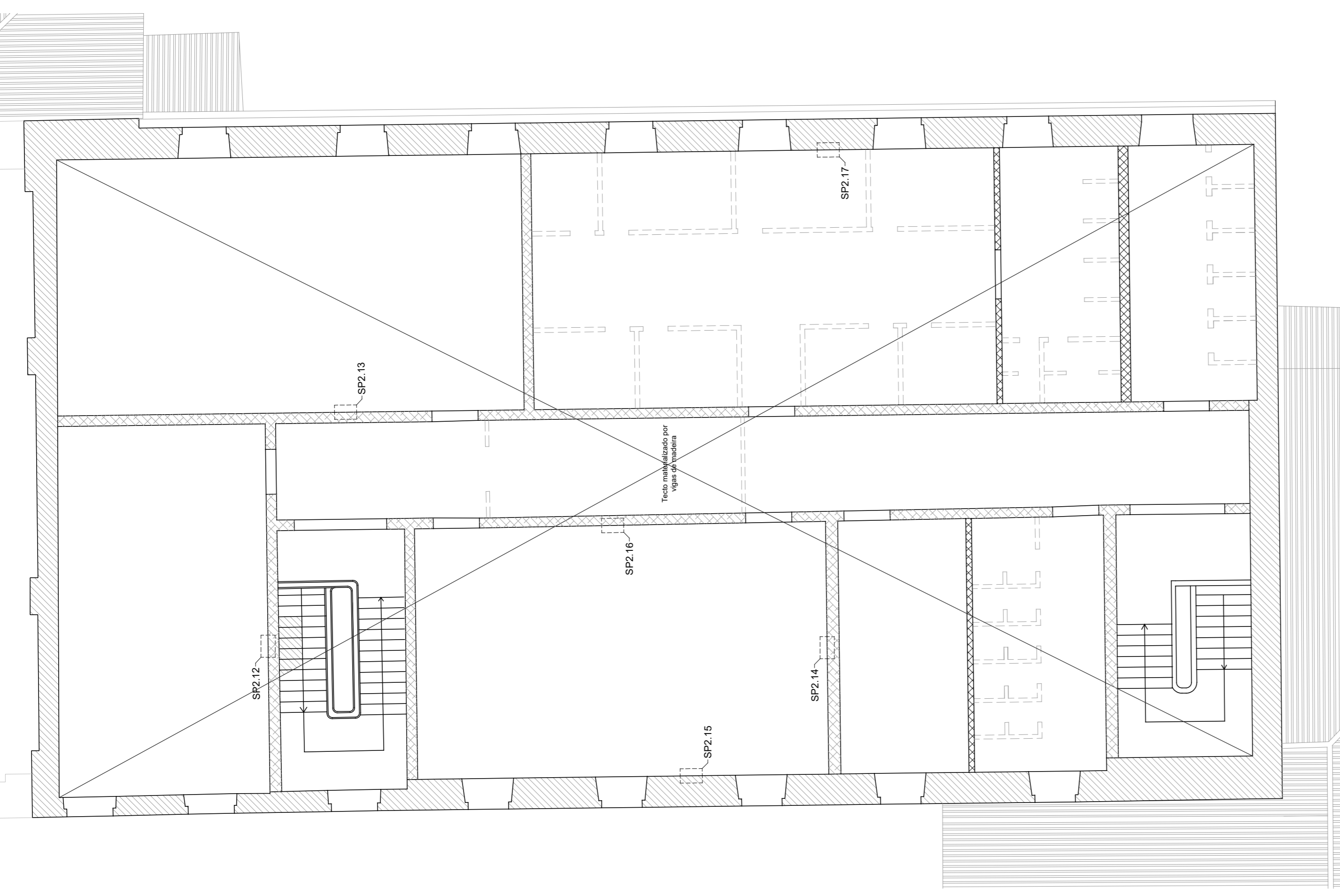


- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- ▨ Elemento de betão armado
- SPJ - Janela de sondagem em parede
- SVJ - Janela de sondagem em viga
- SVL - Janela de sondagem em laje
- SVZ - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CH - Encaixe de madeira
- M - Encaixe de madeira

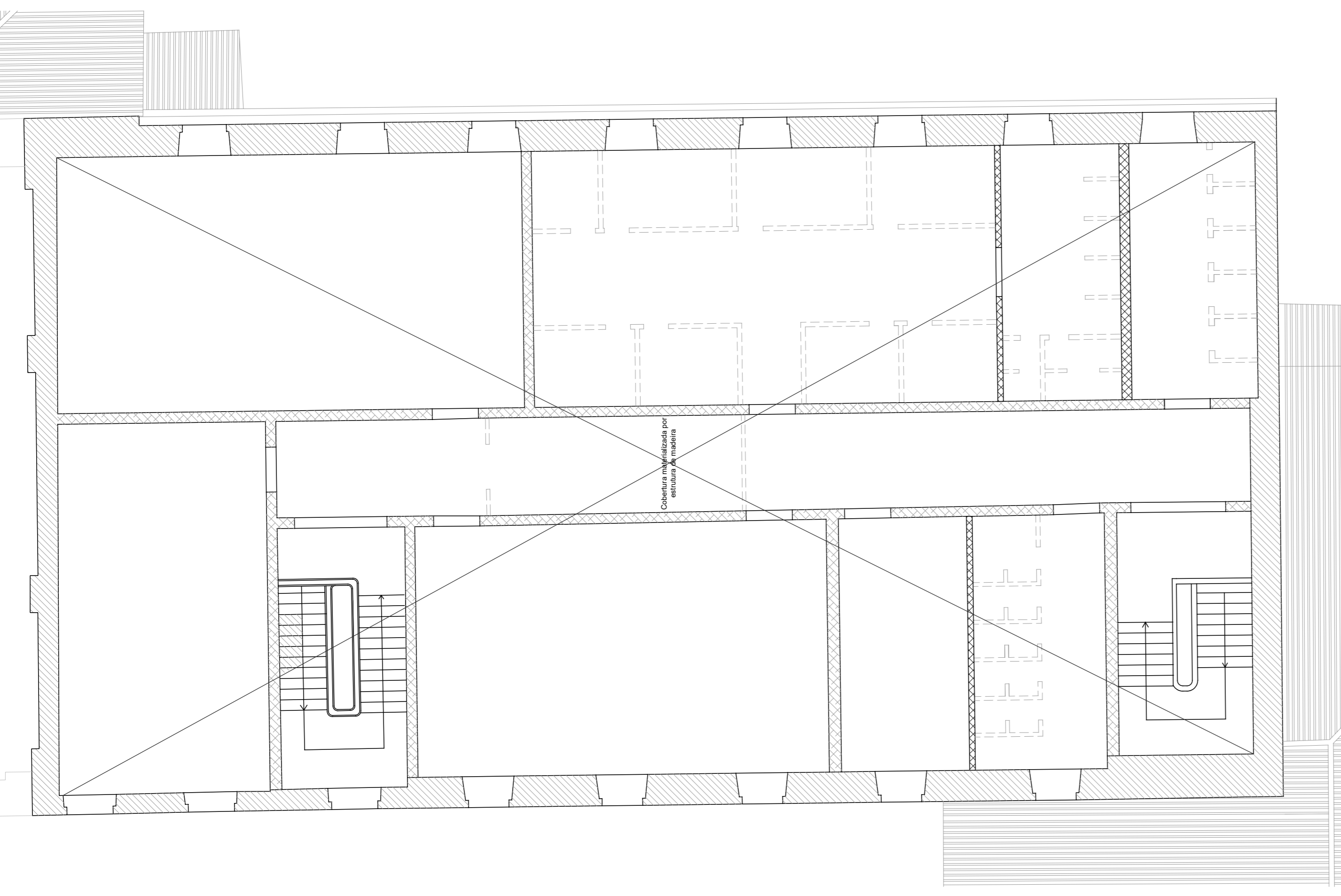
Corpo 2 | levantamento estrutural do piso 2  
Esc. 1:100



Corpo 2 | levantamento estrutural do tecto do piso 2  
Esc. 1:100



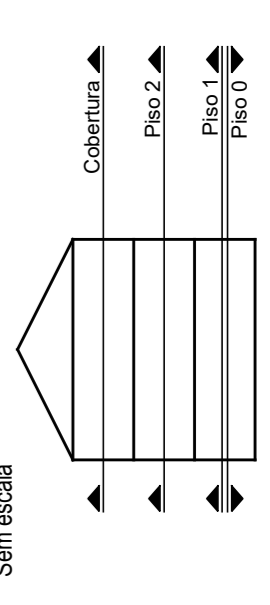
Corpo 2 | levantamento estrutural da cobertura  
Esc. 1:100



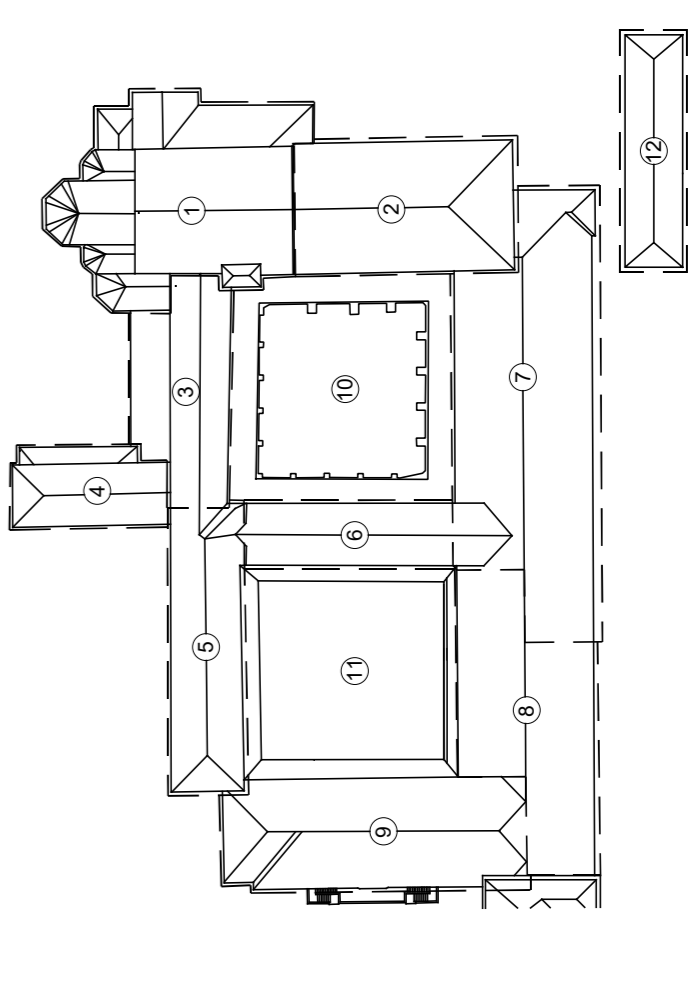
**Legenda**

- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- Elemento de betão armado
- SPJ - Janela de sondagem em parede
- SVJ - Janela de sondagem em laje
- SVLJ - Janela de sondagem em laje com reforço
- CL - Elemento de betão armado
- LM - Elemento de betão armado
- SL - Elemento de betão armado

**Nível de corte das plantas estruturais**



**Identificação dos diferentes corpos**  
Sem escala



OBRA	Moitinho S. Dias - Odivelas	DATA	05/2021	FASE DO PROJECTO	RID	
PROPOSTA	CONCEÇÃO	VERIFICADO	AC. BD	ESCALA	1:100	
PROJECTO	VERIFICADO	AC. BD	ESCALA	1:100	REV. N°	
PROPOSTA	CONCEÇÃO	VERIFICADO	AC. BD	ESCALA	1:100	REV. N°
PROJECTO	VERIFICADO	AC. BD	ESCALA	1:100	REV. N°	

Corpo 2 | Planta estrutural do piso 2, tecto do piso 2 e cobertura

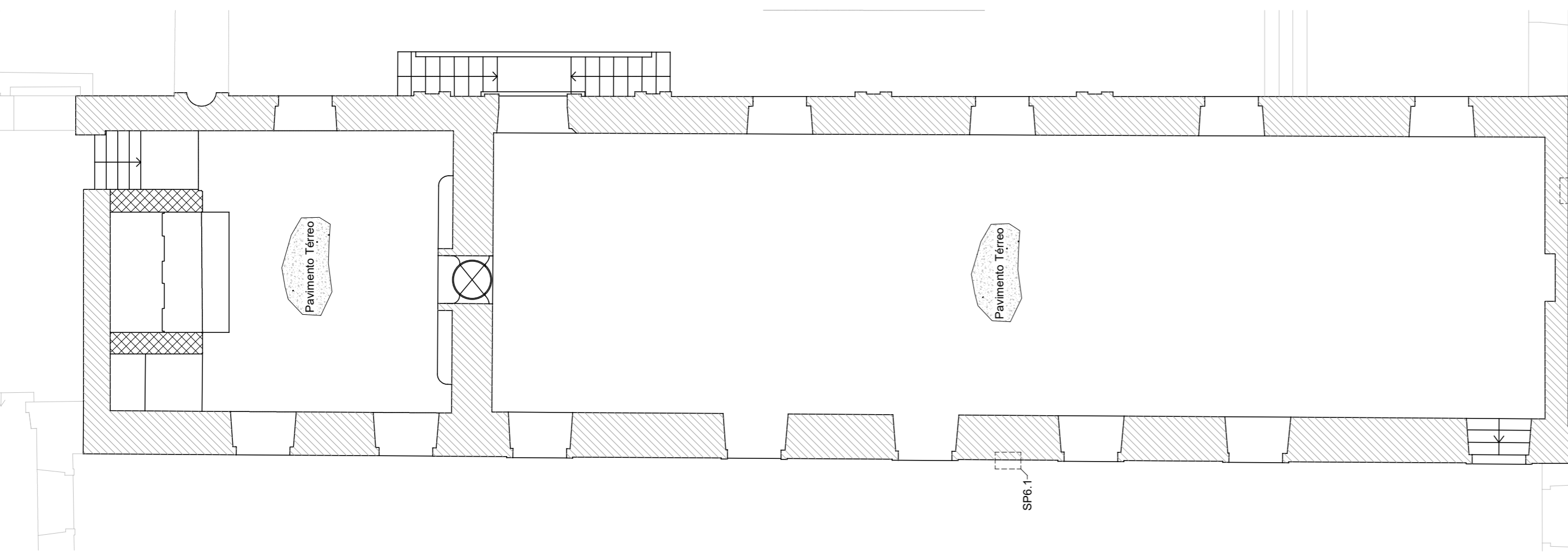
PROJECTO: JS, RS  
VERIFICADO: AC, BD  
AC. BD: AC, BD  
AC. BD: AC, BD

Atenção: A verificação de todos os elementos estruturais e demais parâmetros deve ser realizada em conformidade com o Regulamento de Segurança das Edificações e demais normas técnicas aplicáveis.

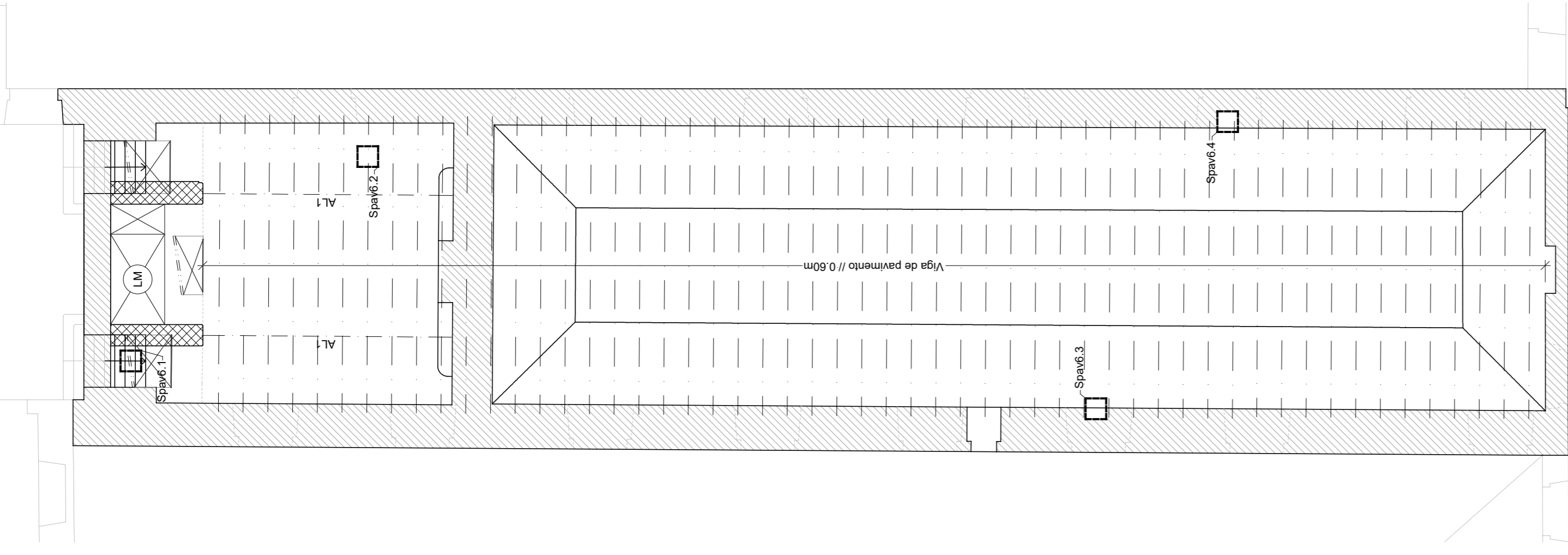
Reprodução total ou em parte sem autorização do autor é proibida e poderá ser considerada crime.

NCR EP

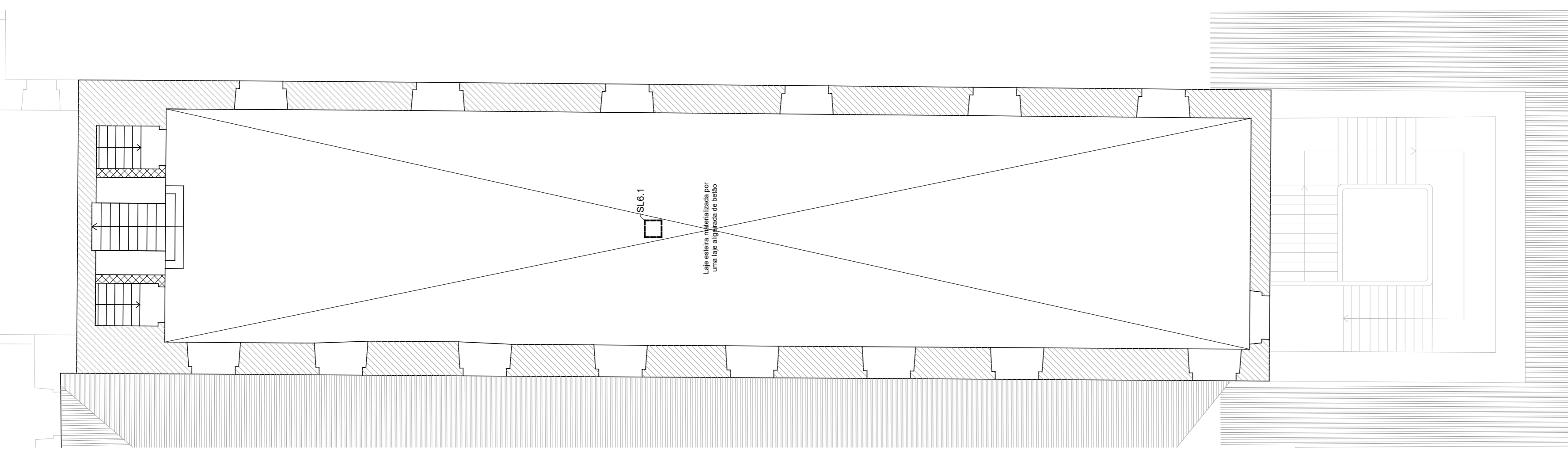
Corpo 6 | levantamento estrutural do piso 0  
Esc. 1:100



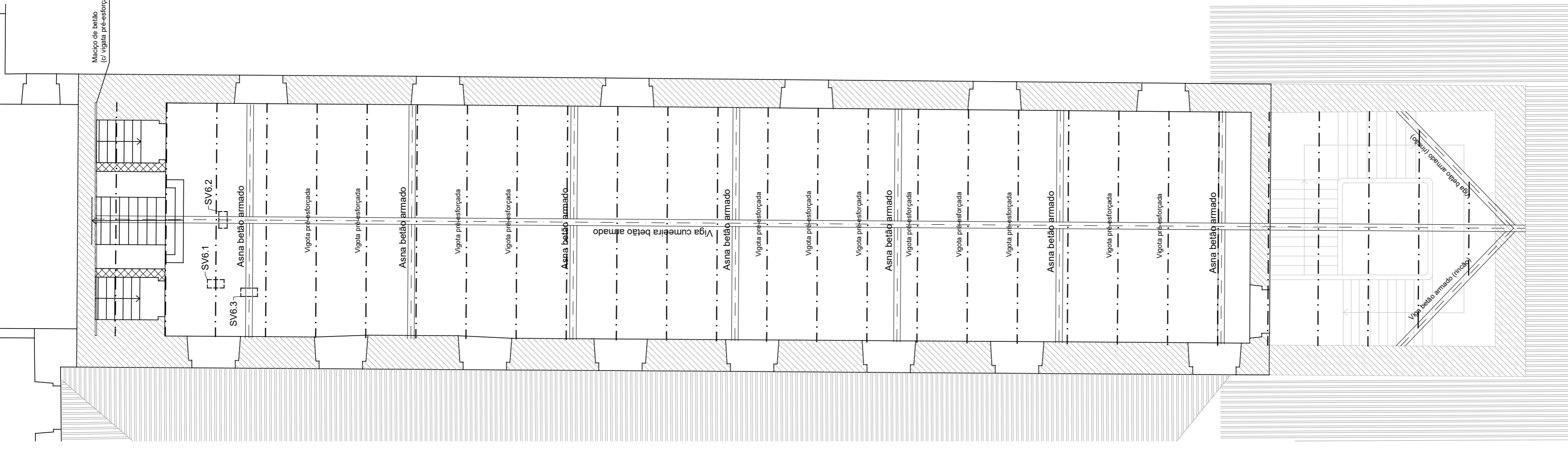
Corpo 6 | levantamento estrutural do piso 1  
Esc. 1:100



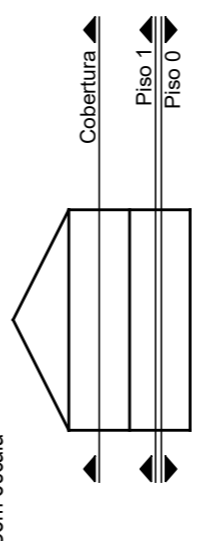
Corpo 6 | levantamento estrutural do tecto do piso 1  
Esc. 1:100



Corpo 6 | levantamento estrutural da cobertura  
Esc. 1:100



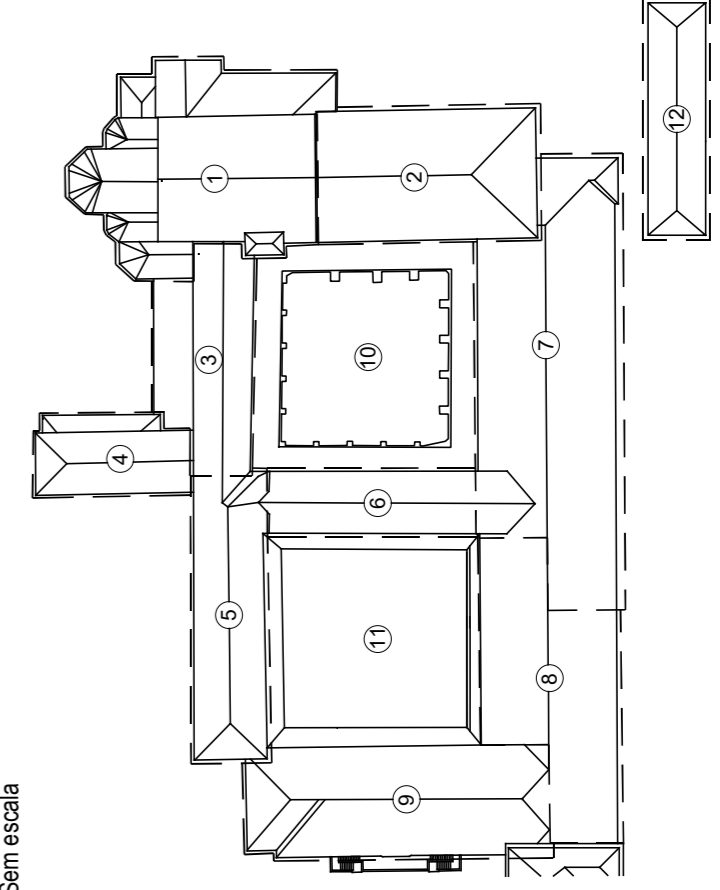
Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala

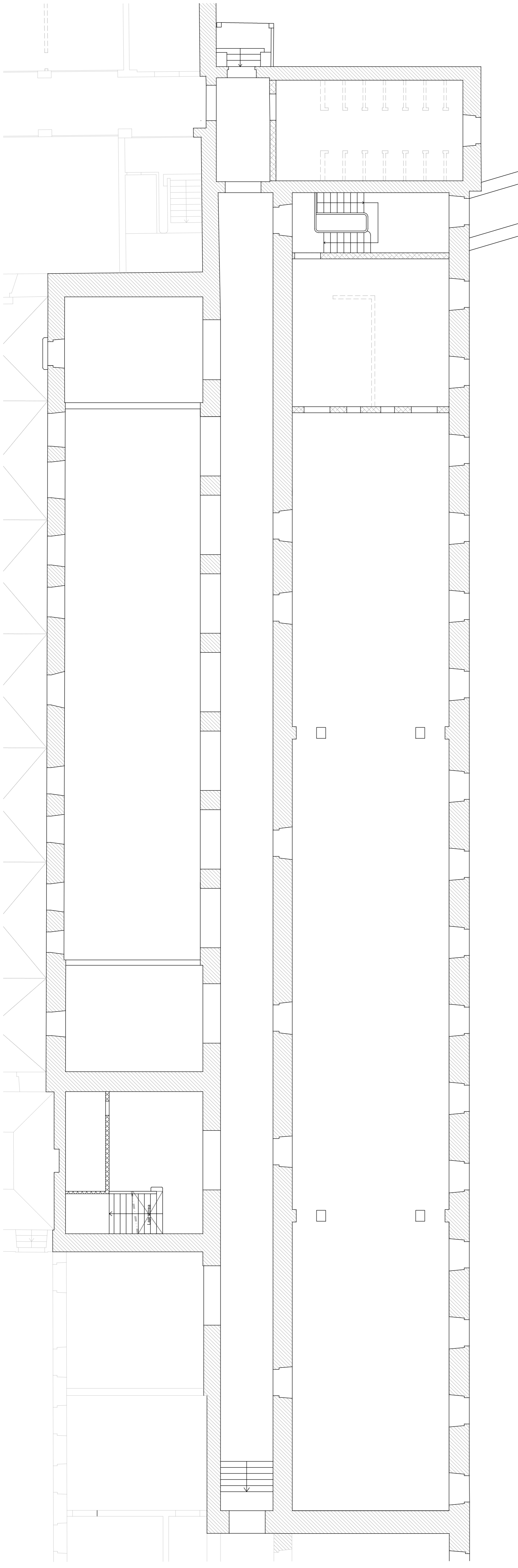


Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- Elemento de betão armado
- SPJ / - Janela de sondagem em parede
- SVJ / - Janela de sondagem em viga
- SLJ / - Janela de sondagem em laje
- SPVJ / - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CJ / - Extração de caroto de betão
- M+ - Enraso de maticos planos

