



Inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural e o impacto do consumo de água na reabilitação de edifícios

FRANCISCO DANIEL CARVALHO ALVES

outubro de 2023



Inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural e o impacto do consumo de água na reabilitação de edifícios

FRANCISCO DANIEL CARVALHO ALVES

Setembro de 2023

INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO ESTRUTURAL E O IMPACTO DO CONSUMO DE ÁGUA NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

FRANCISCO DANIEL CARVALHO ALVES

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

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS

Orientador: Alexandre Aníbal Meira Guimarães da Costa

Supervisor: Bruno Luís Quelhas da Silva (NCREP)

JULHO DE 2023

Eu, Francisco Daniel Carvalho Alves, estudante nº1180698, 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 e o impacto do consumo de água na reabilitação de edifícios**” 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, 2023/07/08

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	9
CAPÍTULO 4 Casa Leça da Palmeira – Inspeção e diagnóstico estrutural	33
CAPÍTULO 5 Casa Bairros (cobertura) – Projeto de execução.....	59
CAPÍTULO 6 Consumo de água na reabilitação de edifícios	81
CAPÍTULO 7 Considerações finais	117
Referências Bibliográficas	121
ANEXO I – Casa Leça da Palmeira – Peças desenhadas RID	
ANEXO II – Casa Leça da Palmeira – Resultado dos ensaios com o <i>Resistograph</i> ®	
ANEXO III – Casa Bairros – Projeto de execução	
ANEXO IV – Casa Bairros – Resultado dos ensaios com o <i>Resistograph</i> ®	
ANEXO V – Consumo de água na reabilitação de edifícios – Dados e resultados	

RESUMO

O presente documento visa apresentar os trabalhos desenvolvidos, em ambiente de estágio curricular, realizado no NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e do Património. A empresa atua na área da conservação e reabilitação de edifícios existentes, maioritariamente, prestando serviços de consultoria, inspeção e diagnóstico, monitorização de edifícios e projeto no âmbito da reabilitação de edifícios.

Em ambiente de estágio foram diversas as participações em campanhas de inspeção e diagnóstico, sendo apresentadas neste documento dois casos práticos: Casa Leça da Palmeira e cobertura da Casa Bairros, do qual resultaram relatórios de inspeção e diagnóstico, avaliações de segurança e projeto de reforço estrutural.

Por fim, foi realizado um estudo sobre o consumo de água na reabilitação de edifícios, através de uma análise do ciclo de vida dos mesmos. Este estudo teve como objetivo complementar e aumentar as bases de dados existentes no NCREP e que têm como função avaliar a sustentabilidade das intervenções de reabilitação de edifícios projetadas pela empresa. Inicialmente, o estudo consistiu na medição/levantamento das quantidades de materiais existentes, demolidos e novos em cada caso de estudo. Em seguida, foi realizada uma pesquisa bibliográfica intensiva com o intuito de avaliar o consumo de água no fabrico de matéria-prima e processos de construção civil. No final, foi estabelecida a comparação direta do consumo de água entre o projeto de execução projetado pelo NCREP (cenário 1) e um cenário de demolição integral do interior e reconstrução em betão armado (cenário 2).

O estudo permitiu ainda confirmar os pressupostos iniciais onde mostra que uma intervenção baseada na inspeção e diagnóstico para além de apresentar vantagens significativas do ponto de vista do consumo de água, corrobora que a maior vantagem neste tipo de abordagens é a preservação inestimável da fonte de recursos presente no edificado já construído e que essa não pode ser ignorada.

Palavras-chave: Inspeção e diagnóstico, reabilitação de edifícios, projeto de reforço estrutural, consumo de água, análise ciclo de vida

ABSTRACT

This document aims to present the work carried out during and internship at NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e do Património. The company works in the field of conservation and rehabilitation of existing buildings, providing services such as consultancy, inspection and diagnosis, building monitoring, and rehabilitation project design.