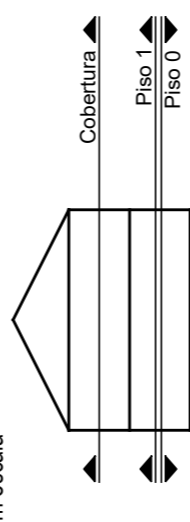
Identificação dos diferentes corpos  
Sem escala





Nível de corte das plantas estruturais

Sem escada



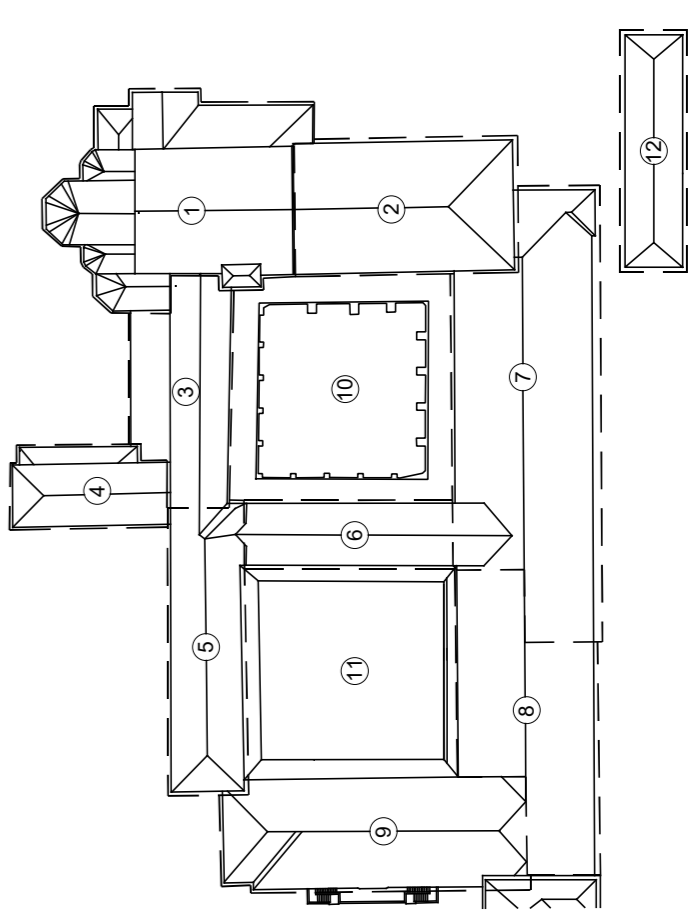
Legenda

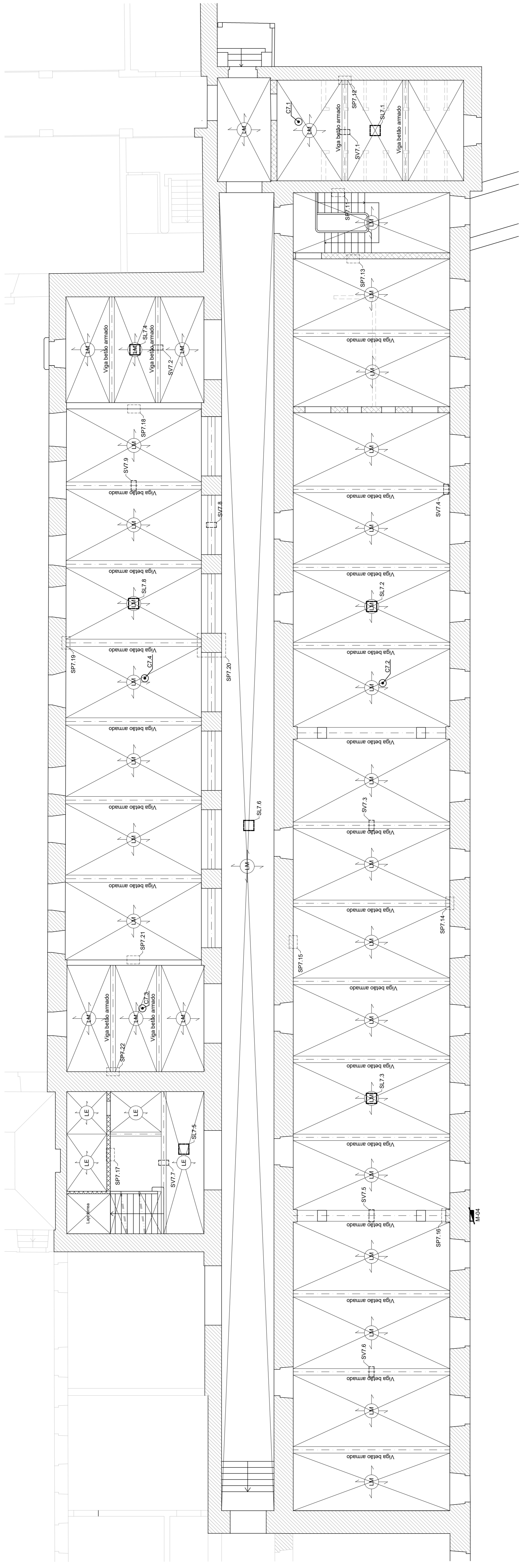
- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- Elemento de betão armado

- SPV / - Janela de sondagem em parede
- SVV / - Janela de sondagem em viga
- SLV / - Janela de sondagem em laje
- SPAV / - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- C / - Extração de carote de betão
- M - Ensaio de mactões pilares

Identificação dos diferentes corpos

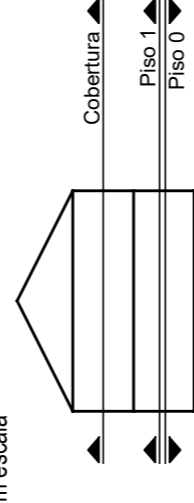
Sem escada



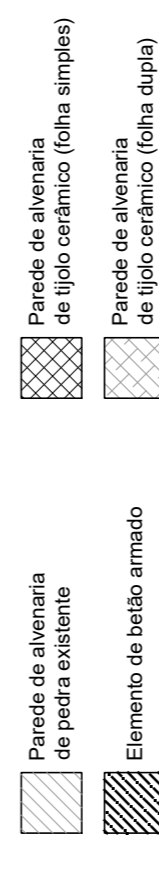


Nível de corte das plantas estruturais

Sem escada



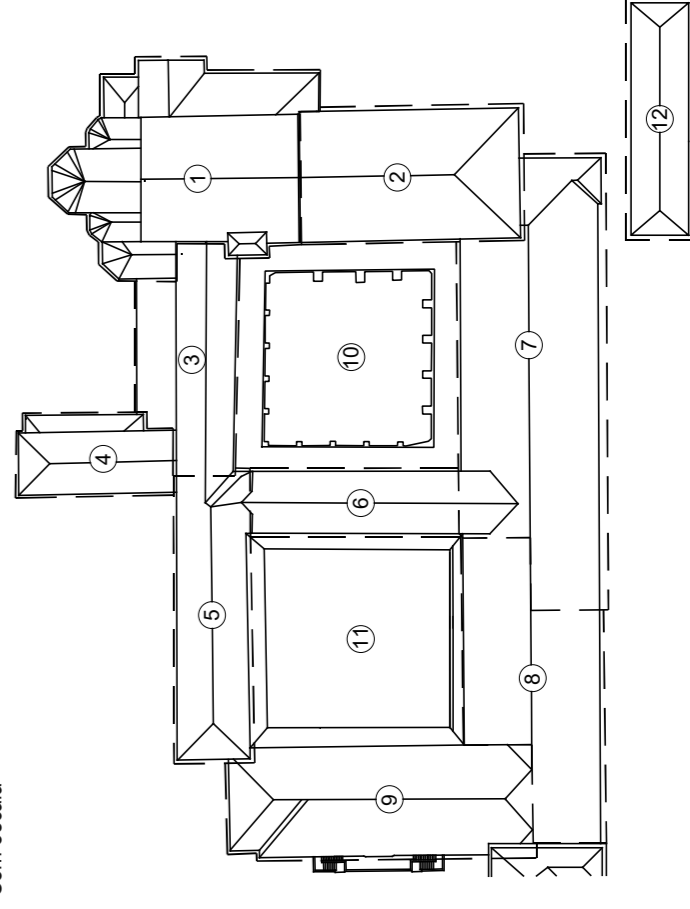
Legenda

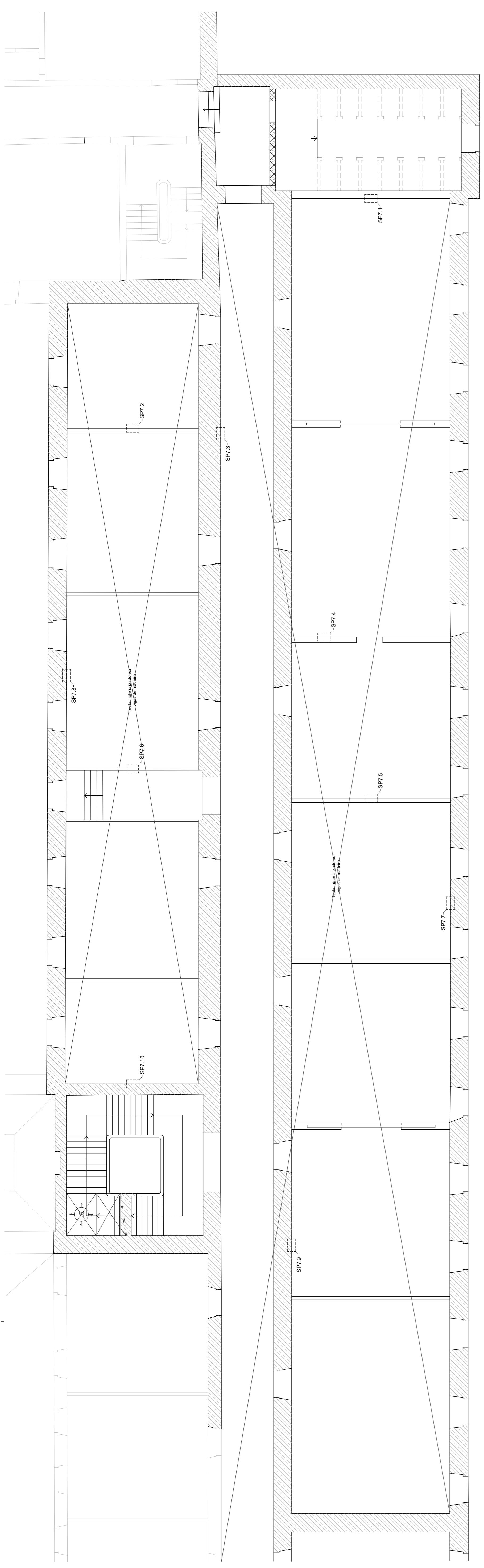


SP1/- Janela de sondagem em parede  
 SV1/- Janela de sondagem em viga  
 SL1/- Janela de sondagem em laje  
 SPav/- Janela de sondagem em pavimento de madeira  
 C1/- Extração de carote de betão  
 M+ - Enraso de maticos planos

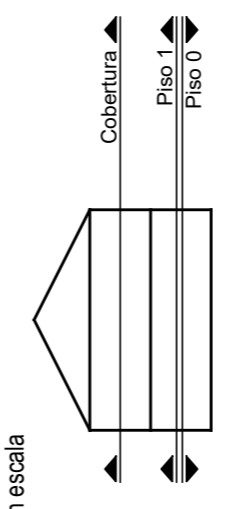
Identificação dos diferentes corpos

Sem escada





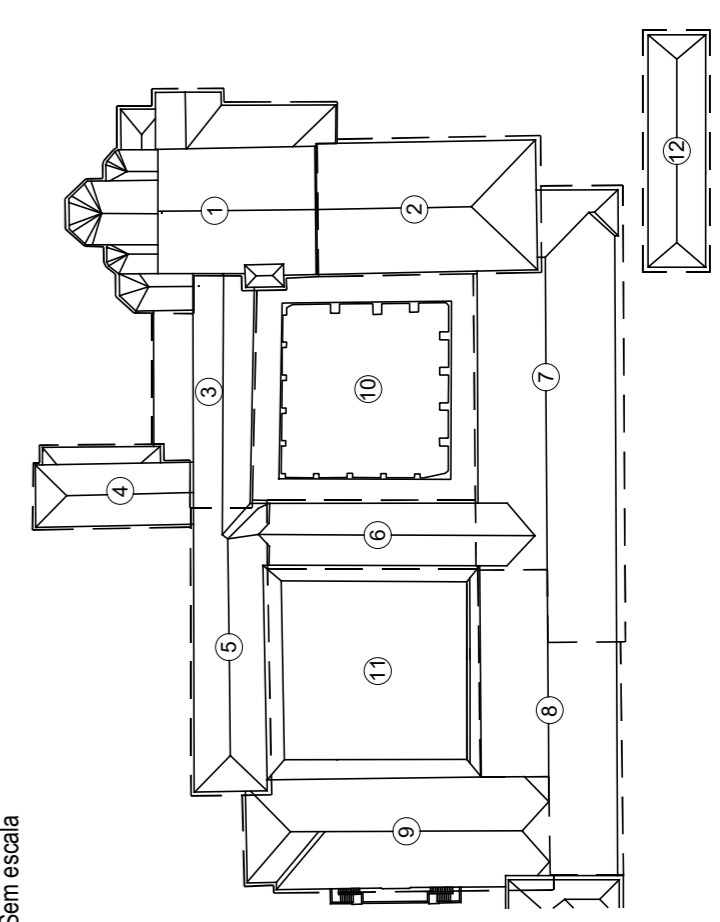
Nível de corte das plantas estruturais

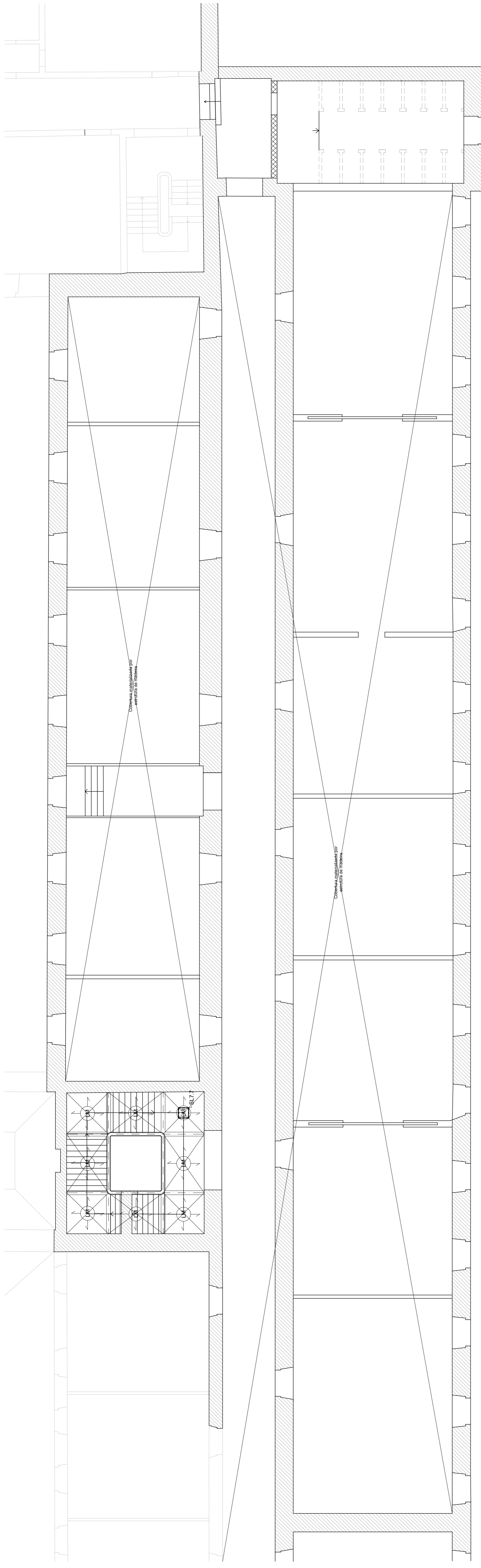


Legenda

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |  |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--|--------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Parede de alvenaria de pedra existente |  | Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Elemento de betão armado               |  | Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha curva)   |
| <p>SP1/- Janela de sondagem em parede<br/>                 SV1/- Janela de sondagem em viga<br/>                 SL1/- Janela de sondagem em laje<br/>                 SPav1/- Janela de sondagem em pavimento de madeira<br/>                 C1/- Extração de carote de betão<br/>                 M1/- Ensaio de mactores planos</p> |                                        |  |                                                        |

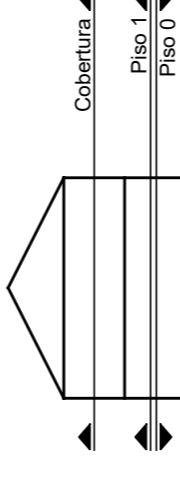
Identificação dos diferentes corpos





Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



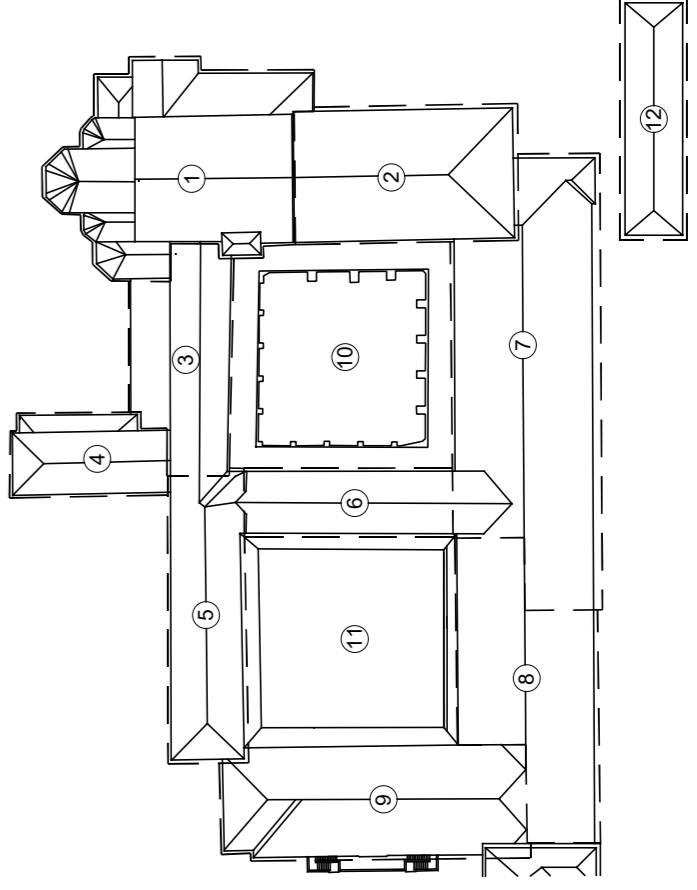
Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- Elemento de betão armado

- SPI / - Janela de sondagem em parede
- SV / J - Janela de sondagem em viga
- SL / J - Janela de sondagem em laje
- SPAV / J - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- C / J - Extração de carote de betão
- M - Ensaio de maticos planos

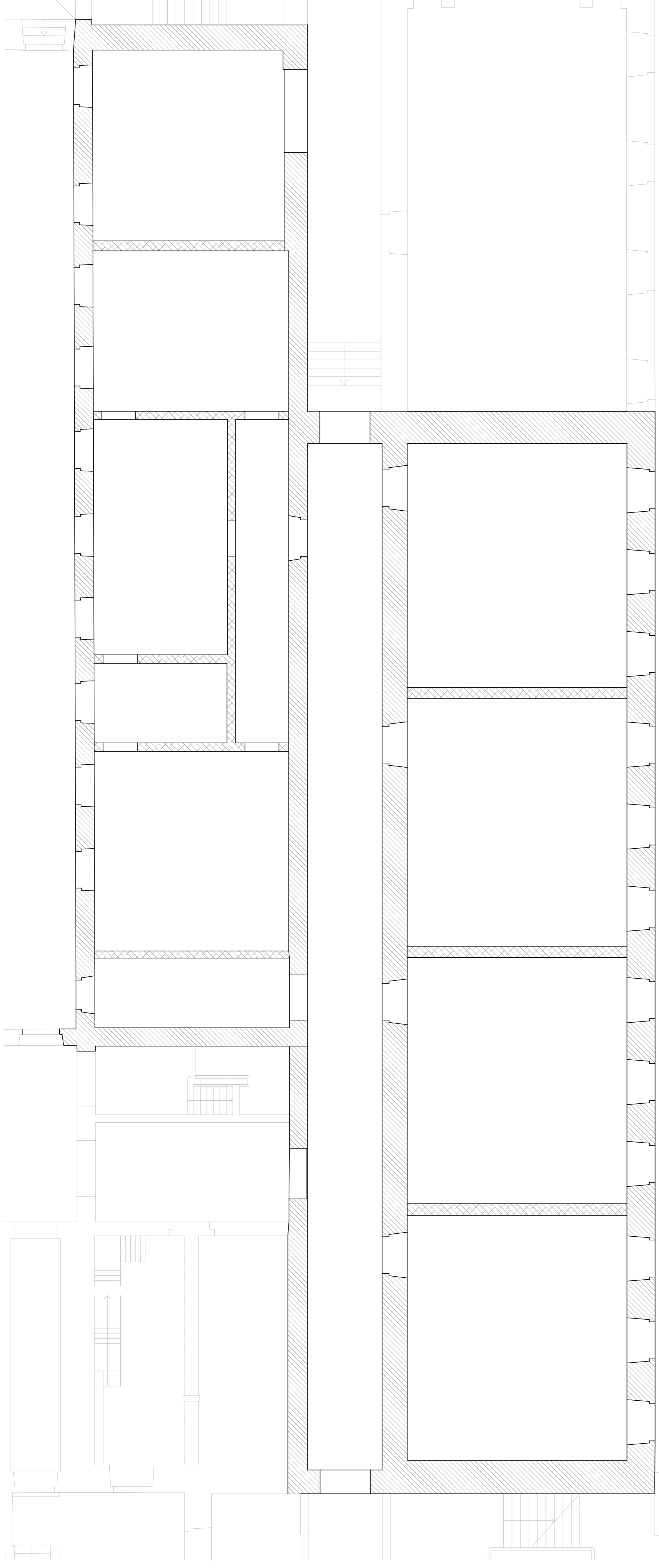
Identificação dos diferentes corpos

Sem escala



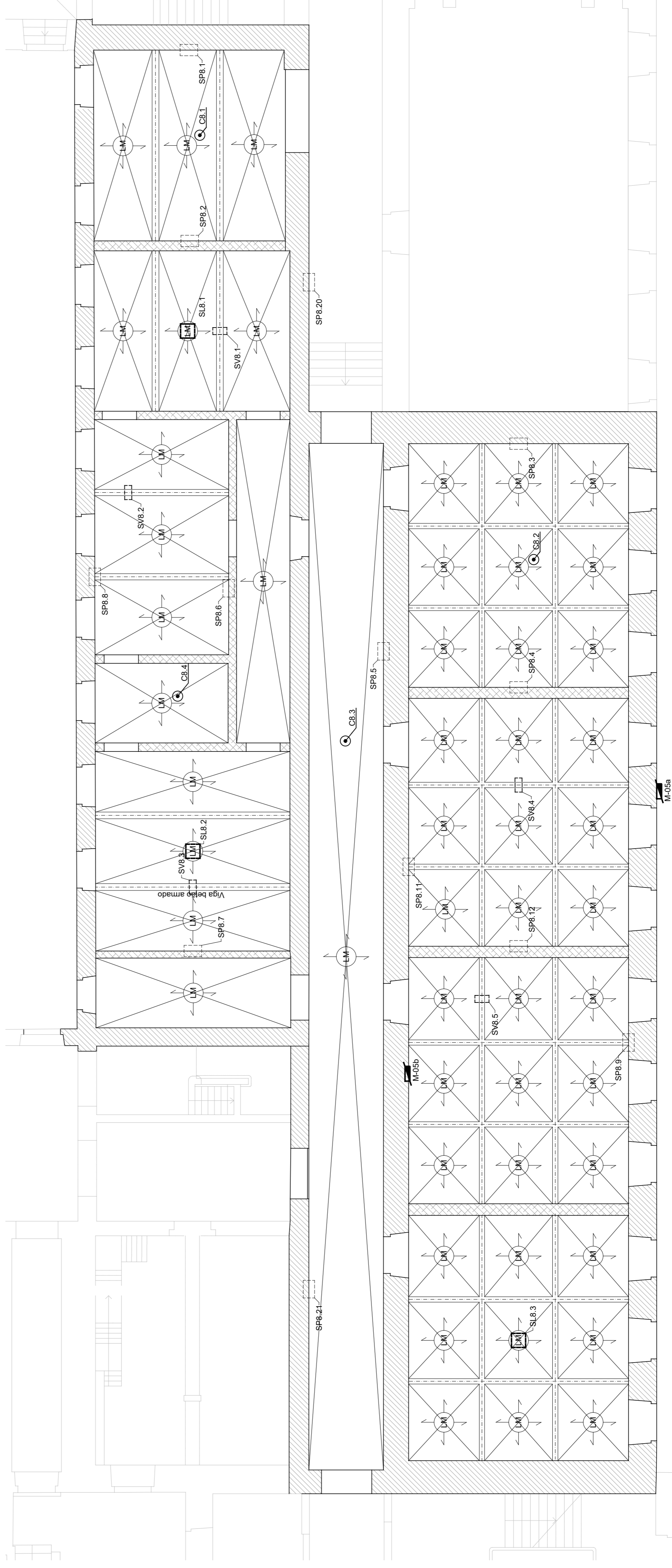
Corpo 8 | Levantamento estrutural do piso 0

Esc. 1:100



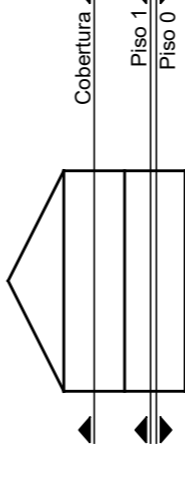
Corpo 8 | Levantamento estrutural do piso 1

Esc. 1:100



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala

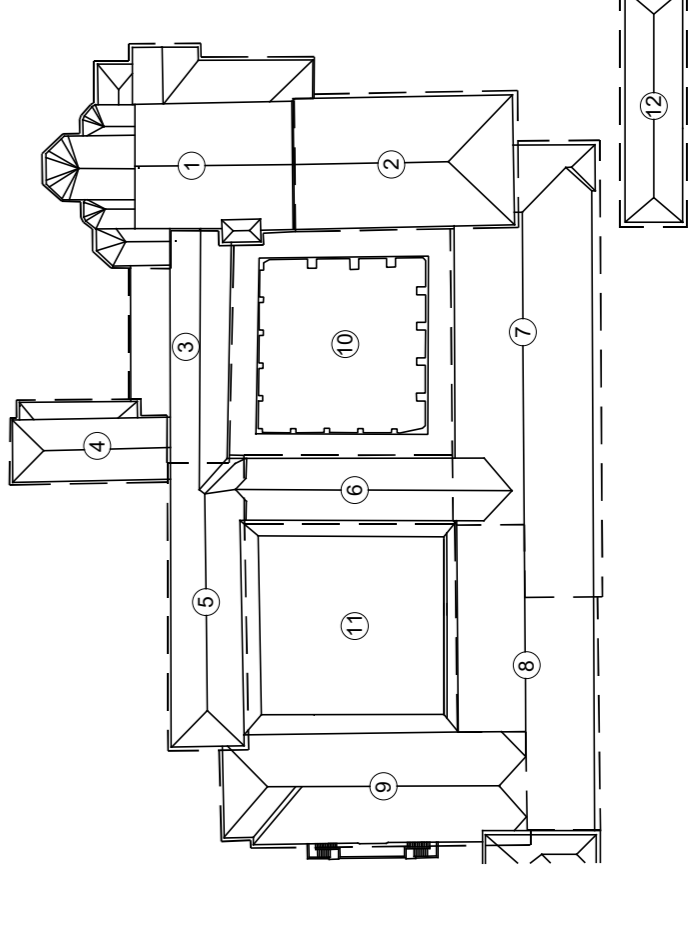


Legenda

- Paralela de alvenaria de pedra existente
- Paralela de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- Paralela de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- Elemento de betão armado
- SPV / - Janela de sondagem em parede
- SV / J - Janela de sondagem em viga
- SL / J - Janela de sondagem em laje
- SPAV / J - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- C / J - Extração de carote de betão
- M+ - Enraso de maticos planos

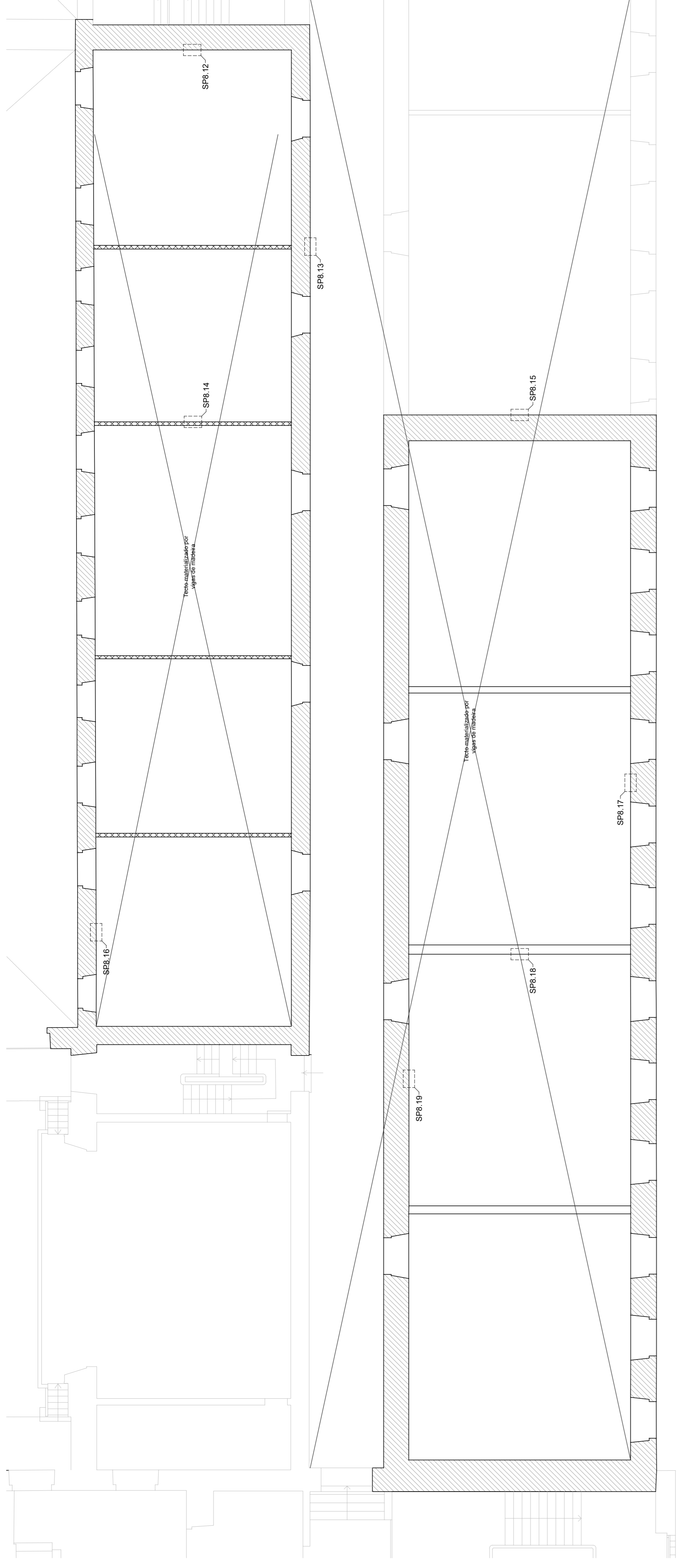
Identificação dos diferentes corpos

Sem escala



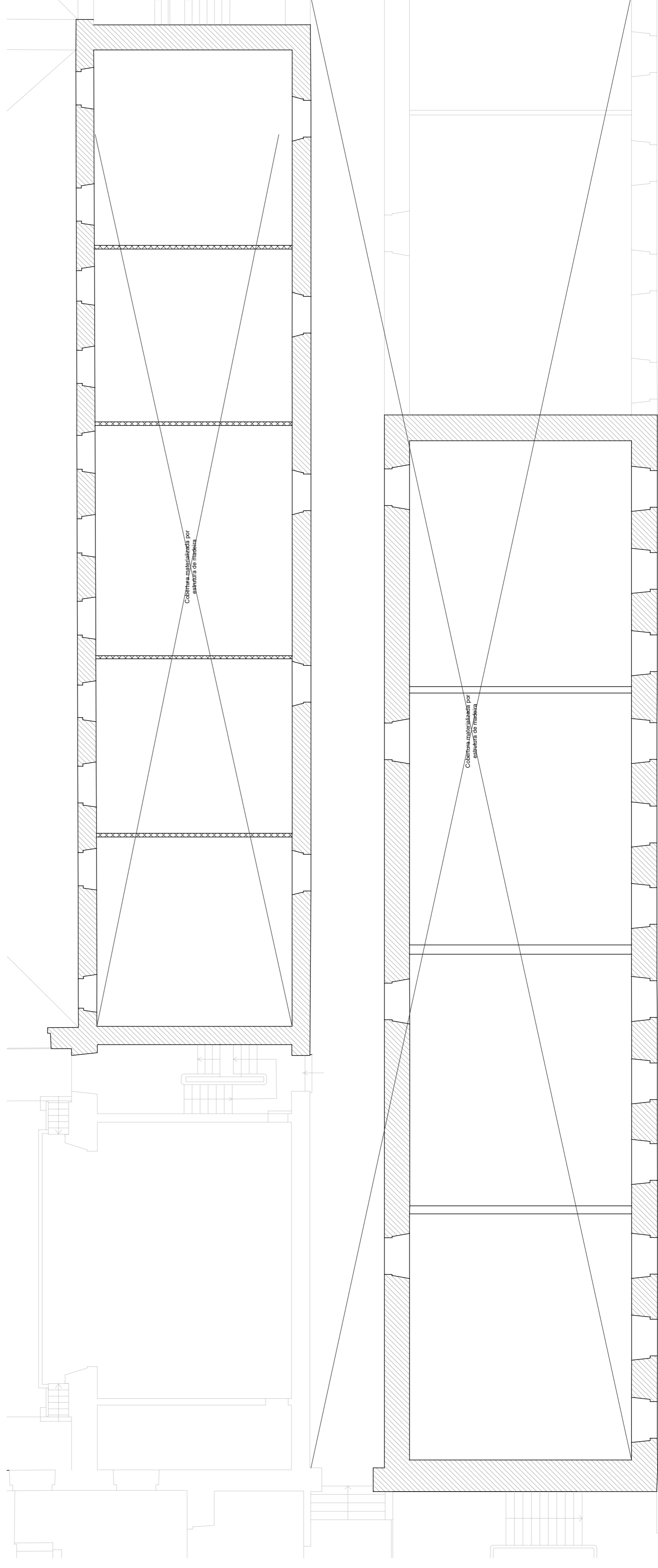
### Corpo 8 | Levantamento estrutural do tecto do piso 1

Esc. 1:100



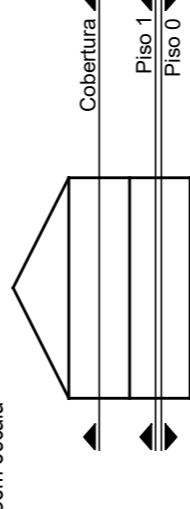
### Corpo 8 | Levantamento estrutural da cobertura

Esc. 1:100



### Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala

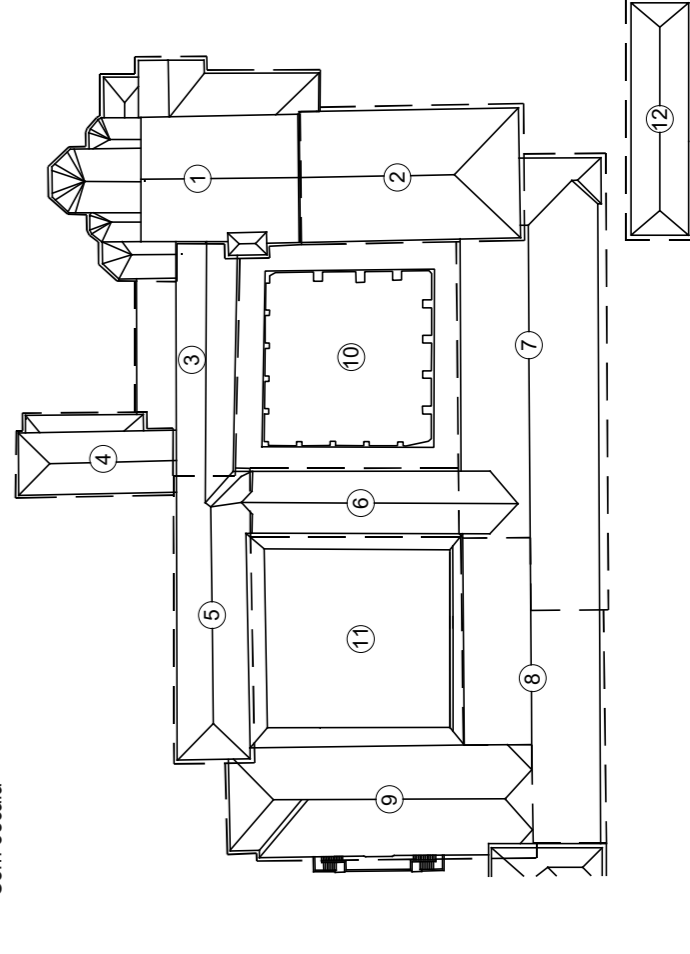


### Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- ▨ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha simples)
- ▩ Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (folha dupla)
- ▧ Elemento de betão armado
- SP/J - Janela de sondagem em parede
- SV/J - Janela de sondagem em viga
- SL/J - Janela de sondagem em laje
- SPav/J - Janela de sondagem em pavimento de madeira
- CI - Extração de carote de betão
- M+ - Enraso de maticos planos

### Identificação dos diferentes corpos

Sem escala



**ANEXO III – CASA MILHEIRÓS – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM**  
***RESISTOGRAPH***



Este anexo apresenta o resultado da campanha de ensaios com *Resistograph*® realizados em vários pontos da estrutura, com o objetivo de avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais em madeira existentes nos pavimentos, escadas e cobertura da Casa Milheirós. São apresentados, nas páginas seguintes, os registos referentes a cada ensaio efetuado, com identificação dos elementos ensaiados e com um comentário sobre o seu estado de conservação.

A Tabela A-III.1 apresenta, de forma sintetizada, o resultado da inspeção e dos ensaios realizados, acompanhados pelo estado de conservação de cada elemento – bom estado de conservação (✓ verde), mau estado de conservação (✗ vermelho) ou razoável estado de conservação (✓/✗ - amarelo). A Tabela A-III.2 conjuga os registos dos ensaios realizados, acompanhados de comentários relativos ao estado de conservação.

Tabela A-III.1 - Quadro resumo dos ensaios realizados nos elementos de madeira

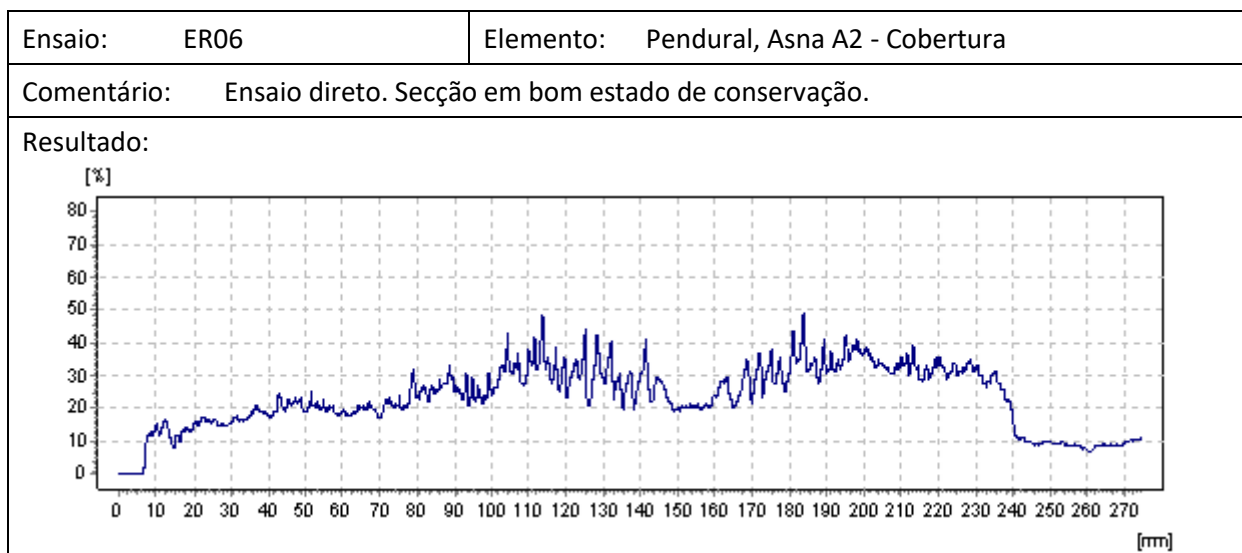
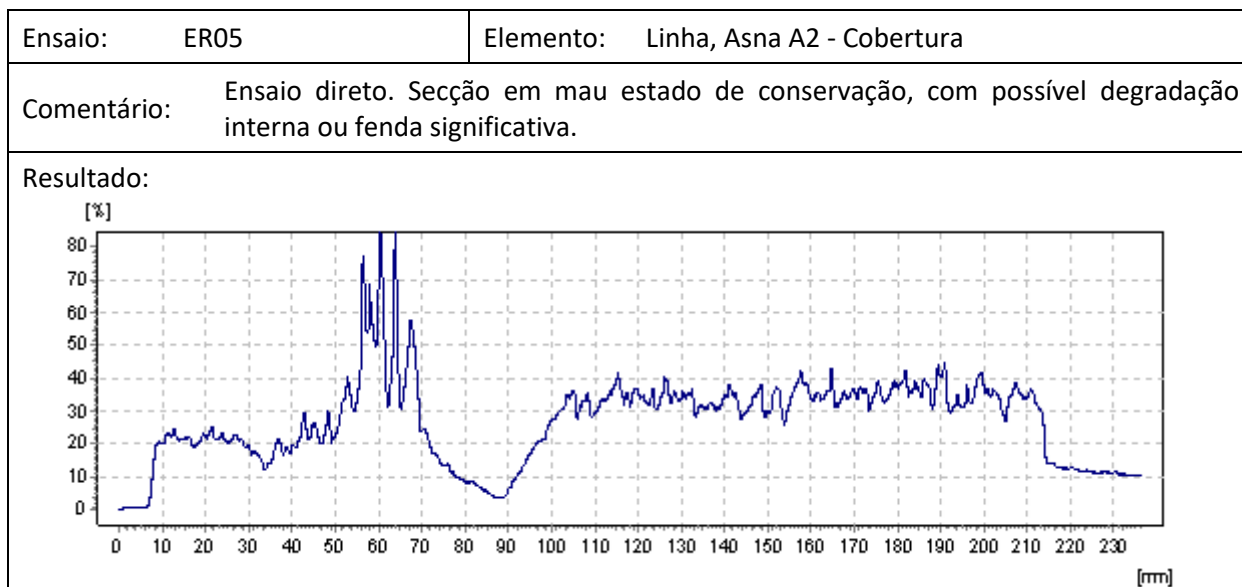
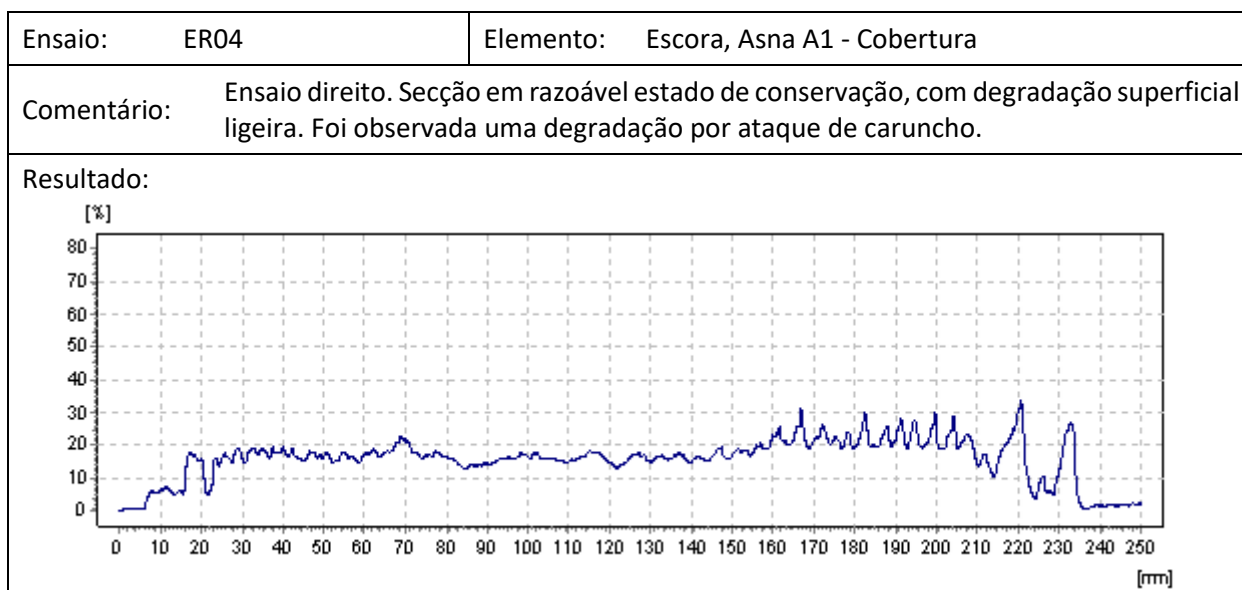
Localização	Elemento	Direcção do ensaio	Secção	Tipo de ensaio	Ensaio	Estado	Comentário
Cobertura	Madre	horizontal	Φ15cm	directo	ER 01	✓	razoável
	Madre	horizontal	Φ15cm	directo	ER 02	✓	
	Linha	horizontal	9x28cm <sup>2</sup>	directo	ER 03	✓	
	Escora	vertical	8x22cm <sup>2</sup>	directo	ER 04	✓/✗	
	Linha	vertical	Φ20cm	directo	ER 05	✗	
	Pendural	horizontal	8x22cm <sup>2</sup>	directo	ER 06	✓	
Piso 1	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 07	✗	razoável
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 08	✓/✗	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 09	✓	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 10	✓	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 11	✓	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 12	✗	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 13	✓	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 14	✓/✗	
	viga	vertical	h=23cm	indirecto	ER 15	✓	
	viga	vertical	h=20cm	indirecto	ER 16	✗	
	viga	vertical	Φ18cm	indirecto	ER 17	✗	
	viga	vertical	Φ18cm	indirecto	ER 18	✓	
	viga	vertical	Φ18cm	indirecto	ER 19	✗	
	viga	vertical	9x22cm <sup>2</sup>	indirecto	ER 20	✓/✗	
viga	vertical	Φ15cm	indirecto	ER 21	✓/✗		
Escada	pema	vertical	h=20cm	directo	ER 22	✗	

Tabela A-III.2 – Resultados ensaios realizados nos elementos de madeira

Ensaio: ERO1	Elemento: Madre - Cobertura
Comentário: Ensaio direto. Secção em bom estado de conservação.	
<p>Resultado:</p>	

Ensaio: ERO2	Elemento: Madre - Cobertura
Comentário: Ensaio direto. Secção em bom de conservação, com degradação superficial ligeira (no final do ensaio).	
<p>Resultado:</p>	

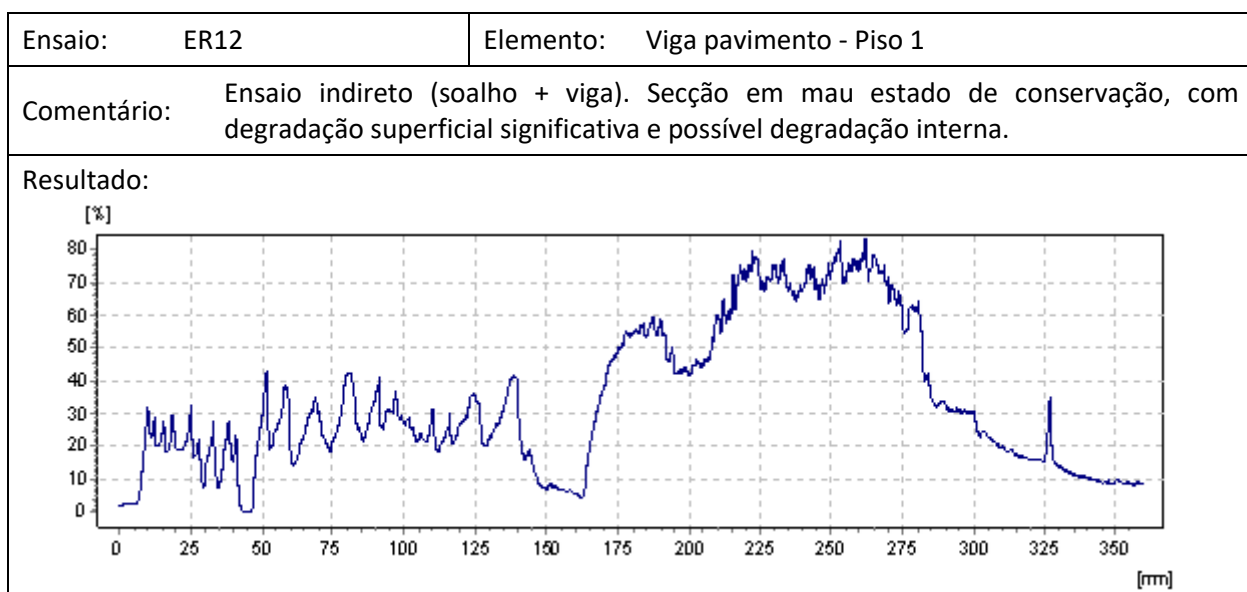
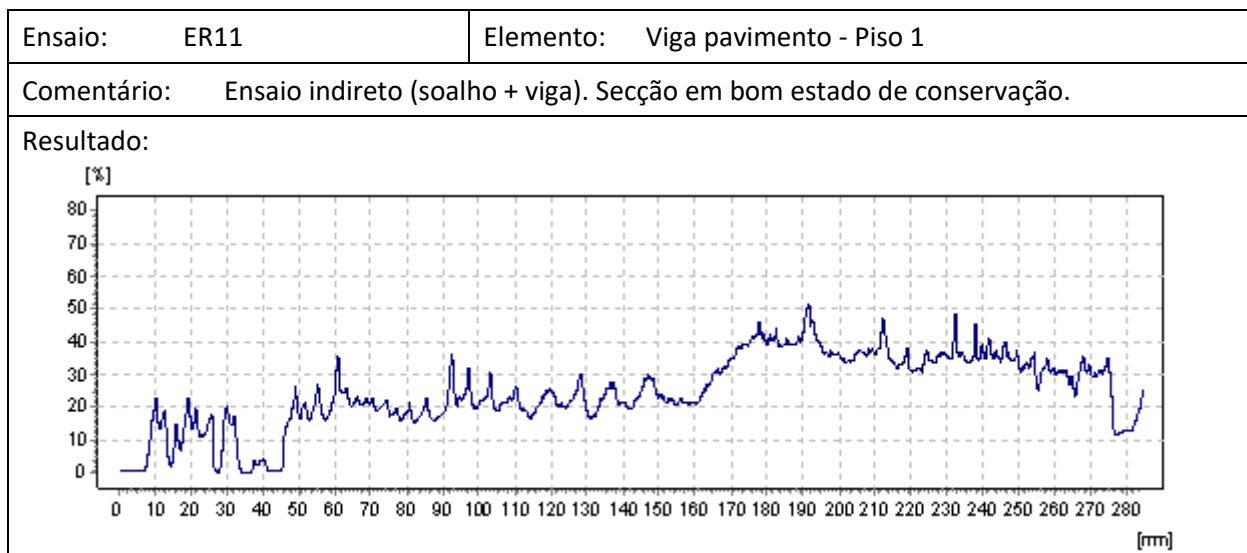
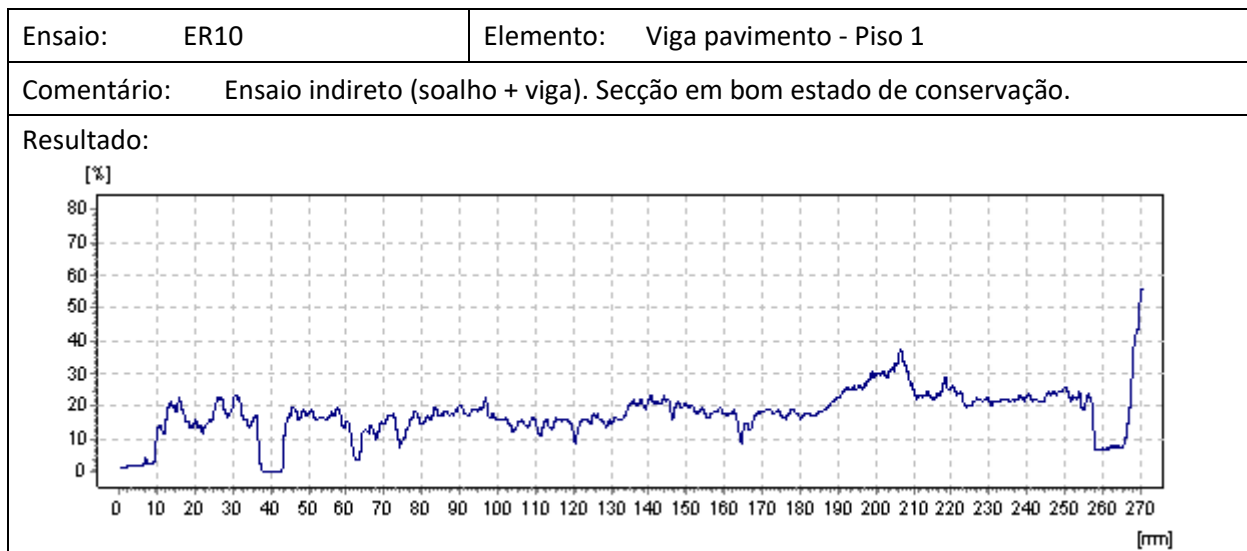
Ensaio: ERO3	Elemento: Linha, Asna A1 - Cobertura
Comentário: Ensaio direto. Secção em bom estado de conservação.	
<p>Resultado:</p>	