During the internship, there was an active participation in various inspection and diagnoses campaigns. This document presents two practical cases: Casa Leça da Palmeira and Casa Bairros – Timber roof. These cases resulted in inspection and diagnosis reports, safety assessments and structural rehabilitation projects.

Finally, a study was conducted on water consumption in building rehabilitation through a life cycle assessment. The objective of this study was to complement and expand the existing databases at NCREP, which aim to assess the sustainability of the rehabilitation interventions designed by the company. Initially, the study involved measuring/surveying the quantities of existing, demolished, and new materials in each case study. Following, an intensive literature review was performed to evaluate water consumption during raw material production and construction processes. Finally, a direct comparison of water consumption was established between the execution project designed by NCREP (scenario 1) and a scenario of a complete interior demolition and reconstruction using reinforced concrete (scenario 2).

The study also allowed confirming the initial assumptions, showing that an intervention based on inspection and diagnosis not only presents significant advantages from a water consumption perspective but also corroborates that the greatest advantage in this type of approach is the invaluable preservation of the resource source within the existing built environment, which cannot be ignored.

Keywords: Inspection and diagnosis, building rehabilitation, structural reinforcement design, water consumption, life cycle assessment

AGRADECIMENTOS

Quero começar por agradecer ao meu orientador, Professor Alexandre Costa, pela sua orientação, conhecimento, apoio incondicional e exigência que lhe é tão característica. Ao empenho e rigor por que se pauta e a forma como motiva e incentiva.

Ao engenheiro Bruno Quelhas e à engenheira Renata Silva por acompanharem de perto o trabalho desenvolvido, contribuindo sempre para o sucesso do mesmo. Pelos conhecimentos partilhados e ajuda na compreensão dos mesmos.

Um agradecimento especial a todos os elementos do NCREP, pela boa disposição e forma como me acolheram. Pela partilha de conhecimento e integração nas atividades práticas que sem dúvida contribuírem para a experiência adquirida.

Ao ISEP, aos bons docentes que nele encontrei ao longo do percurso, às pessoas que se tornaram amigas e cujo apoio e suporte foi fundamental para o meu crescimento académico e pessoal.

À minha irmã, por me fazer querer ser melhor e ser um exemplo. Aos meus amigos, pela paciência, pela amizade e suporte. À Francisca, por estar a acompanhar de perto o crescimento, por acreditar em mim, pelo amor e companheirismo.

Por fim, aos meus pais, quero agradecer por respeitarem as minhas decisões e acreditarem em mim. Por contribuírem para o meu sucesso académico e pelo apoio financeiro que tornou possível concluir os meus estudos, sem nunca deixarem que me faltasse nada. Obrigado por isso.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	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	9
3.1	Introdução.....	9
3.2	Inspeção e diagnóstico estrutural.....	10
3.3	Ensaio de diagnóstico.....	12
3.4	Reabilitação Estrutural.....	15
3.4.1	Verificação de segurança de estruturas de alvenaria de pedra	15
3.4.2	Verificação de segurança de estruturas de madeira	15
3.4.3	Medidas de intervenção	28
CAPÍTULO 4	Casa Leça da Palmeira – Inspeção e diagnóstico estrutural	33
4.1	Introdução.....	33
4.2	Descrição do edifício	34
4.3	Caracterização construtiva e estrutural.....	35
4.3.1	Estrutura vertical	38
4.3.2	Estrutura horizontal.....	39

4.3.3	Estrutura da cobertura	42
4.4	Ações de inspeção e realização de ensaios.....	43
4.5	Danos estruturais.....	44
4.5.1	Fissuração em paredes de alvenaria de pedra	44
4.5.2	Degradação material da madeira	45
4.5.3	Deformação	46
4.5.4	Presença de água no interior do edifício	46
4.6	Avaliação de segurança estrutural.....	47
4.6.1	Avaliação de segurança das paredes de alvenaria de pedra	48
4.6.2	Avaliação de segurança das estruturas de madeira	48
4.7	