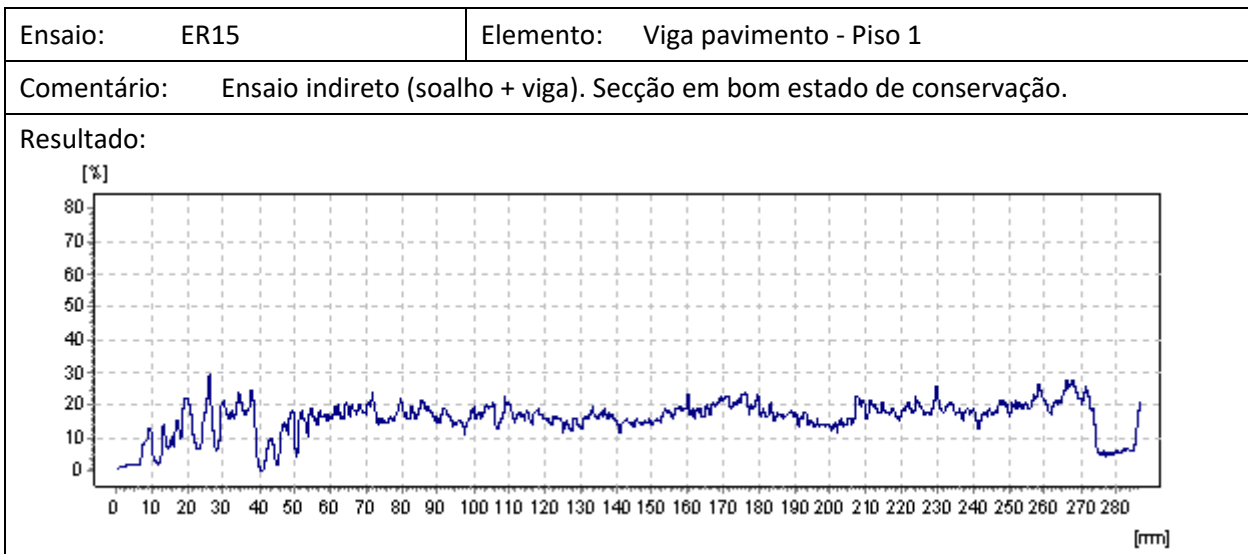
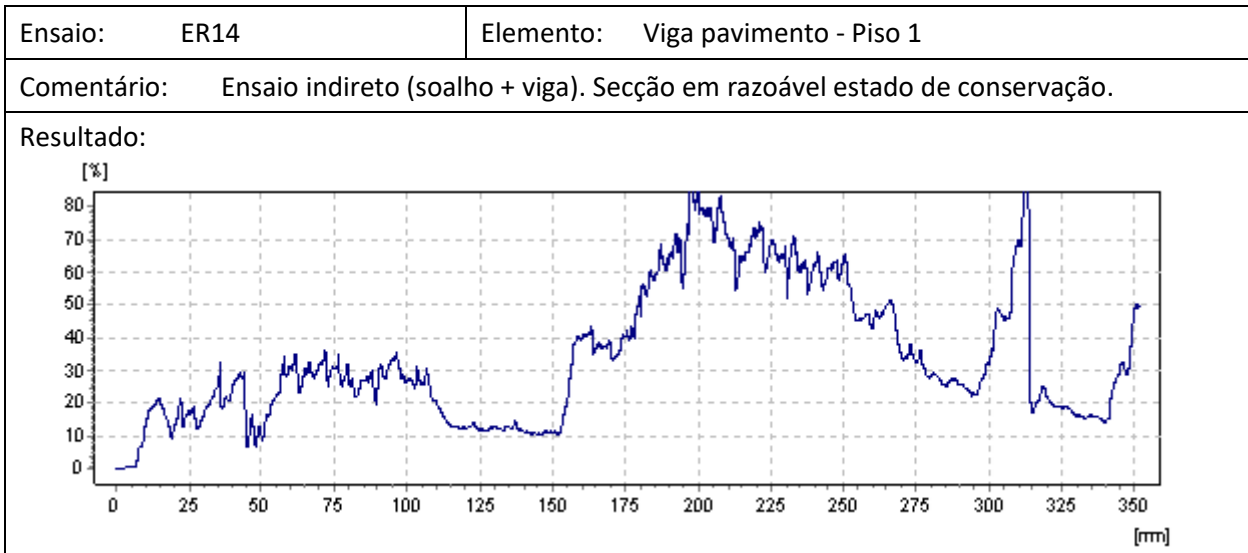
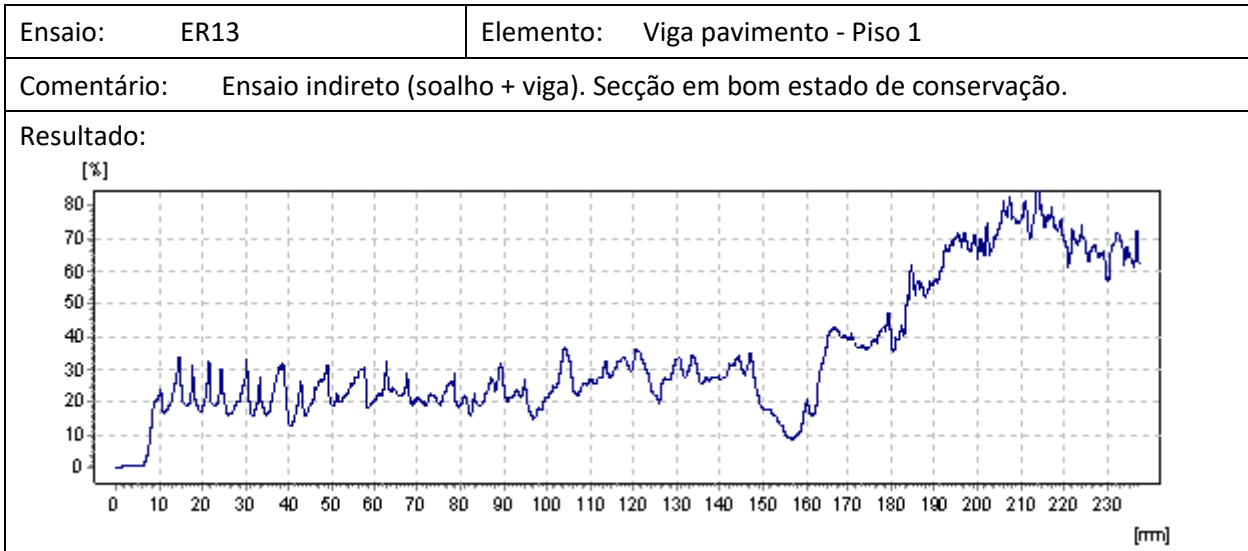


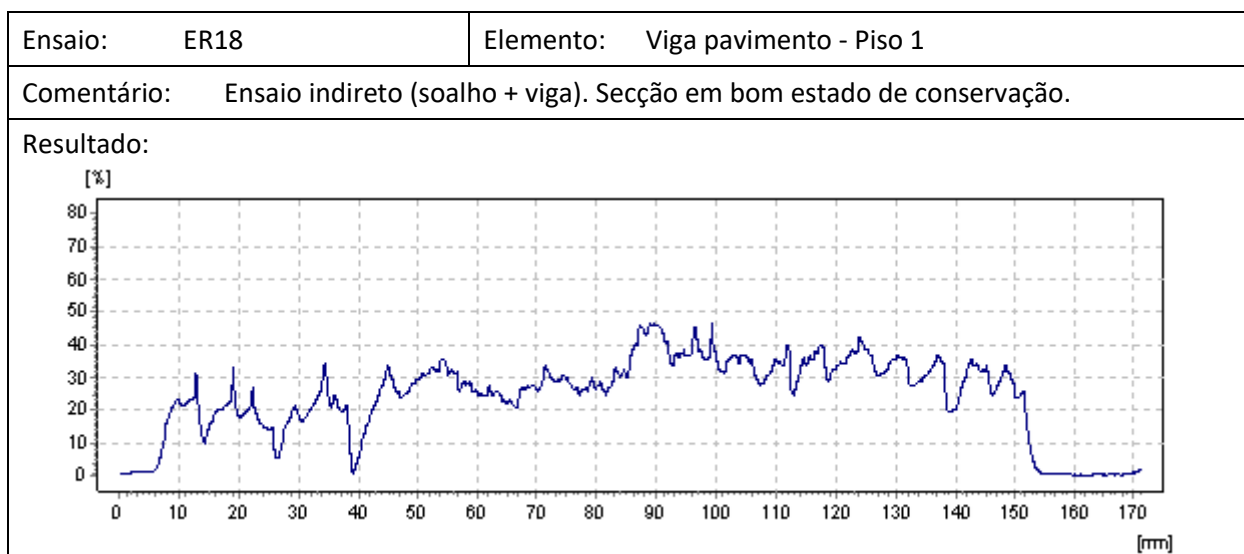
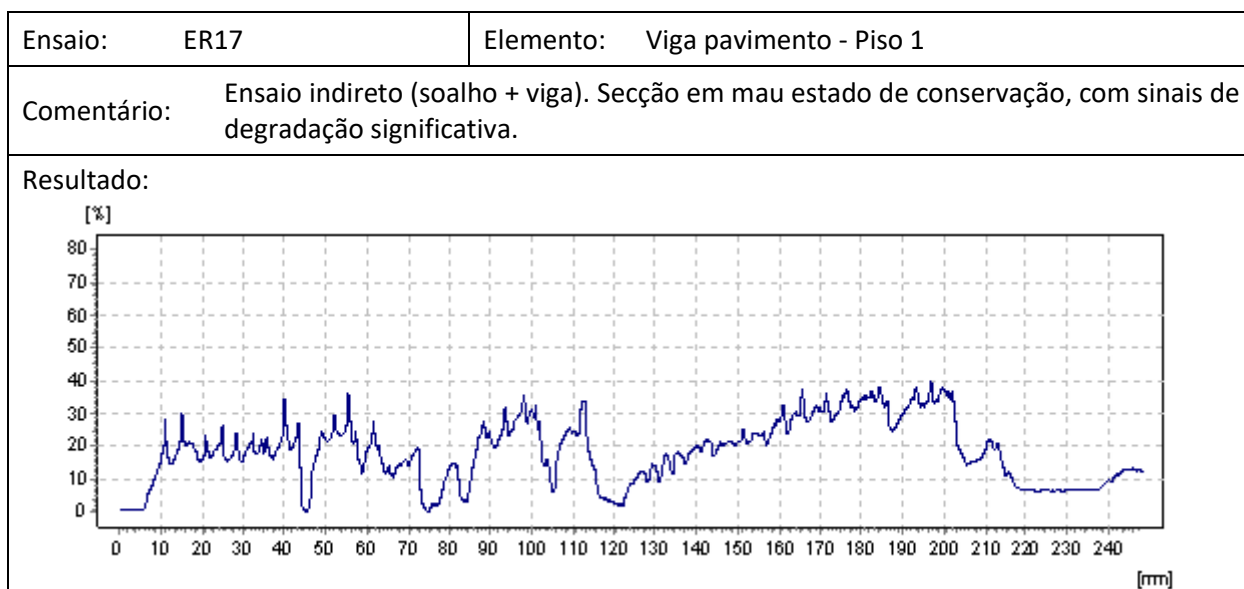
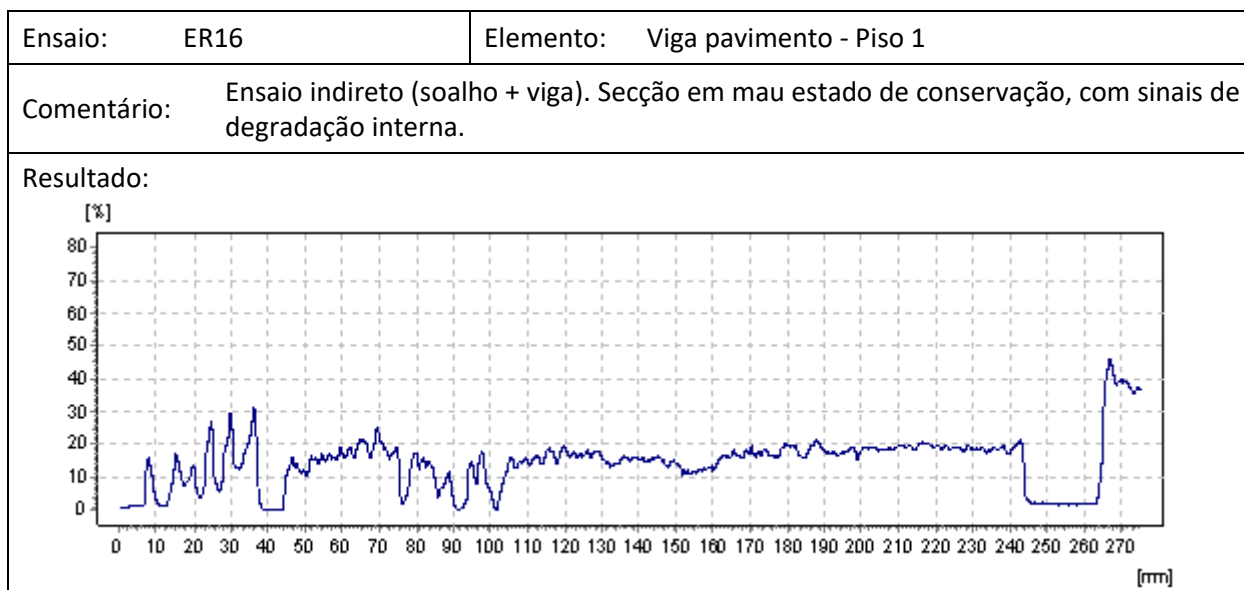
Ensaio: ER07	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em mau estado de conservação, com degradação superficial significativa (início do ensaio).	
Resultado: 	

Ensaio: ER08	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em razoável estado de conservação, com degradação superficial (início do ensaio).	
Resultado: 	

Ensaio: ER09	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em bom estado de conservação (ensaio não apanhou a seção total)	
Resultado: 	





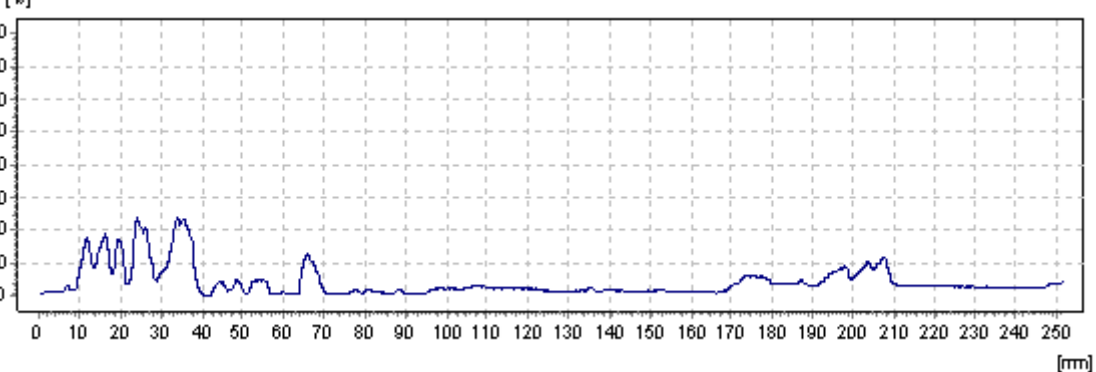


ANEXO III

Ensaio: ER19	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em mau estado de conservação, com degradação significativa em grande parte da secção transversal.	
<p>Resultado:</p>	

Ensaio: ER20	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em razoável estado de conservação, com ligeira degradação superficial (no início do ensaio).	
<p>Resultado:</p>	

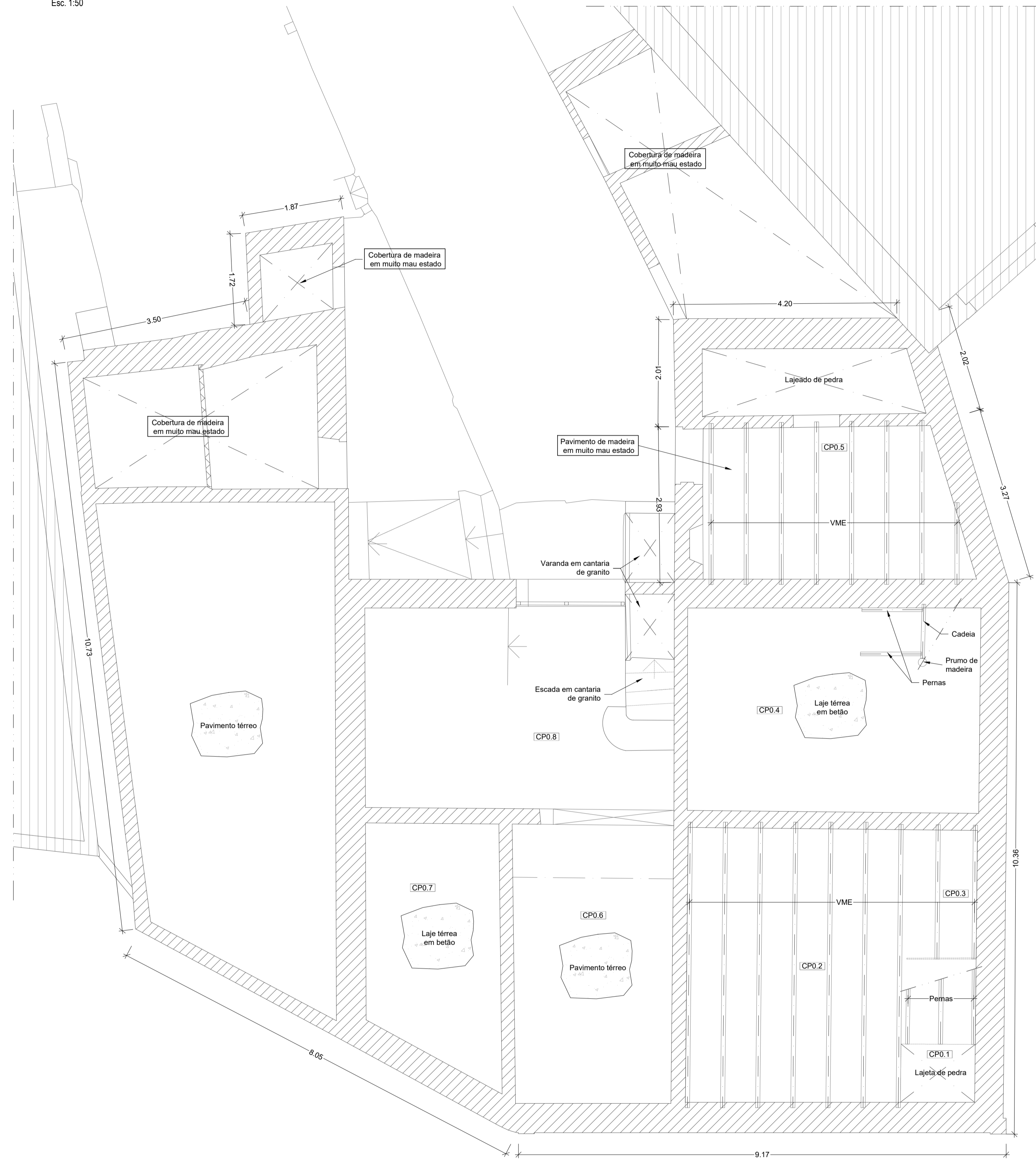
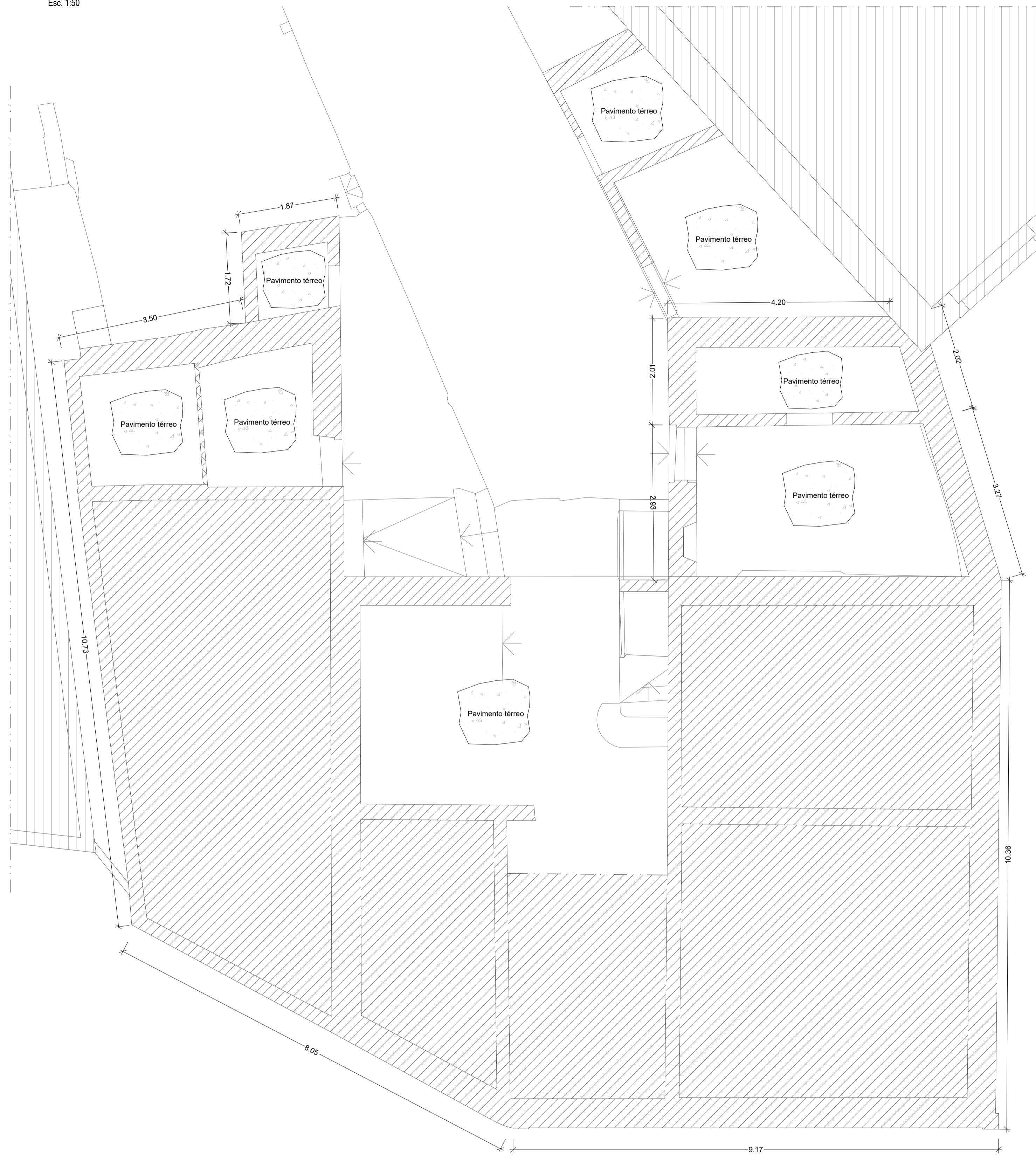
Ensaio: ER21	Elemento: Viga pavimento - Piso 1
Comentário: Ensaio indireto (soalho + viga). Secção em razoável estado de conservação, com ligeira degradação superficial (no início do ensaio).	
<p>Resultado:</p>	

ER22	Elemento: Perna, escadas
<b>Comentário:</b> Ensaio direto. Secção em mau estado de conservação, com degradação significativa em grande parte da secção transversal. Foram observados ataques de térmitas significativas nas peças de madeira da escada.	
<b>Resultado:</b> 	

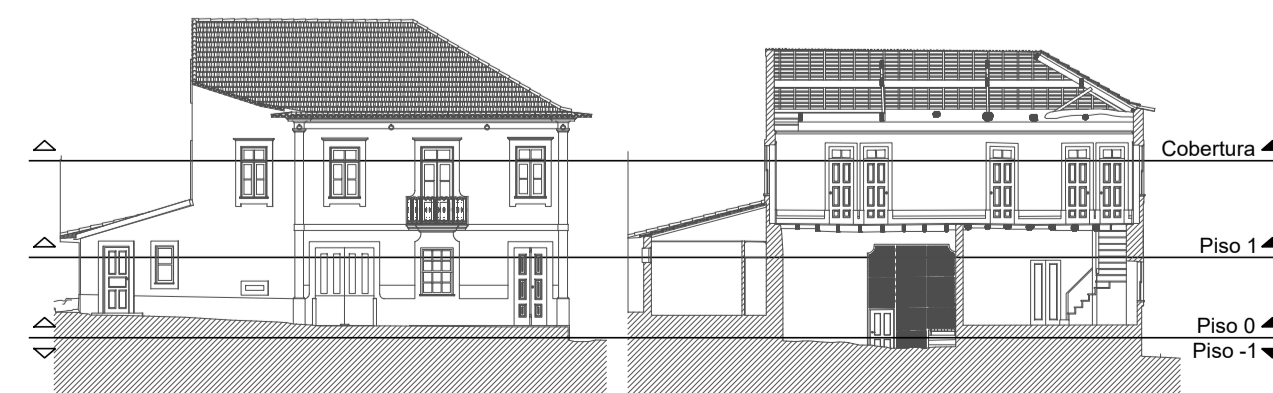


## **ANEXO IV – CASA MILHEIRÓS – PEÇAS DESENHADAS**





Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala



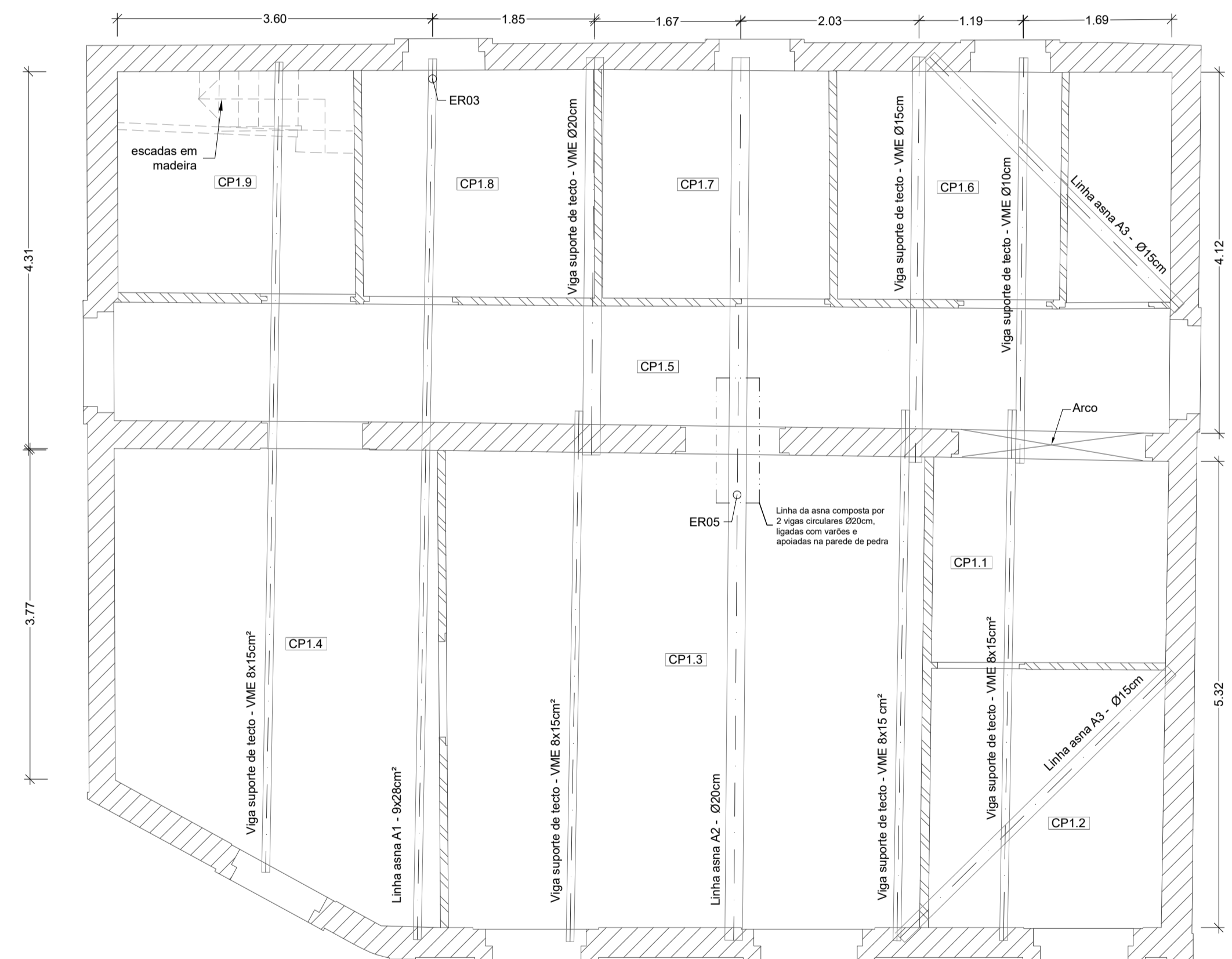
Legenda

- Parede em alvenaria de pedra existente
- Parede em tabique existente
- Parede em alvenaria de tijolo existente
- VME - Viga de madeira existente

Legenda dos ensaios in-situ:

- ERI - Ensaios com o Resistógrafo

OBRA Edifício na Rua General Humberto Delgado, Mihiéiros	DATA 08/2021	FASE DO PROJECTO RID
DESIGNAÇÃO Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural	PROCESSO NCREP_1869P0521	ESCALA 1:50
PROJECTO RS, FO	DESENHO TI	VERIFICOU TI
PROJECTO RS, FO	DESENHO TI	APROVOU TI
Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património, Lda, não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.		



Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala



Legenda

- Parede em alvenaria de pedra existente
- Parede em tabique existente
- Parede em alvenaria de tijolo existente
- VME - Viga de madeira existente

Legenda dos ensaios *in-situ*:

- ERI - Ensaios com o Resistógrafo

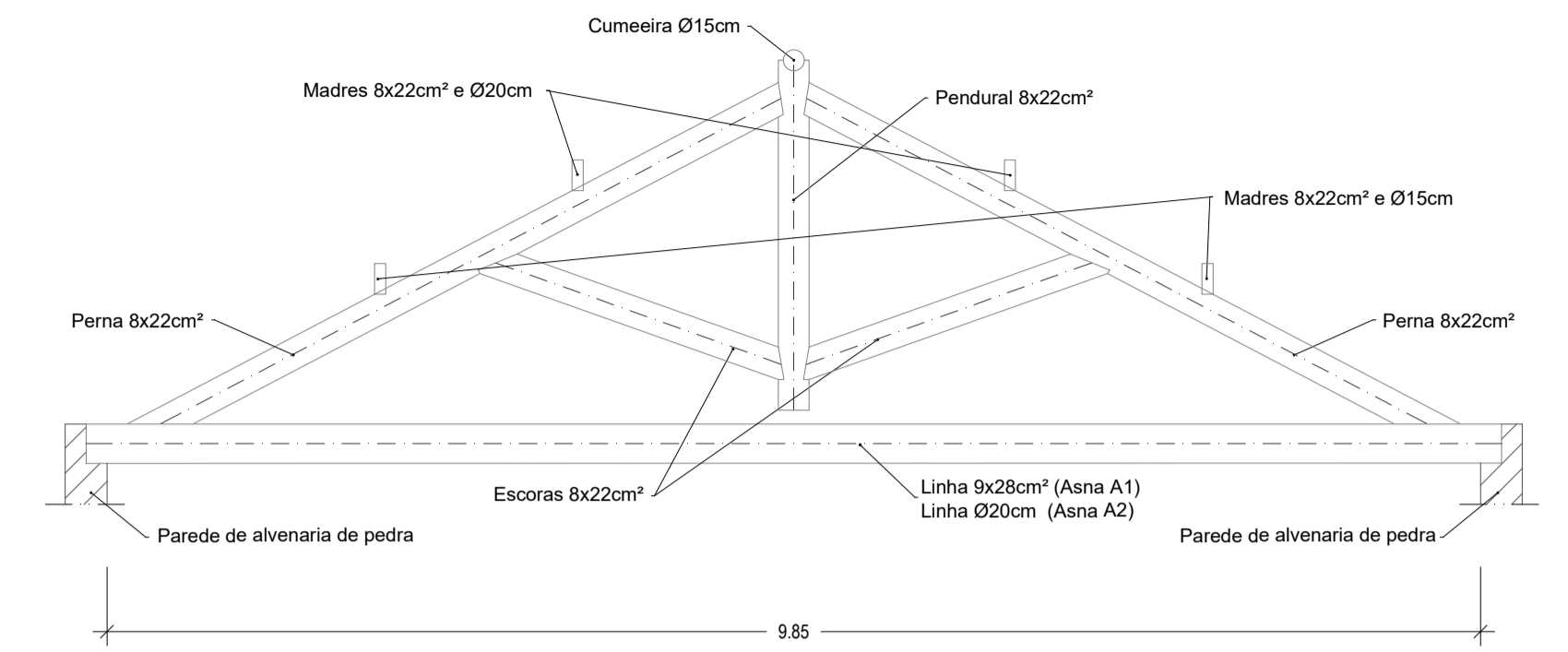
OBRA		Edifício na Rua General Humberto Delgado, Mihióris	DATA	08/2021	FASE DO PROJECTO	RID
DESCRIÇÃO		Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural	PROCESSO	NCREP_1869P0521 <th>ESCALA</th> <td>1:50 </td>	ESCALA	1:50
PROJECTO		RS, FO	DESENHO	TI	VERIFICOU	TI
PROJECTO		RS, FO	DESENHO	TI	VERIFICOU	TI
APPROVADO		RS, FO	DESENHO	TI	VERIFICOU	TI

Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património, Lda, não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.



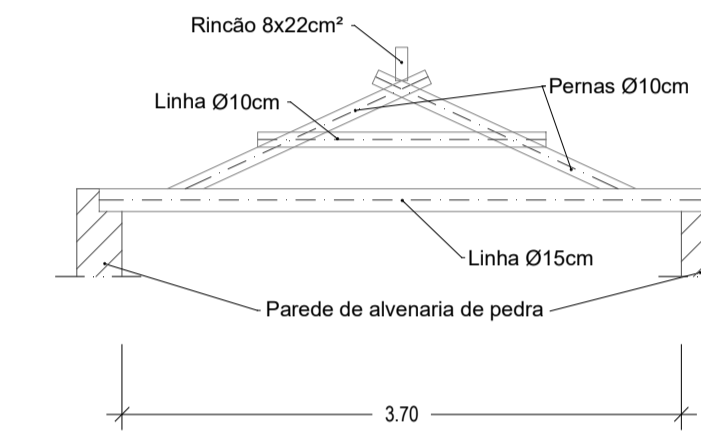
Alçado Asnas A1 e A2

Esc. 1:50



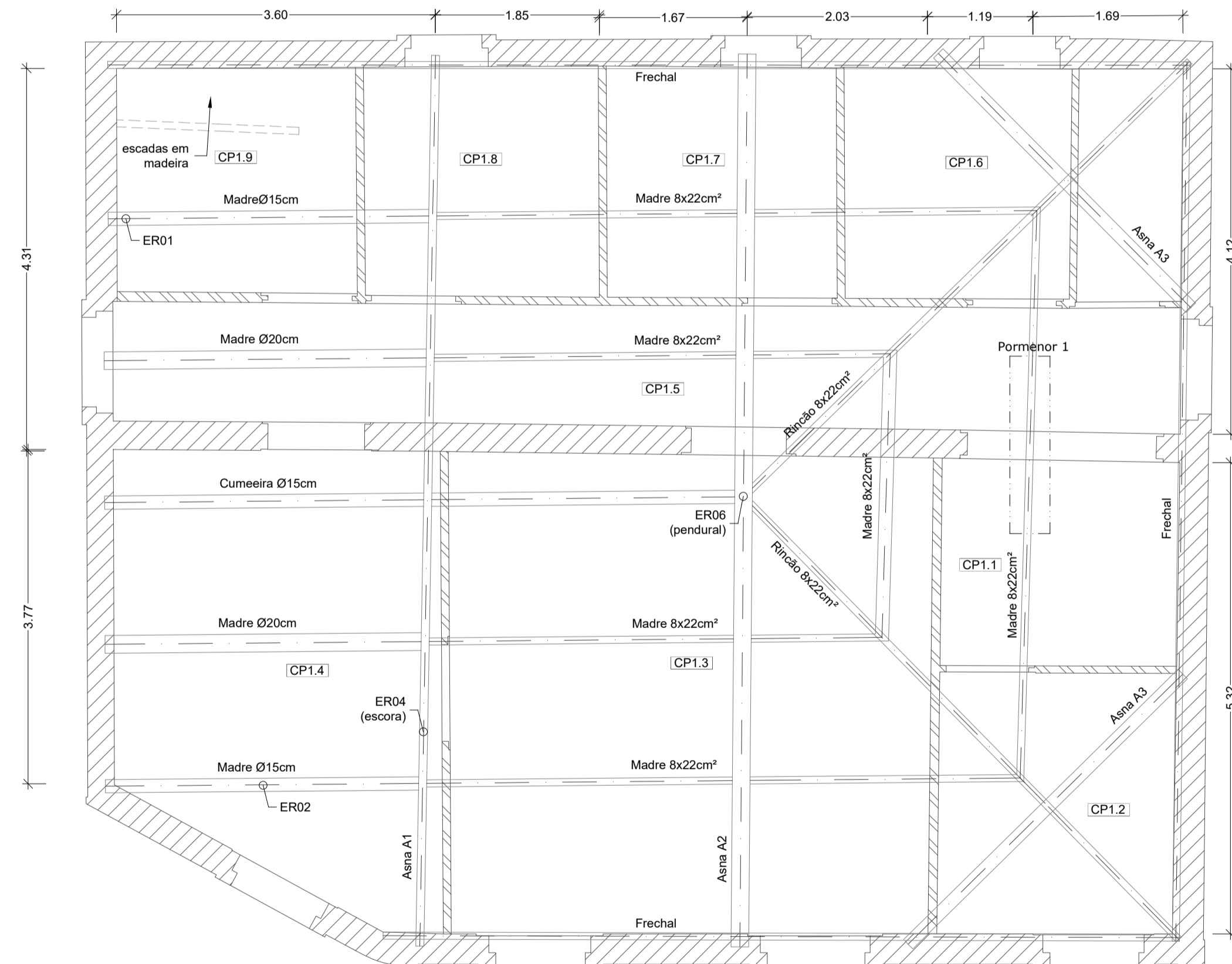
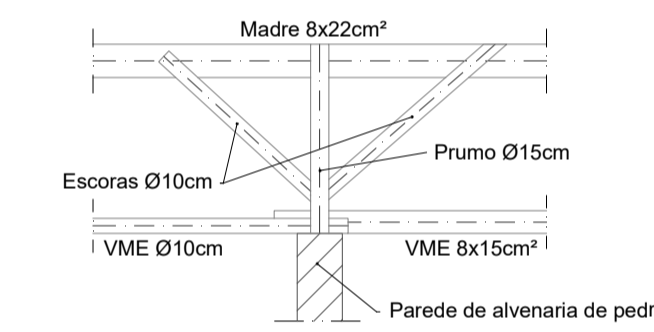
Alçado Asna A3

Esc. 1:50



Pormenor 1 - apoio intermédio da madre composto por 1 prumo e 2 escoras

Esc. 1:50



Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala

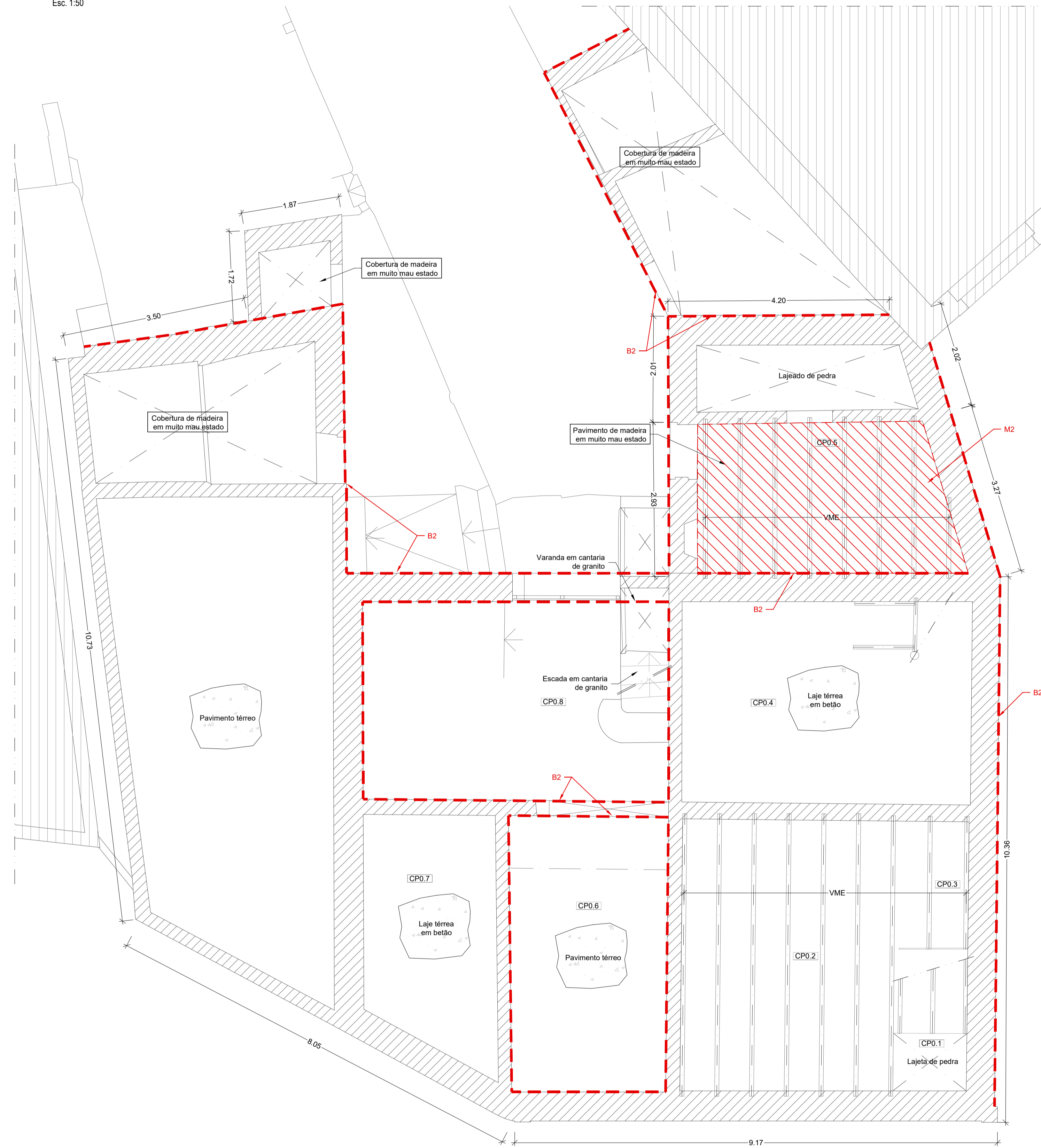
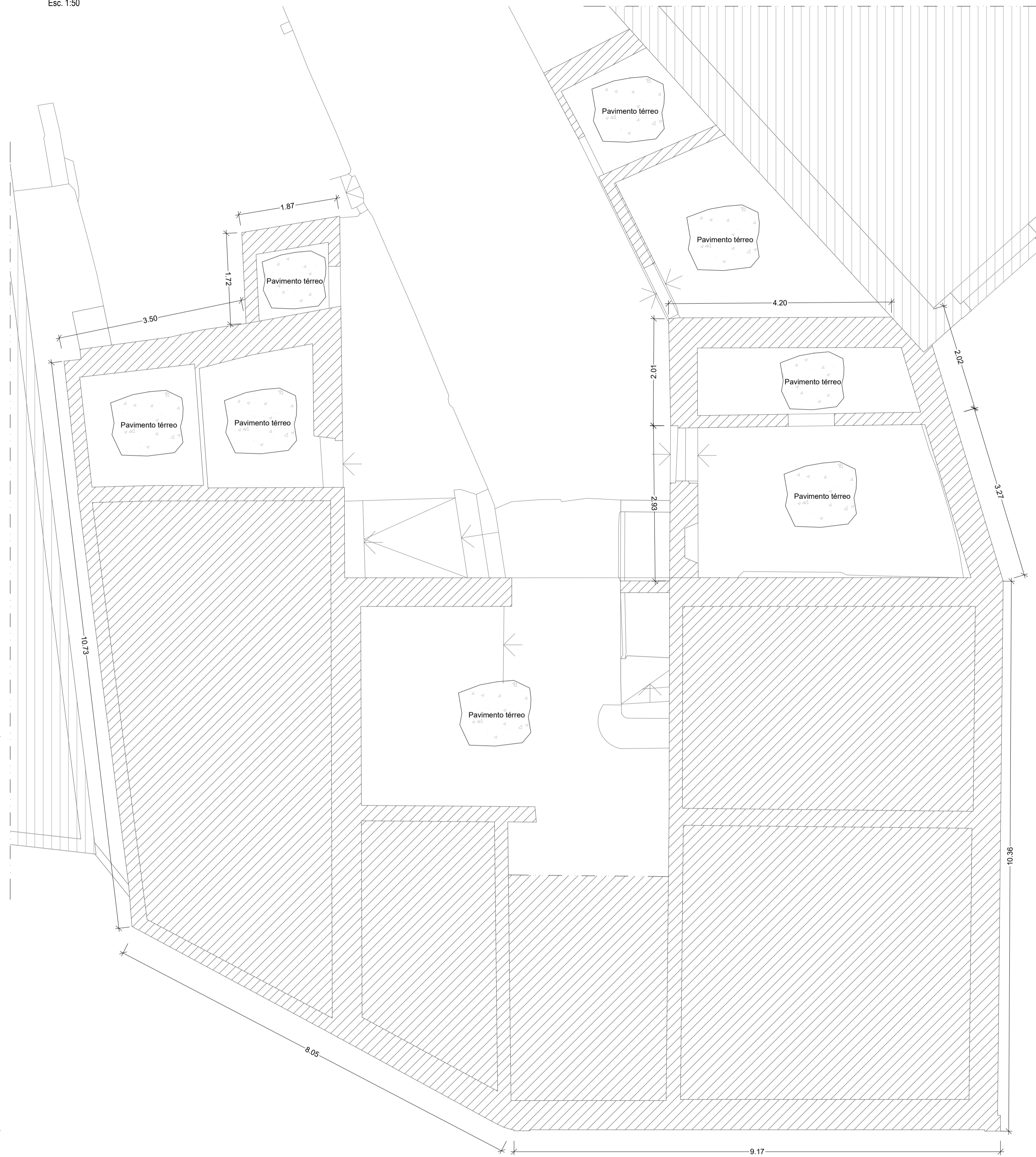


Legenda

- Parede em alvenaria de pedra existente
- Parede em tabique existente
- Parede em alvenaria de tijolo existente
- VME - Viga de madeira existente

Legenda dos ensaios *in-situ*:

- ERI - Ensaios com o Resistógrafo



Legenda do mapeamento dos danos

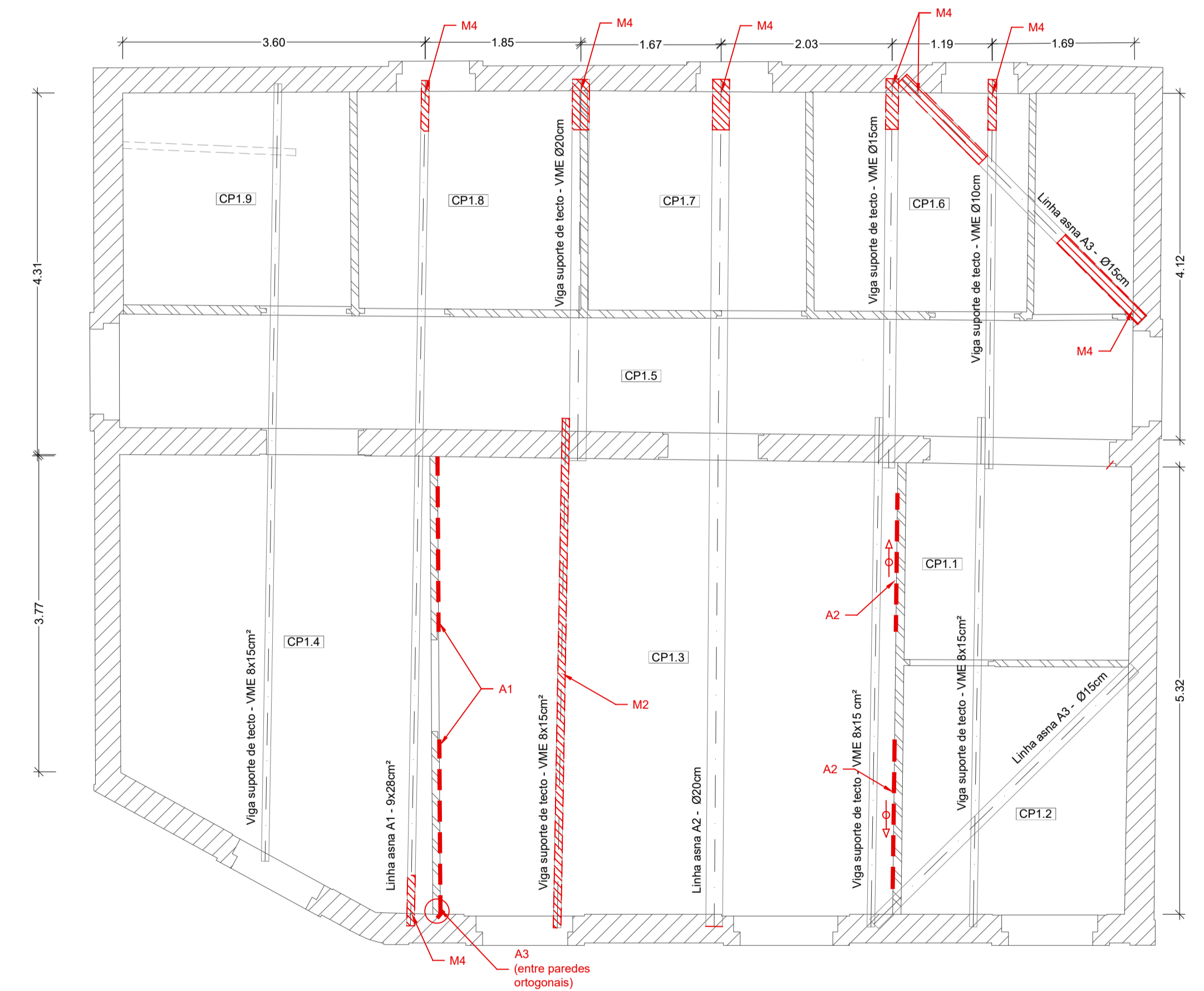
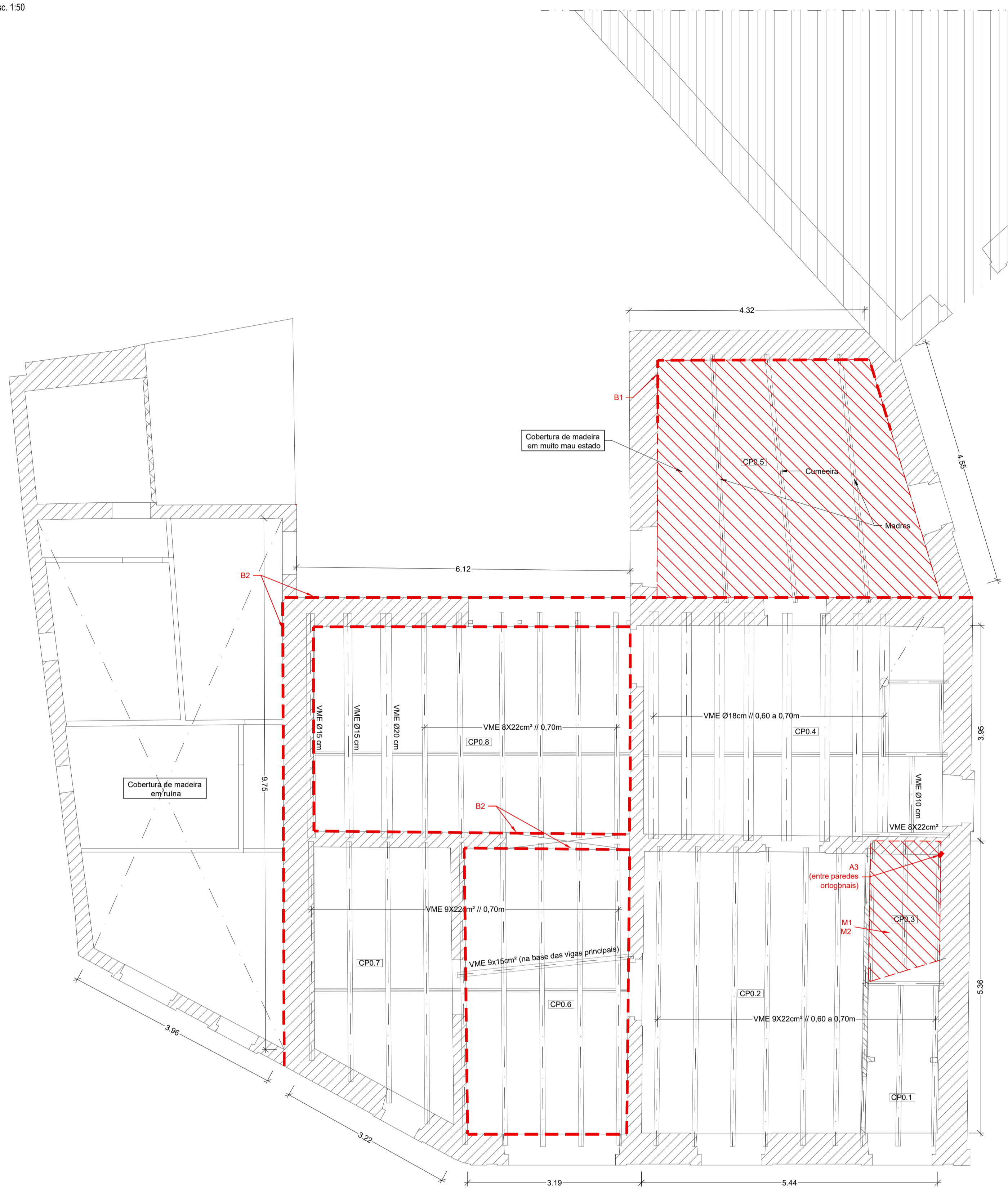
- ⚡ Sentido descendente das fissuras diagonais
- ▨ Danos em elementos horizontais e inclinados
- - - Danos em elementos verticais

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insetos sociais (térmitas)	M1
Degradação por ataque de agentes bióticos (carunho)	M2
Deformação	M3
Manchas de humidade	M4
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E TABIQUE	
Fissuração vertical	A1
Fissuração diagonal	A2
Fissuração vertical no cunhal	A3
OUTROS DANOS NÃO ESTRUTURAIS	
Manchas de humidade	B1
Existência de argamassa cimentícia	B2



Nível de corte das plantas estruturais

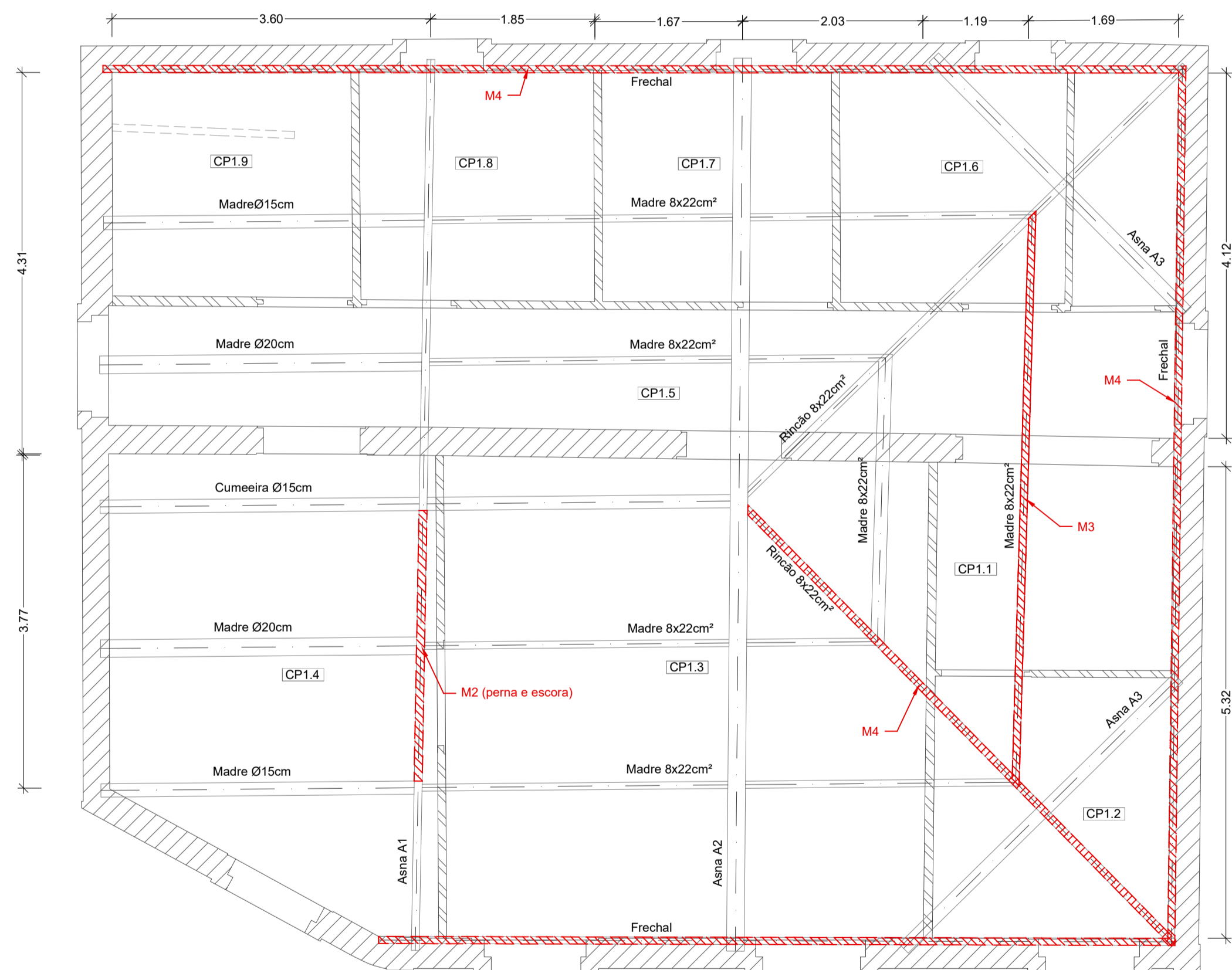
Sem escala



Legenda do mapeamento dos danos

- ⚡ Sentido descendente das fissuras diagonais
- ▨ Danos em elementos horizontais e inclinados
- Danos em elementos verticais

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insetos sociais (térmitas)	M1
Degradação por ataque de agentes bióticos (carunho)	M2
Deformação	M3
Manchas de humidade	M4
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E TABIQUE	
Fissuração vertical	A1
Fissuração diagonal	A2
Fissuração vertical no cunhal	A3
OUTROS DANOS NÃO ESTRUTURAIS	
Manchas de humidade	B1
Existência de argamassa cimentícia	B2



Nível de corte das plantas estruturais

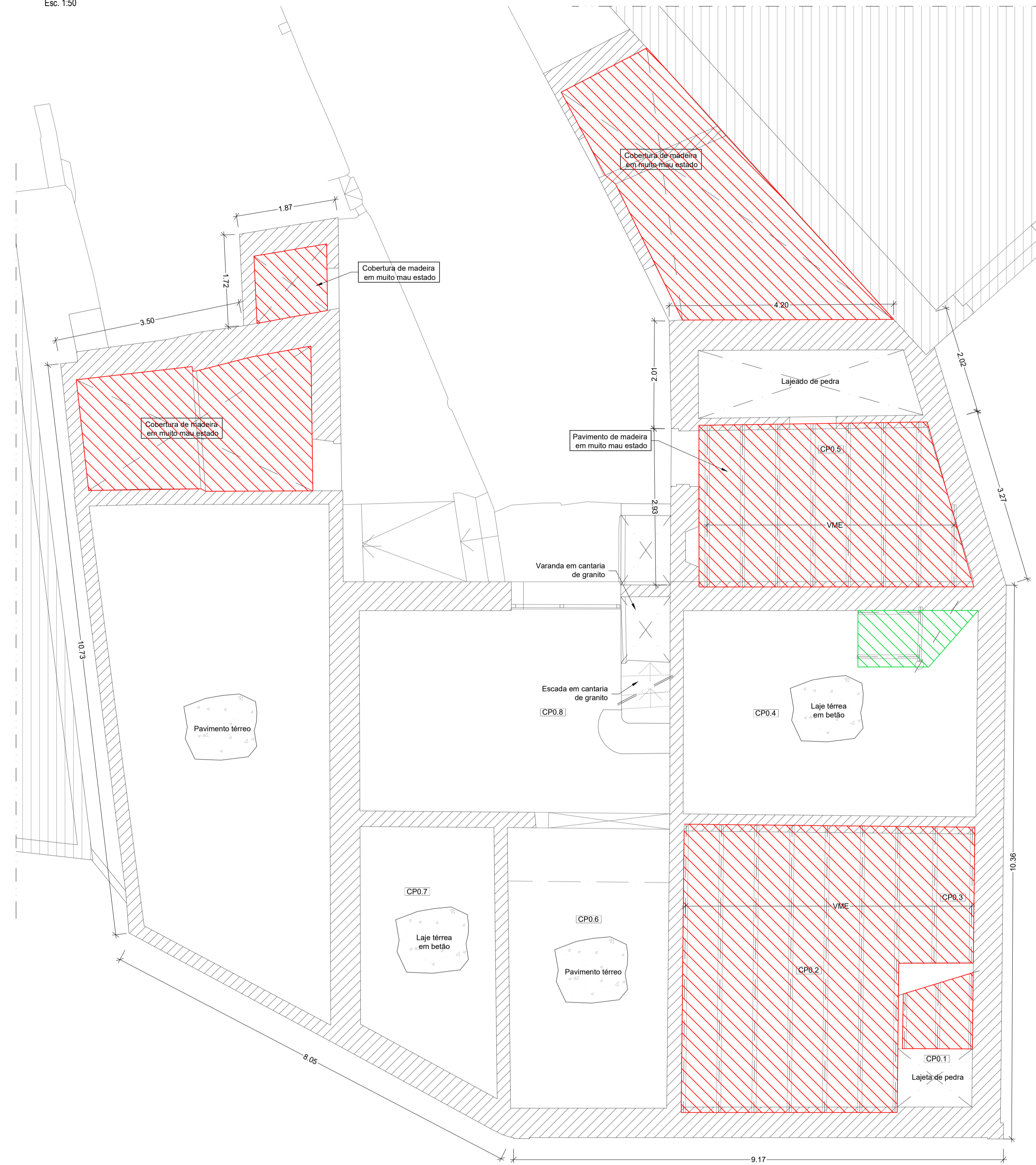
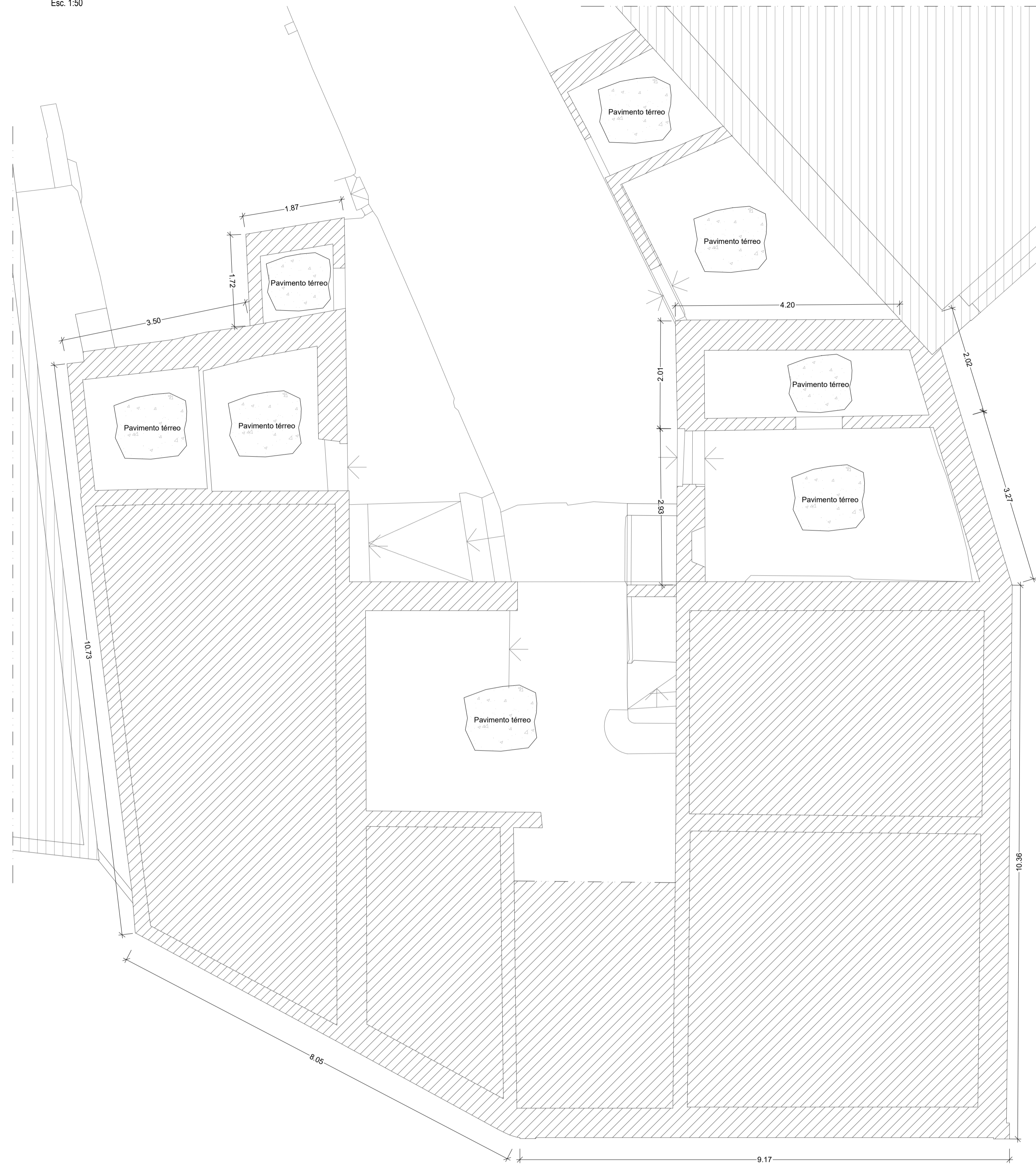
Sem escala



Legenda do mapeamento dos danos

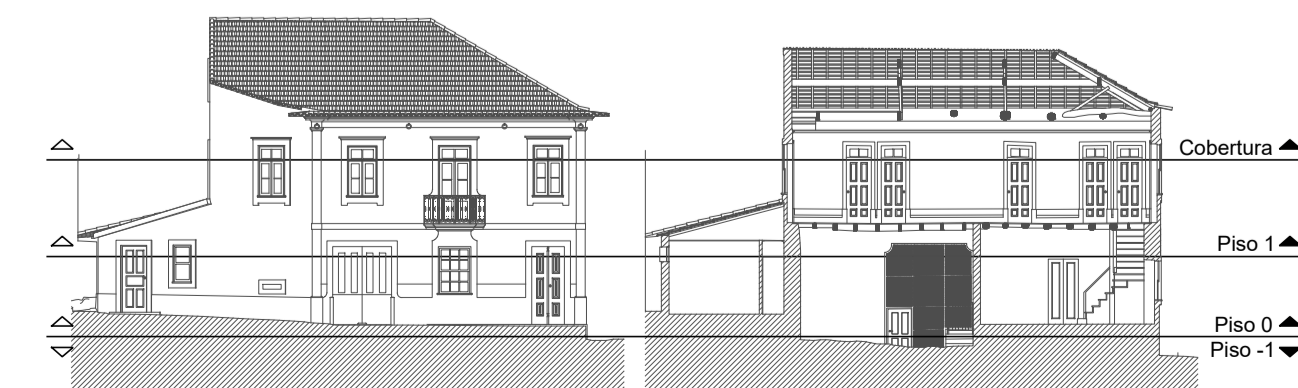
- ⚡ Sentido descendente das fissuras diagonais
- ▨ Danos em elementos horizontais e inclinados
- Danos em elementos verticais

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insetos sociais (térmitas)	M1
Degradação por ataque de agentes bióticos (carunho)	M2
Deformação	M3
Manchas de humidade	M4
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E TABIQUE	
Fissuração vertical	A1
Fissuração diagonal	A2
Fissuração vertical no cunhal	A3
OUTROS DANOS NÃO ESTRUTURAIS	
Manchas de humidade	B1
Existência de argamassa cimentícia	B2



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala

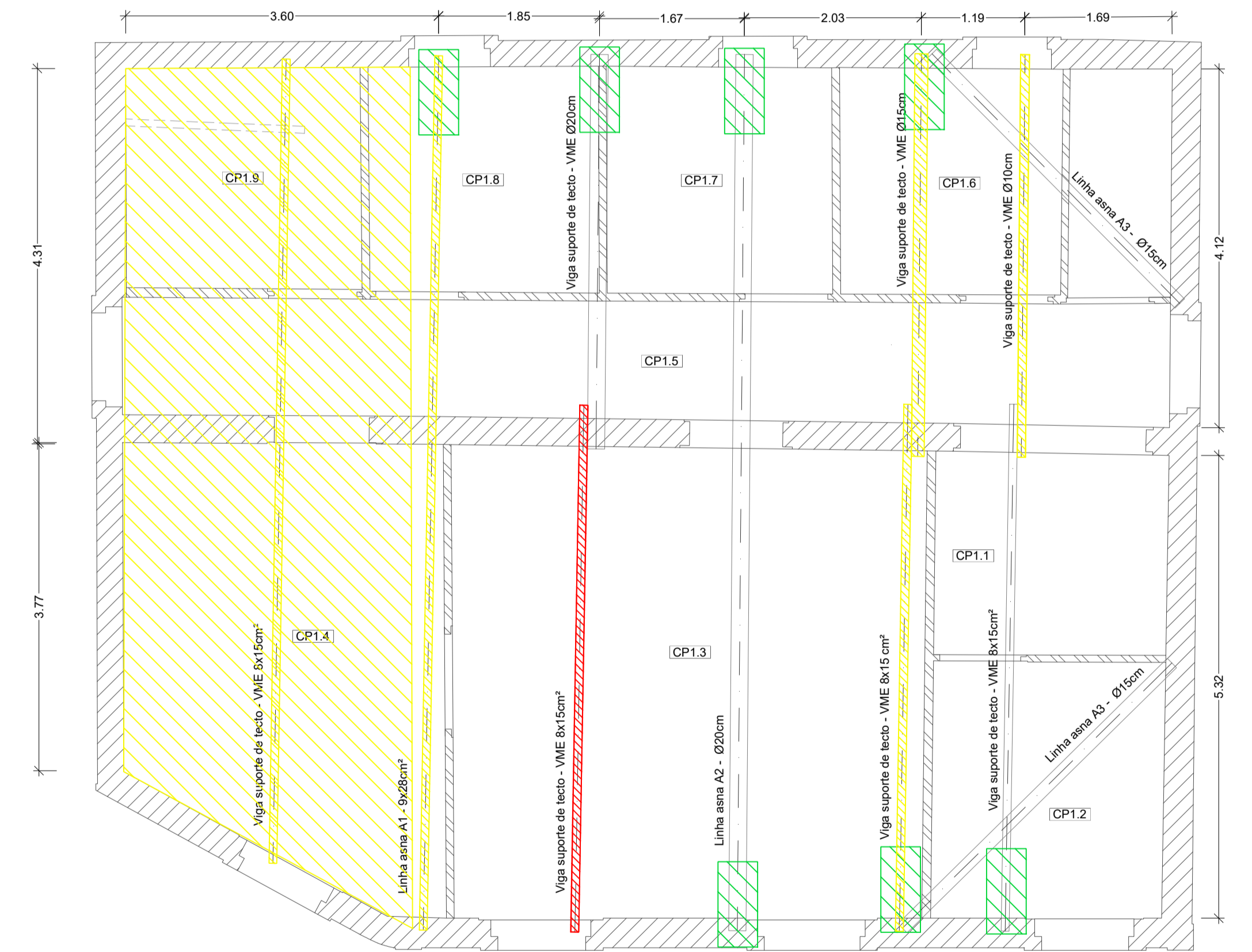


SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

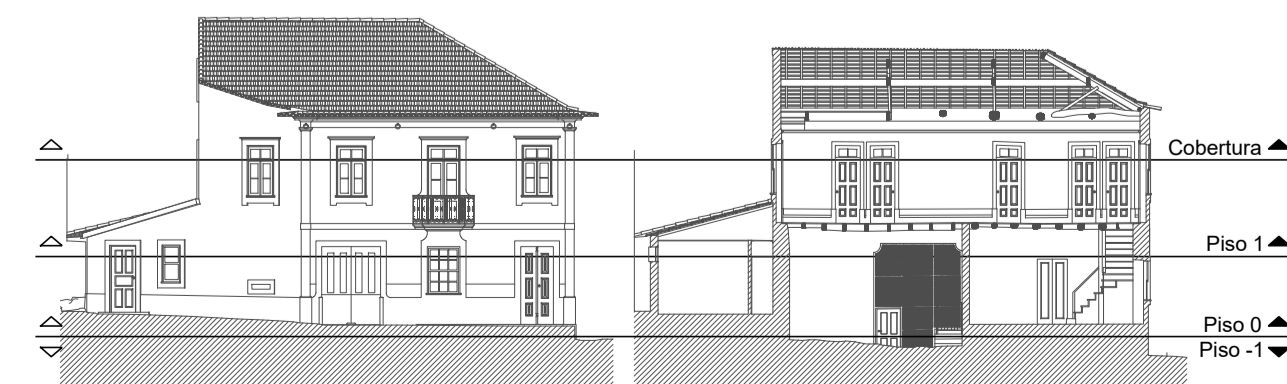
- Elementos estruturais a manter com ações de limpeza, tratamento (com reforço dos apoios degradados)
- Elementos estruturais a manter com ações de limpeza e tratamento, substituição pontual e/ou com necessidade de reforço.
- Elementos estruturais a substituir.

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Edifício na Rua General Humberto Delgado, Miéirós	08/2021	RID
PROJECÇÃO	PROCESSO	ESCALA
RS, FO	TI	1:50
PROJECTO	DESENHO	VERIFICOU
RS, FO	TI	TI
PROJECTO	DESENHO	VERIFICOU
RS, FO	TI	TI

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação de Edifícios e Património, Lda, não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

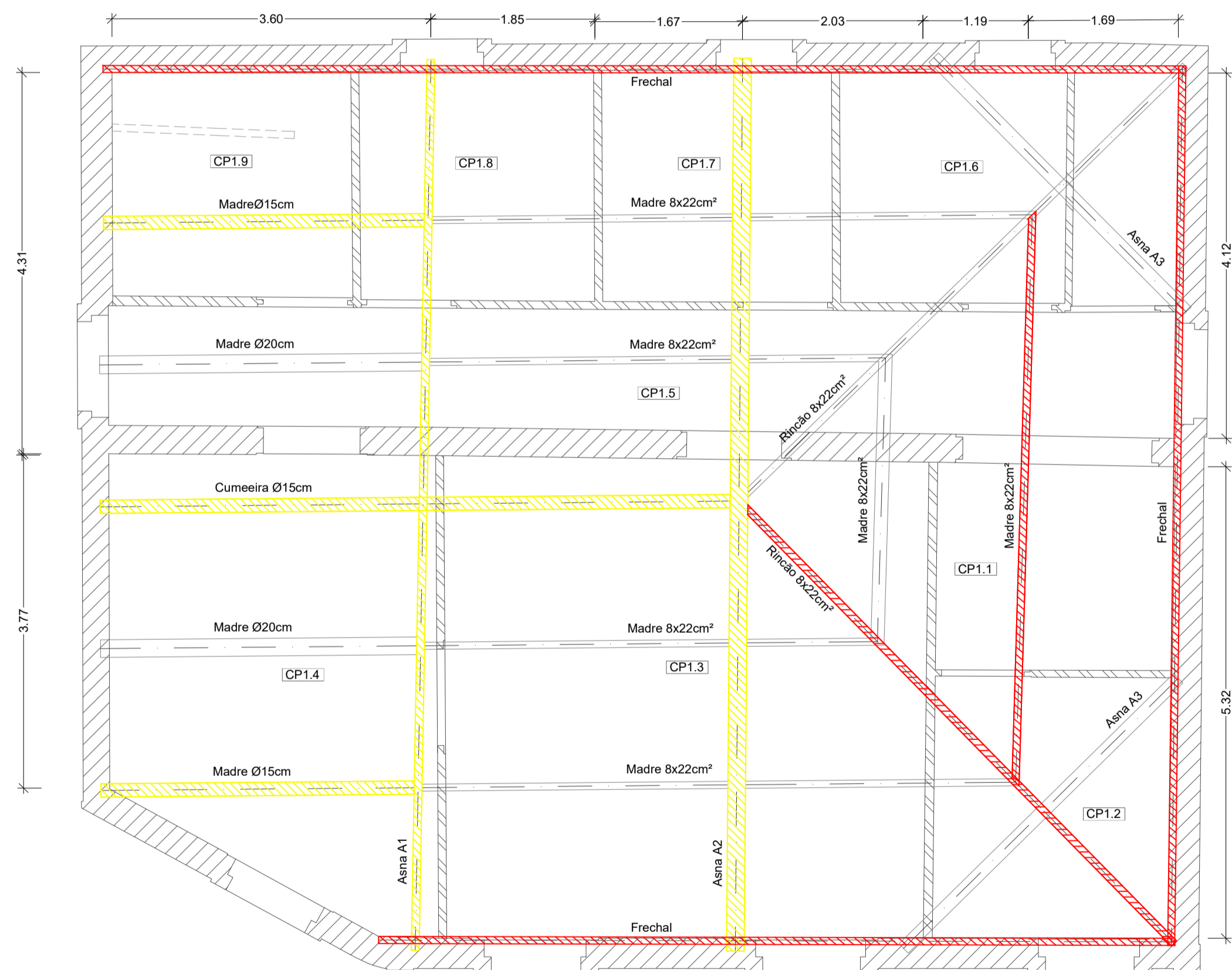


Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala

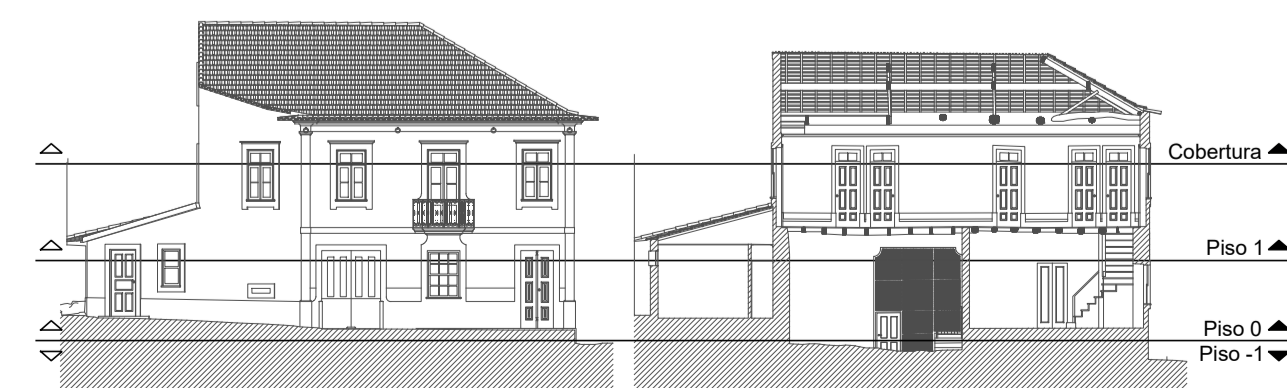


SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
	Elementos estruturais a manter com ações de limpeza, tratamento (com reforço dos apoios degradados)
	Elementos estruturais a manter com ações de limpeza e tratamento, substituição pontual e/ou com necessidade de reforço.
	Elementos estruturais a substituir.

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Edifício na Rua General Humberto Delgado, Mihiórs	08/2021	RID
REGISTO DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL	PROCESSO	ESCALA
Planta estrutural do piso 1 e tecto do piso 1 - Sugestão de intervenção	NCREP_1869P0521	1:50
PROJECTO	DESENHO	APROVADO
RS, FO	TI	TI
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação de Edifícios e Património, Lda, não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.		



Nível de corte das plantas estruturais  
Sem escala



SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO			
	Elementos estruturais a manter com ações de limpeza, tratamento (com reforço dos apoios degradados)		
	Elementos estruturais a manter com ações de limpeza e tratamento, substituição pontual e/ou com necessidade de reforço.		
	Elementos estruturais a substituir.		

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Edifício na Rua General Humberto Delgado, Mihiórs	08/2021	RID
Resumo de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA
Planta estrutural da cobertura - Sugestão de intervenção	NCREP_1869P0521	1:50
PROJECTO	DESENHO	APROVOU
RS, FO	TI	TI
Este documento é propriedade da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edifício e Património, Lda, não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.		



## **ANEXO V – ANÁLISE DO CICLO DE VIDA – INDICADORES AMBIENTAIS**



O conjunto de indicadores ambientais analisados no estudo realizado neste documento foram selecionados de acordo com a norma EN 15978:2011 e são definidos de seguida [33,45]:

- **Potencial de acidificação (Acidification potential – AP)**

A acidificação é o processo que transforma substâncias como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxido de nitrogénio ( $\text{NO}_x$ ) em substâncias ácidas. Estas substâncias, transportadas e depositadas a milhares de quilómetros da fonte, podem causar danos à saúde humana assim como no meio ambiente, afetando materiais naturais e artificiais. Este indicador é expresso em quilogramas equivalentes de dióxido de enxofre por quilograma de emissões para a atmosfera.

- **Potencial de aquecimento global (Global warming potential – GWP100)**

Esta categoria está diretamente associada às alterações climáticas que, potenciadas pela emissão de gases com efeito de estufa, prejudicam a preservação do ecossistema e provocam danos na saúde humana. Este indicador é expresso em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por quilograma de emissões e apresenta um horizonte temporal de 100 anos.

- **Potencial de eutrofização (Eutrophication Potential – EP)**

A eutrofização está relacionada com o excesso de macronutrientes no ambiente, presentes, por exemplo, em fertilizantes de solo. Estes nutrientes podem resultar em excesso de plantas e consequente falta de oxigénio em meios aquáticos, representando um perigo para a vida de algumas espécies. Este indicador está associado às emissões de nitrogénio (N) e fósforo (P) e é expresso em quilogramas equivalentes de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) por quilograma de emissões.

- **Potencial de criação de ozono fotoquímico (Photochemical ozone creation potential – POCP)**

O fenómeno da oxidação fotoquímica consiste na formação de compostos químicos reativos devido à ação da radiação UV, sendo o ozono o principal oxidante fotoquímico formado. Sendo um dos poluentes mais graves da Europa, o ozono pode provocar problemas de saúde, afetar produções agrícolas e prejudicar a biodiversidade. Este indicador é expresso em quilogramas equivalentes de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) por quilograma de emissões para a atmosfera.

- **Potencial de esgotamento de recursos abióticos (Abiotic resources depletion potential – ADP)**

Este indicador está relacionado com a preservação dos ecossistemas na medida em que avalia a diminuição da disponibilidade de recursos naturais. É expresso em quilogramas equivalentes de antimónio (Sb) por quilograma de recurso extraído e baseia-se nas reservas disponíveis e na taxa de diminuição.

- **Potencial de destruição da camada de ozono (*Ozone depletion potential* – ODP)**

A destruição da camada de ozono causa danos na saúde humana, na saúde animal e no equilíbrio dos ecossistemas, uma vez que é diretamente proporcional ao aumento da radiação UV que atinge a superfície terrestre. Este indicador é expresso em quilogramas equivalentes de triclórofluorometano (CFC-11), um dos químicos prejudiciais para a camada de ozono, por quilograma de emissões.

## **ANEXO VI – ANÁLISE DO CICLO DE VIDA – INVENTÁRIO DE MATERIAIS**



Tabela A-VI.1 - Volumes dos materiais demolidos e novos, contabilizados para cada cenário, em cada caso de estudo

Soma de (m³ / m² de edifício)	Alvenaria de granito	Madeira estrutural madeira de Castanho	Madeira estrutural madeira de Pinho	Madeira estrutural lamelada colada	"Xylophene SOR 40" - tratamento curativo (M)	"Xylophene SOR 40" - tratamento preventivo (LC)	Aço	Betão de limpeza	Betão armado*	Betão armado	Vigas pré-esforçadas em betão armado	Abobadilhas em betão leve	Betão - bloco maciço	Total Geral
<b>EDIFÍCIO A</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0050	0,0088	0,0033	0,0079	0,0001	0,0000	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0423
cenário 0 (novo)	0,0038	0,0221	0,0016		0,0002	0,0000	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0531
cenário 1 (demolido)	0,0050	0,0221	0,0016	0,0311	0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0568
cenário 1 (novo)	0,0050	0,0221	0,0016		0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0725
cenário 2 (demolido)	0,0050	0,0221	0,0016	0,0311	0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0568
cenário 2 (novo)	0,0050	0,0221	0,0016		0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0725
cenário 3 (demolido)	0,0050	0,0221	0,0016	0,0311	0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,0563
cenário 3 (novo)	0,0050	0,0221	0,0016		0,0002	0,0002	0,0013	0,0014	0,0059	0,0281	0,0014	0,0044		0,1467
<b>EDIFÍCIO B</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0035	0,0425	0,0004	0,0116	0,0002	0,0000	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0168
cenário 0 (novo)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0985
cenário 1 (demolido)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0538
cenário 1 (novo)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0985
cenário 2 (demolido)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0985
cenário 2 (novo)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0985
cenário 3 (demolido)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,0985
cenário 3 (novo)	0,0425	0,0425	0,0531	0,0531	0,0003	0,0003	0,0021	0,0007	0,0162	0,0133	0,0072	0,0164		0,1743
<b>EDIFÍCIO C</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0079	0,0013	0,0114	0,0114	0,0002	0,0001	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0079
cenário 0 (novo)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0391
cenário 1 (demolido)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0310
cenário 1 (novo)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0658
cenário 2 (demolido)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0310
cenário 2 (novo)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0658
cenário 3 (demolido)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,0310
cenário 3 (novo)	0,0310	0,0396	0,0396	0,0396	0,0002	0,0002	0,0001	0,0260	0,0533	0,0682	0,0073	0,0152		0,1441
<b>EDIFÍCIO D</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0052	0,0155	0,0127	0,0032	0,0002	0,0001	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0071
cenário 0 (novo)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0505
cenário 1 (demolido)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0247
cenário 1 (novo)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0620
cenário 2 (demolido)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0247
cenário 2 (novo)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0620
cenário 3 (demolido)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,0247
cenário 3 (novo)	0,0127	0,0127	0,0120	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0315	0,0315	0,0315	0,0066	0,0066		0,1574
<b>EDIFÍCIO E</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0139	0,0156	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0172
cenário 0 (novo)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0471
cenário 1 (demolido)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0421
cenário 1 (novo)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0760
cenário 2 (demolido)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0421
cenário 2 (novo)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0760
cenário 3 (demolido)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,0421
cenário 3 (novo)	0,0139	0,0139	0,0203	0,0444	0,0001	0,0001	0,0001	0,0313	0,0313	0,0313	0,0066	0,0066		0,1684
<b>EDIFÍCIO F</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0201
cenário 0 (novo)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0317
cenário 1 (demolido)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0453
cenário 1 (novo)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0579
cenário 2 (demolido)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0453
cenário 2 (novo)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0579
cenário 3 (demolido)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,0453
cenário 3 (novo)	0,0021	0,0120	0,0077	0,0205	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0058	0,0058	0,0028	0,0028		0,1403
<b>EDIFÍCIO G</b>														
cenário 0 (demolido)	0,0505	0,0082	0,0182	0,0014	0,0001	0,0000	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0567
cenário 0 (novo)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0663
cenário 1 (demolido)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0590
cenário 1 (novo)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0871
cenário 2 (demolido)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0590
cenário 2 (novo)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0871
cenário 3 (demolido)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,0590
cenário 3 (novo)	0,0505	0,0505	0,0393	0,0303	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0344	0,0040	0,0105	0,0112		0,1534

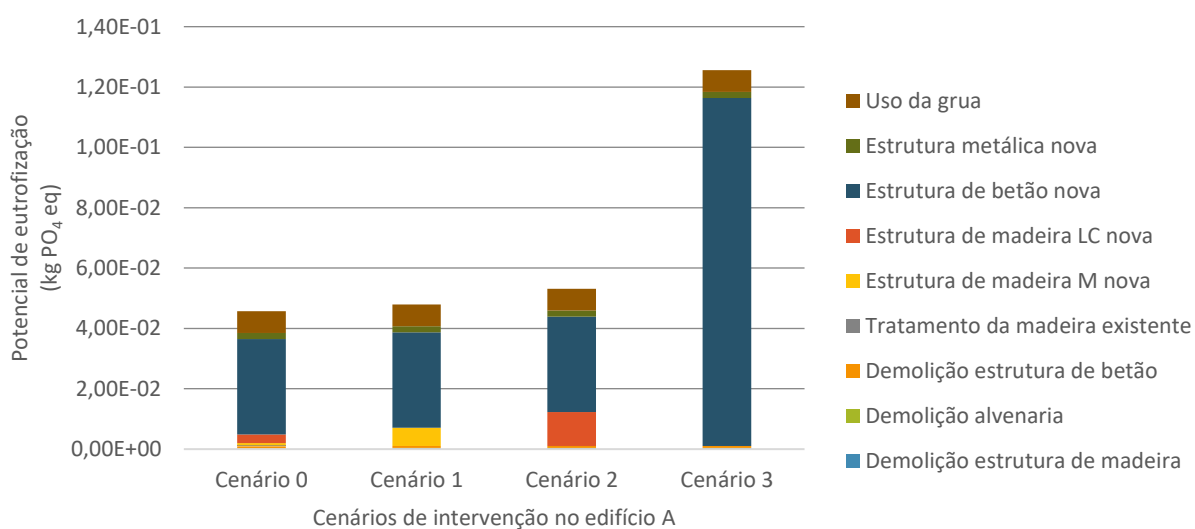
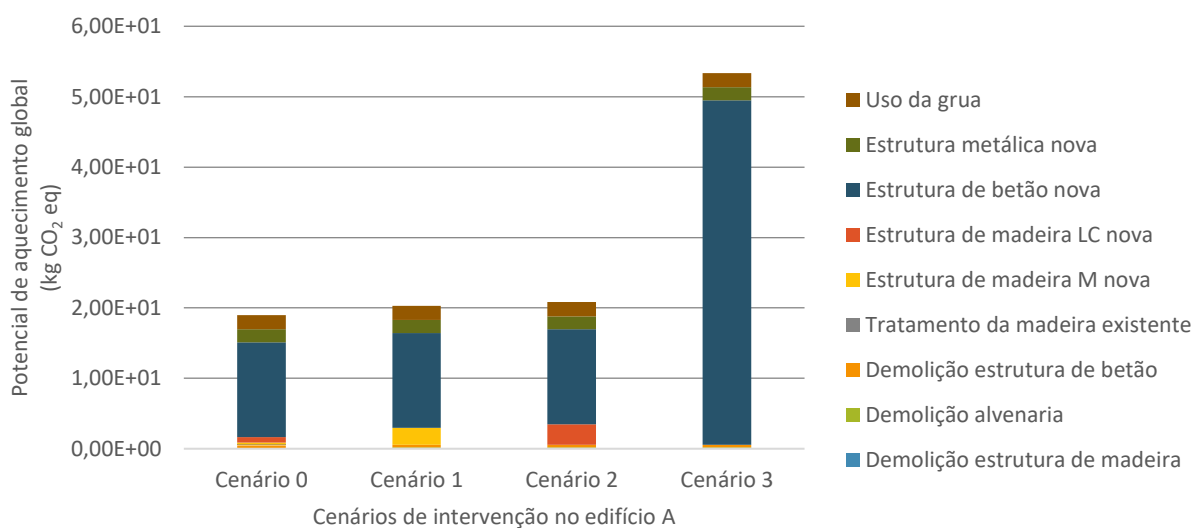
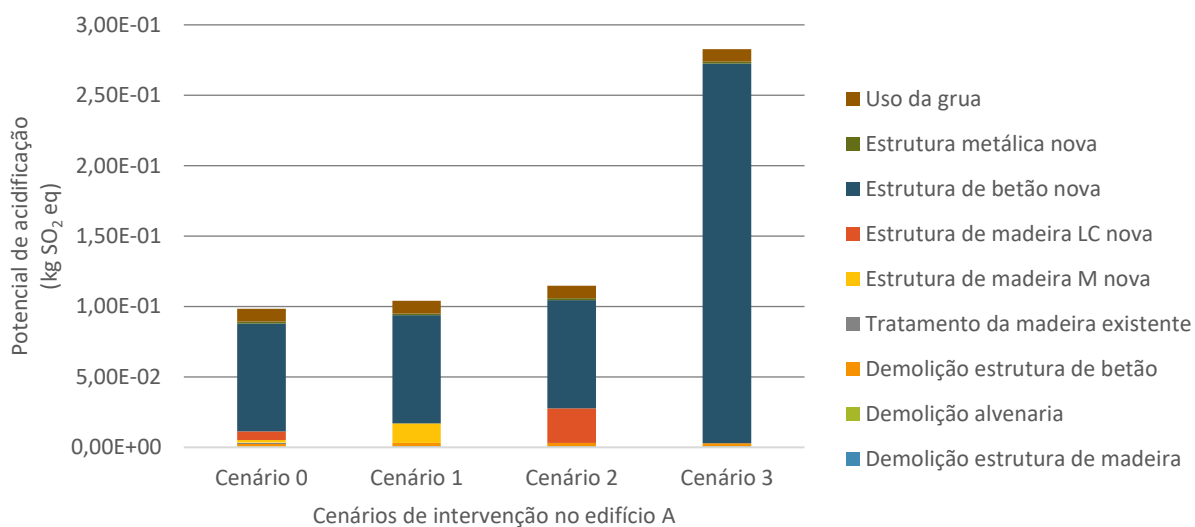
Tabela A-VI.2 - Massa dos materiais demolidos e novos, contabilizados para cada cenário, em cada caso de estudo

Soma de (kg /m2 de edificio)	Alvenaria de granito	Madeira estrutural madeira de Castanho	Madeira estrutural madeira de Pinho	Madeira estrutural lamelada colada	%Xylophene SOR 40* - tratamento curativo (W)	%Xylophene SOR 40* - tratamento preventivo (LC)	Aço	Betão de limpeza	Betão armado*	Betão armado	Vigas pré-fabricadas em betão armado	Alobaalhãs em betão leve	Betão - bloco maciço	Total Geral
<b>EDIFÍCIO A</b>														
cenário 0 (demolido)	13,2650	5,6616	0,1385	3,0075	0,0970	0,0264	0,0322	3,5427	15,1106	71,7520	3,5423	7,5110	90,8171	112,9070
cenário 0 (novo)	1,5887	1,5887	0,6559						15,1106	68,3946	3,5423	7,5110	99,8124	121,3721
cenário 1 (demolido)	13,2650	14,1395	13,0692		0,1477	0,1477	10,0540	3,5427	15,1106	71,7520	3,5423	7,5110	99,8124	121,3721
cenário 1 (novo)	13,2650	14,1395	0,6559				10,0540	3,5427	15,1106	68,3946	3,5423	7,5110	120,1495	149,8890
cenário 2 (demolido)	13,2650	14,1395	0,4618	11,8465		0,1477	10,0540	3,5427	15,1106	71,7520	3,5423	7,5110	99,8124	121,3721
cenário 2 (novo)	13,2650	14,1395					10,0540	3,5427	0,0284	234,8732	18,3154	27,9125	294,7761	385,1456
cenário 3 (demolido)	13,2650	14,1395		4,4064	0,1624	0,0035	16,6265	1,7432	41,2144	33,6786	18,3154	27,9125	92,0033	115,2788
cenário 3 (novo)	13,2650	14,1395					16,6265	1,7432	41,2144	33,6786	18,3154	27,9125	92,0033	115,2788
cenário 0 (demolido)	2,2569	0,1846	22,3180	20,1925	0,1805	0,0665	16,6265	1,7432	165,0080	168,3953	38,4165	43,7556	5,0833	222,8489
cenário 0 (novo)	2,2569	0,1846	22,3180	20,1925	0,1805	0,0665	16,6265	1,7432	165,0080	168,3953	38,4165	43,7556	5,0833	222,8489
cenário 1 (demolido)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 1 (novo)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 2 (demolido)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 2 (novo)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 3 (demolido)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 3 (novo)	27,2044	27,2044			0,1897	0,1897	16,6265	1,7432	66,3000	66,3000	18,7164	25,9340	19,8088	107,3818
cenário 0 (demolido)	3,3208	6,4918	8,1009	1,2265	0,1308	0,0665	16,6265	0,0167	80,3930	80,3930	24,8096	27,7274	41,1792	138,9192
cenário 0 (novo)	3,3208	6,4918	8,1009	1,2265	0,1308	0,0665	16,6265	0,0167	80,3930	80,3930	24,8096	27,7274	41,1792	138,9192
cenário 1 (demolido)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
cenário 1 (novo)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
cenário 2 (demolido)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
cenário 2 (novo)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
cenário 3 (demolido)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
cenário 3 (novo)	8,1009	12,7274	5,0993	11,5153	0,1568	0,1568	16,6265	0,1568	155,8464	179,3628	42,8405	39,7066	86,6067	245,1734
<b>EDIFÍCIO E</b>														
cenário 0 (demolido)	36,8524	0,8079	6,5379	7,7910	0,0984	0,0656	10,448	0,8531	79,9000	3,5190	16,8989	7,0758	41,1792	86,6067
cenário 0 (novo)	36,8524	0,8079	6,5379	7,7910	0,0984	0,0656	10,448	0,8531	79,9000	3,5190	16,8989	7,0758	41,1792	86,6067
cenário 1 (demolido)	35,4216	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
cenário 1 (novo)	35,4216	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
cenário 2 (demolido)	36,8524	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
cenário 2 (novo)	36,8524	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
cenário 3 (demolido)	36,8524	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
cenário 3 (novo)	36,8524	0,7455	18,6672	16,9030	0,1999	0,1999	10,448	0,8531	79,9000	16,8989	16,8989	7,0758	62,6459	118,4918
<b>EDIFÍCIO F</b>														
cenário 0 (demolido)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 0 (novo)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 1 (demolido)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 1 (novo)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 2 (demolido)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 2 (novo)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 3 (demolido)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
cenário 3 (novo)	5,4874	0,2963	11,1759	18,1055	0,0982	0,2117	11,764	0,8531	191,3952	14,8512	42,8405	39,7066	26,5716	265,716
<b>EDIFÍCIO G</b>														
cenário 0 (demolido)	80,9271	0,9247	3,4306	0,5185	0,0889	0,0474	0,9207	0,8721	87,7608	10,1567	26,8577	28,5192	92,0085	149,0323
cenário 0 (novo)	80,9271	0,9247	3,4306	0,5185	0,0889	0,0474	0,9207	0,8721	87,7608	10,1567	26,8577	28,5192	92,0085	149,0323
cenário 1 (demolido)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363
cenário 1 (novo)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363
cenário 2 (demolido)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363
cenário 2 (novo)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363
cenário 3 (demolido)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363
cenário 3 (novo)	80,9271	7,6324	12,7325	11,5299	0,1259	0,1259	16,6265	0,8721	87,7608	16,0539	26,8577	28,5192	104,6134	161,1363

## **ANEXO VII – ANÁLISE DO CICLO DE VIDA – RESULTADOS**

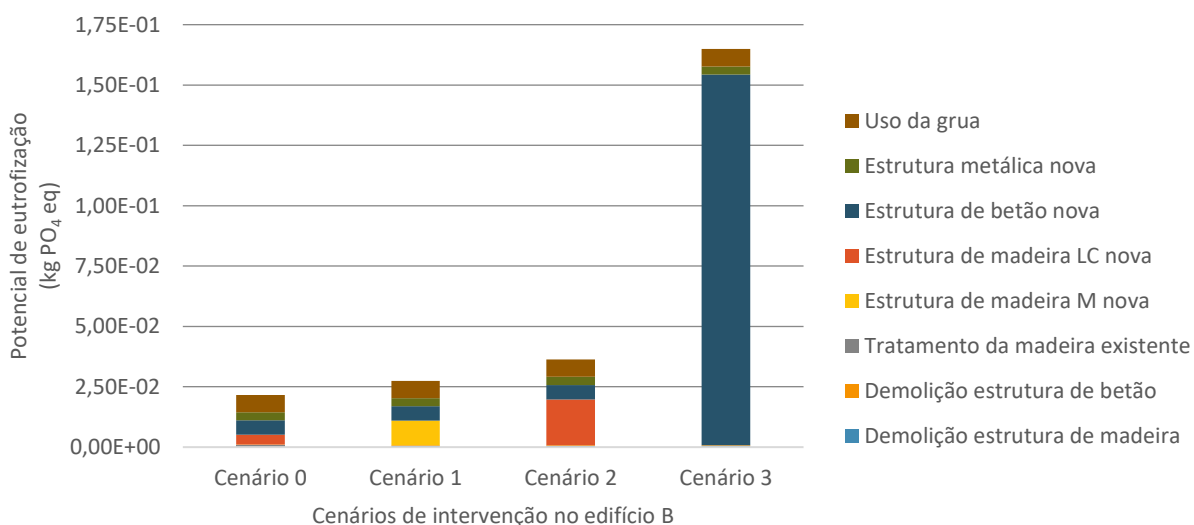
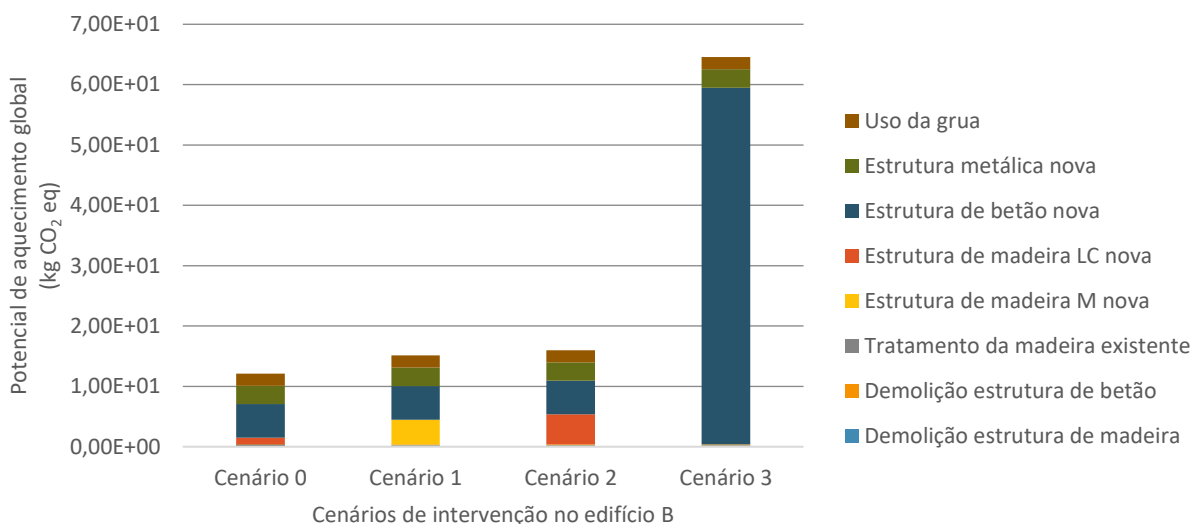
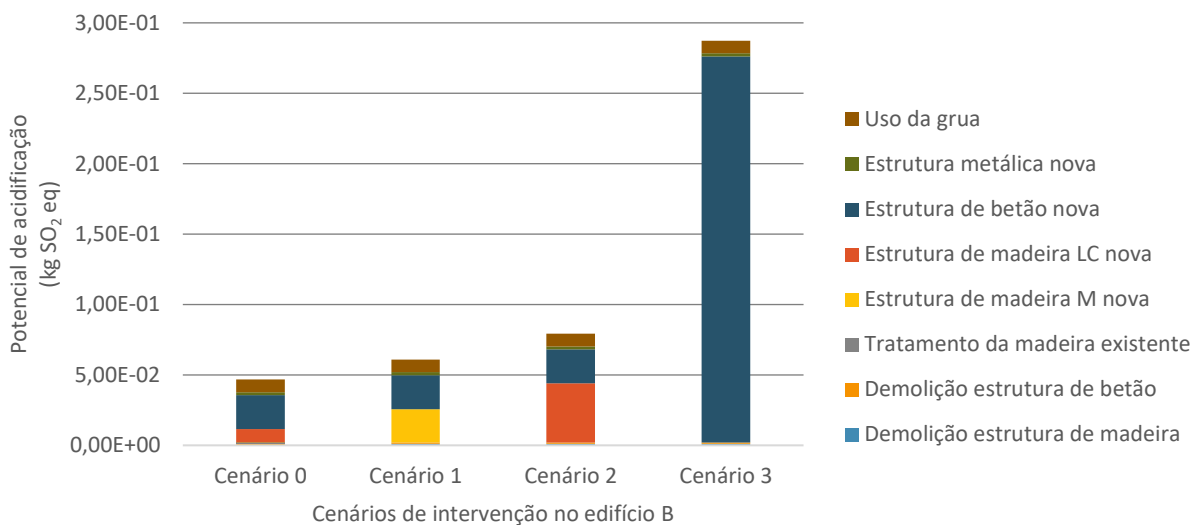


## EDIFÍCIO A

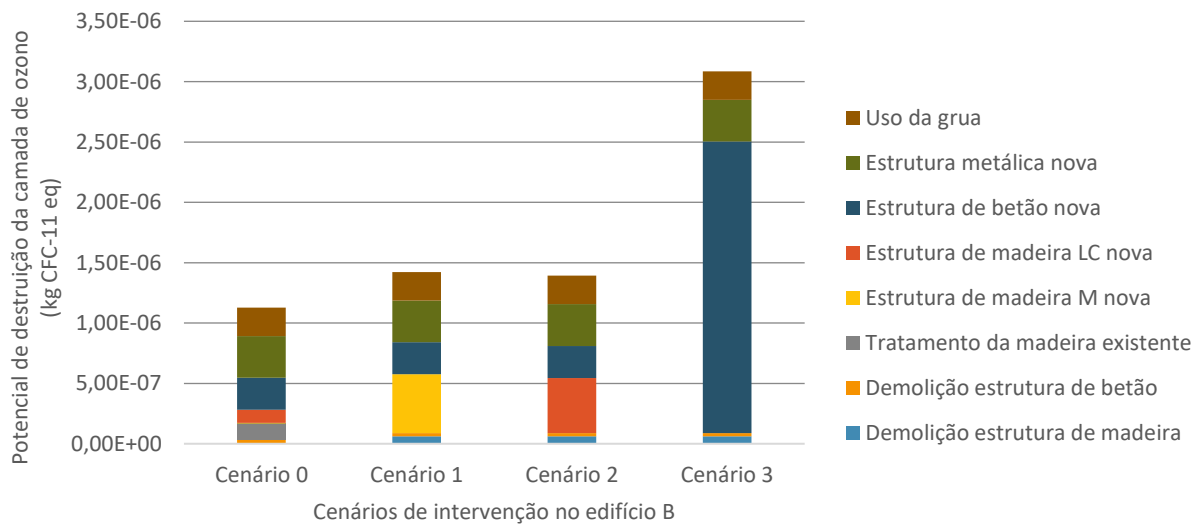
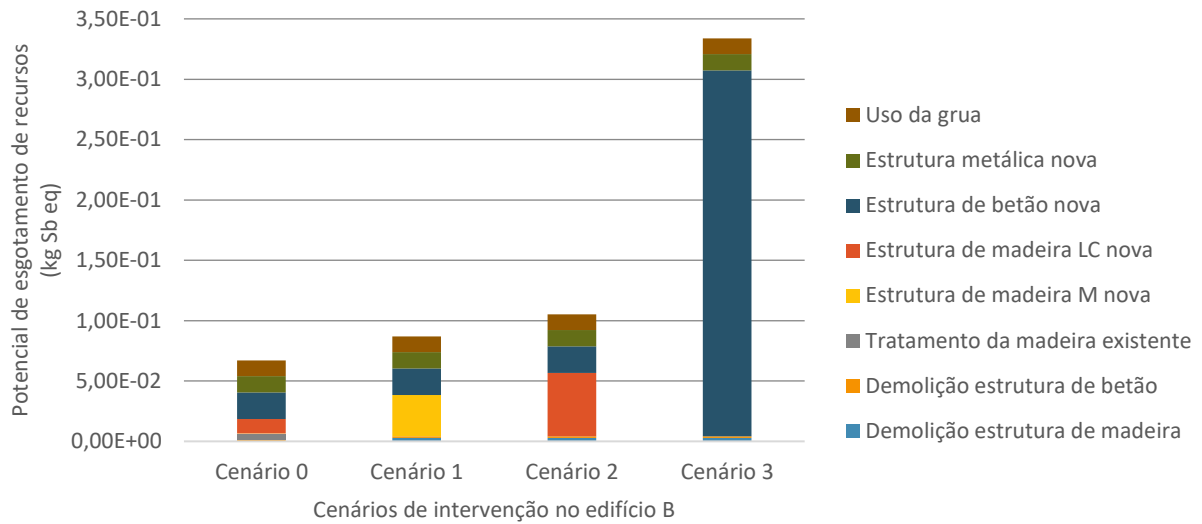
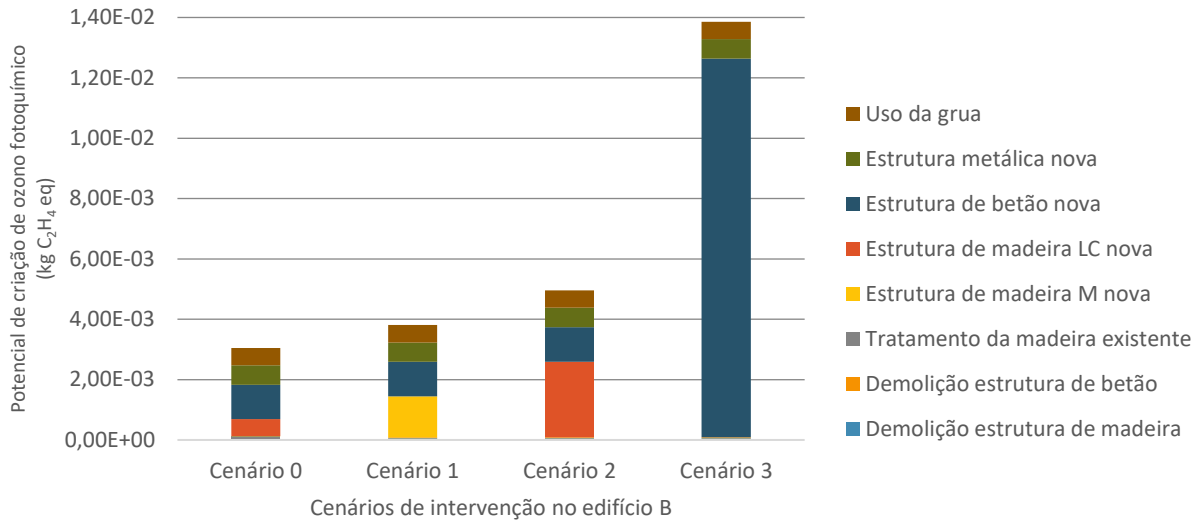




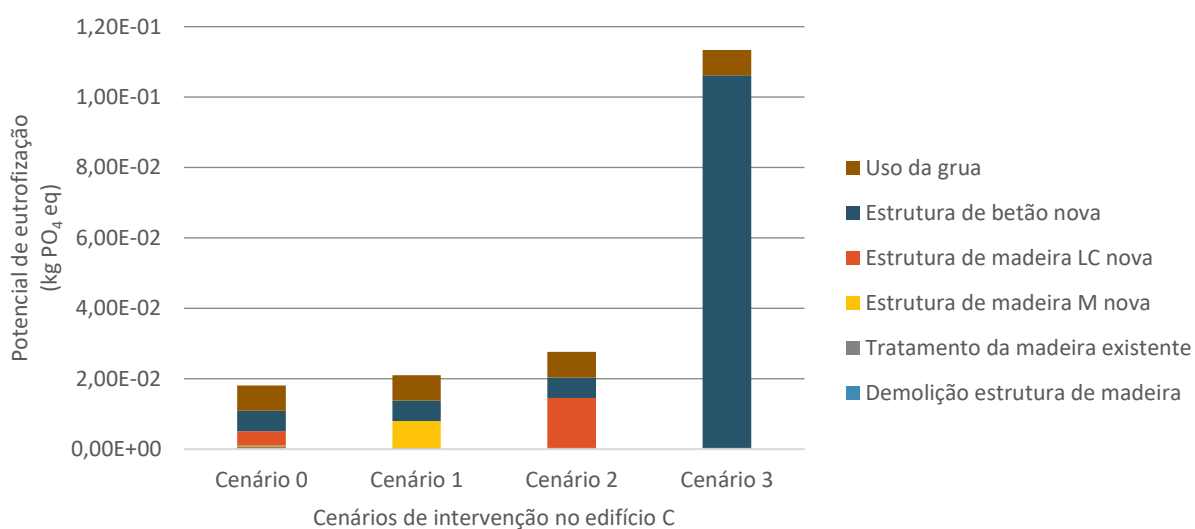
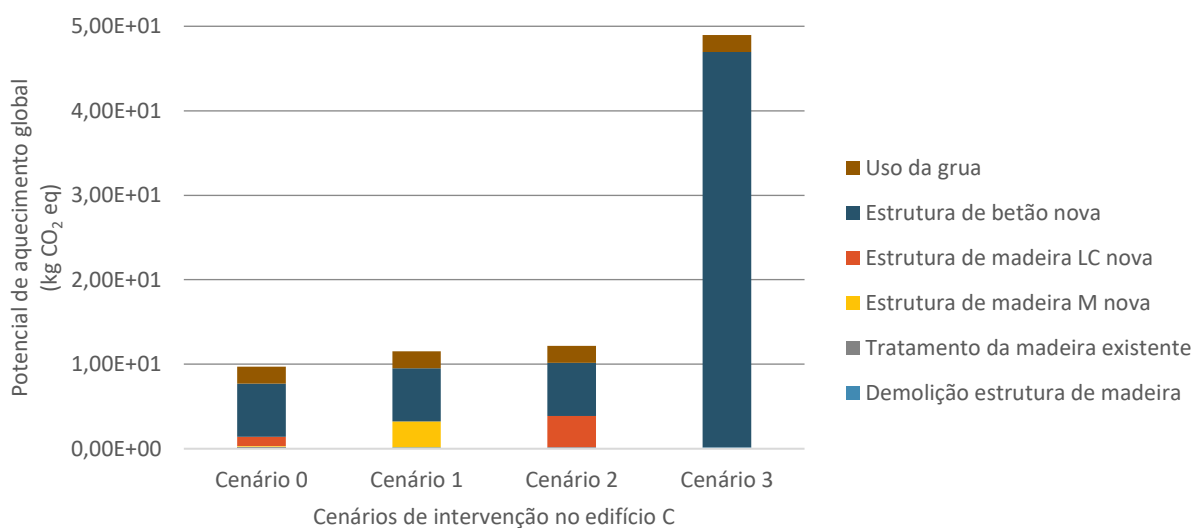
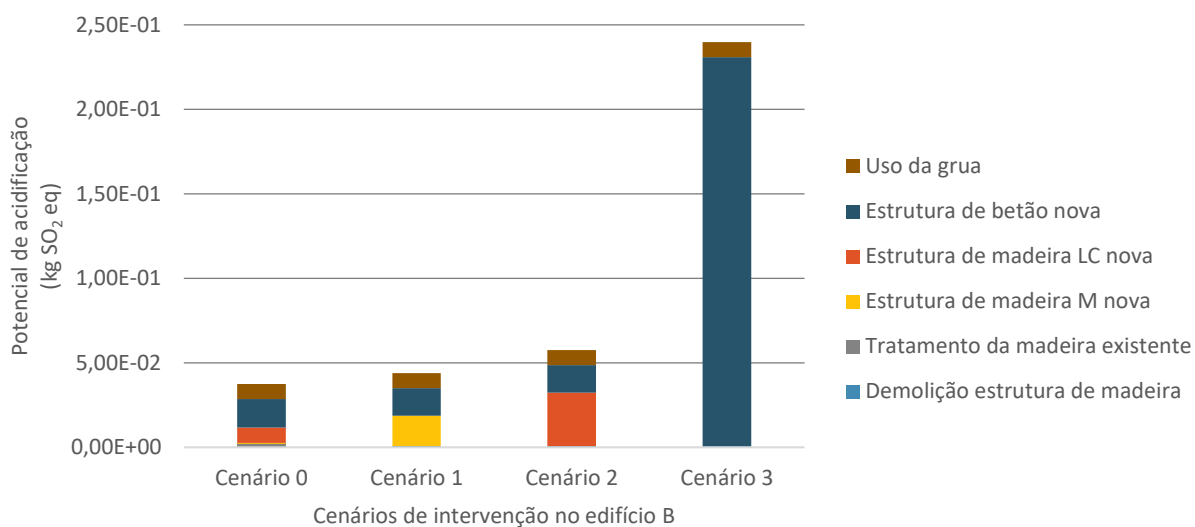
### EDIFÍCIO B



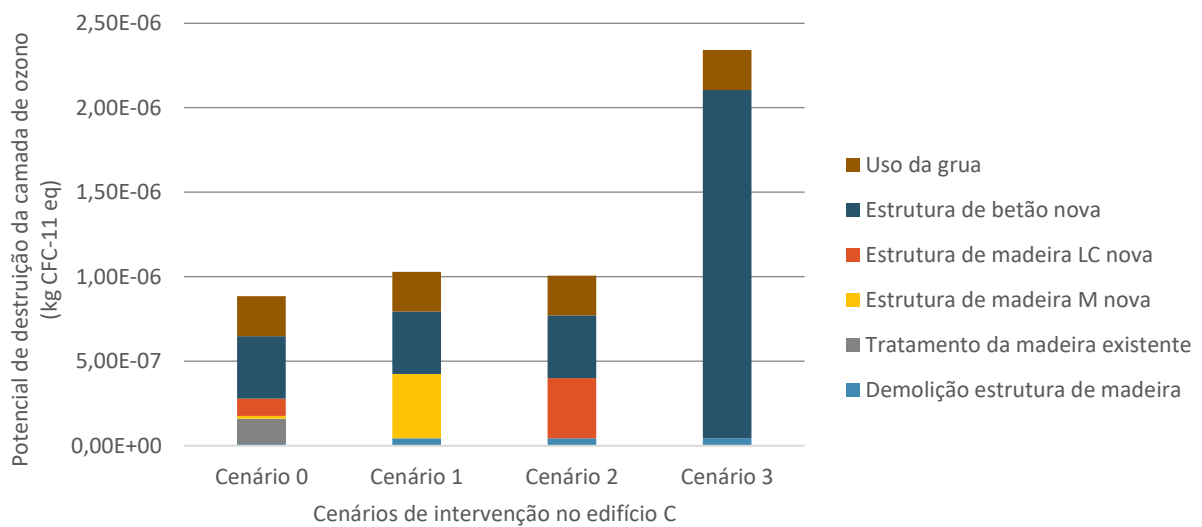
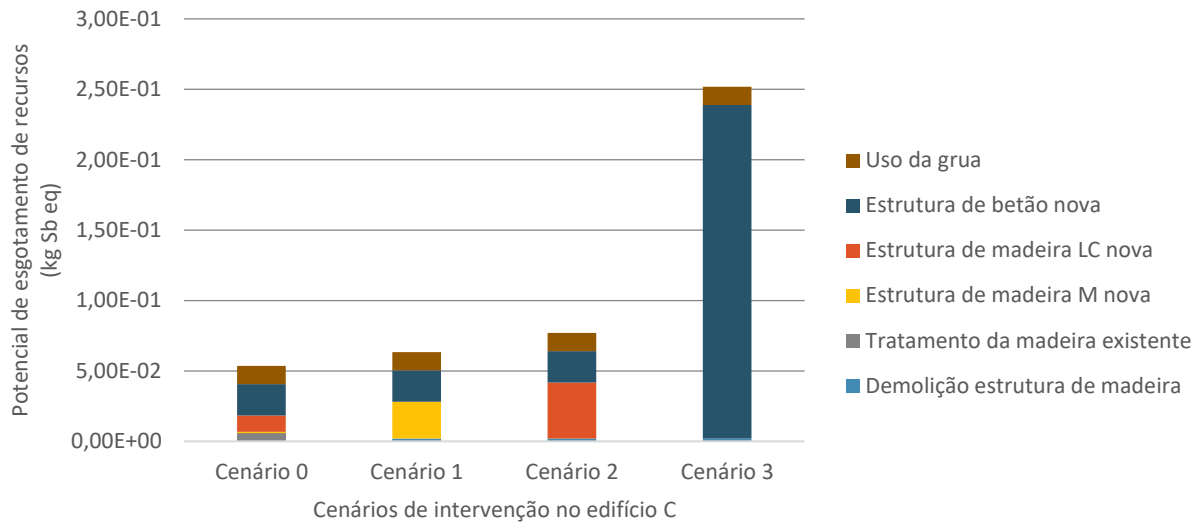
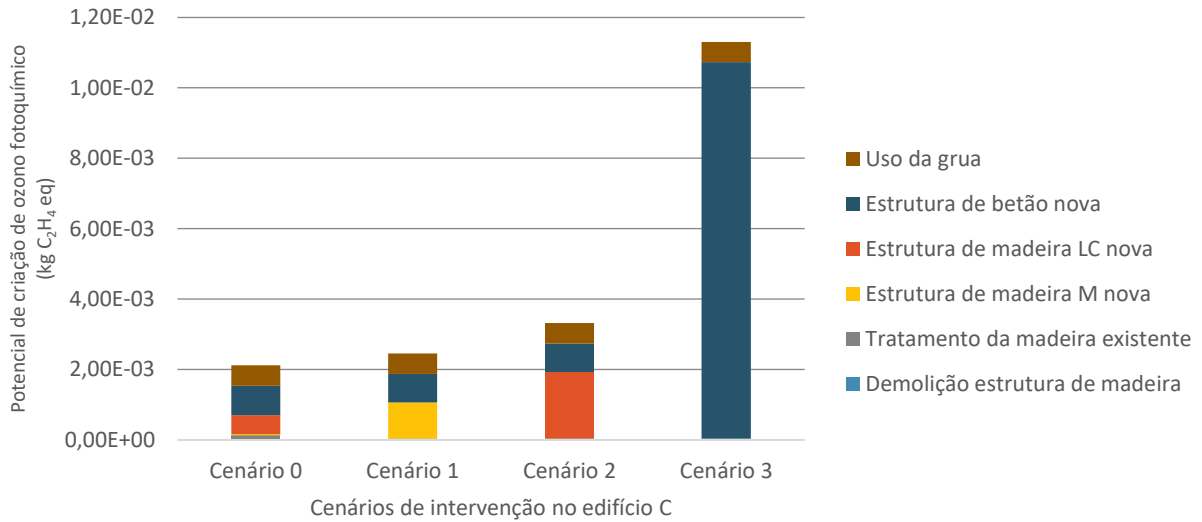
ANEXO VII



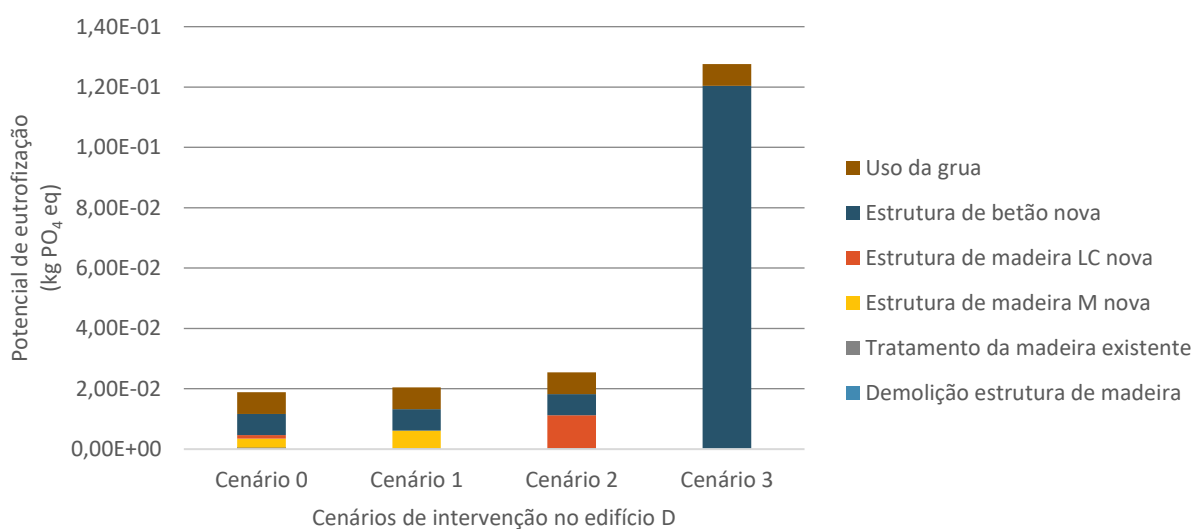
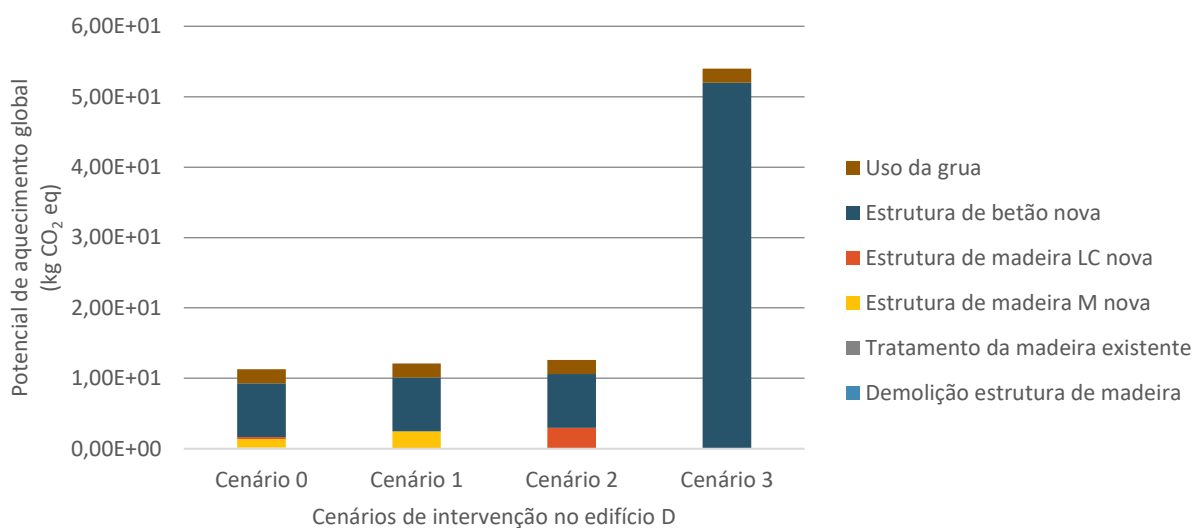
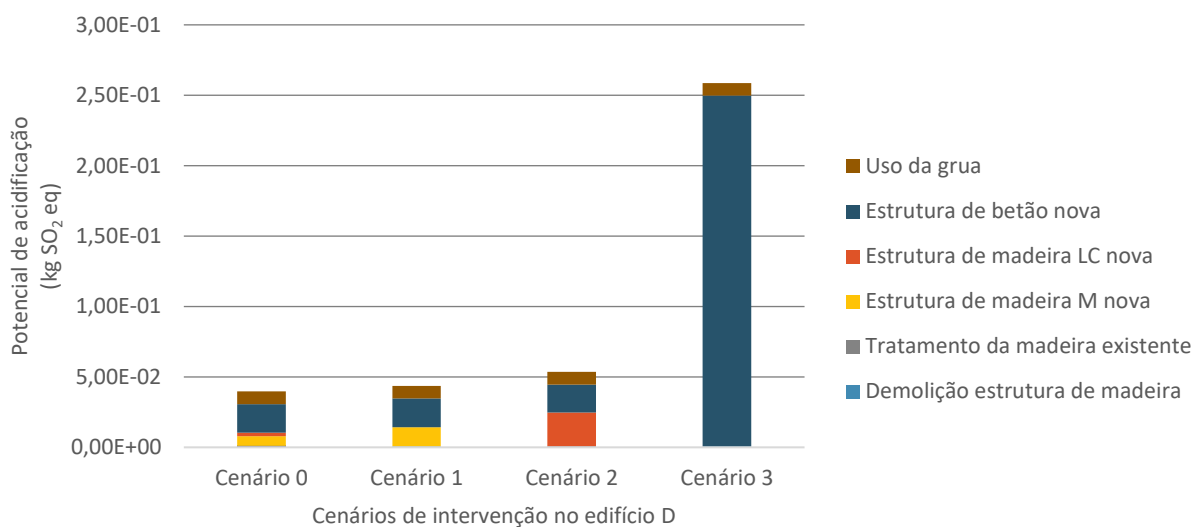
## EDIFÍCIO C



ANEXO VII



## EDIFÍCIO D



ANEXO VII

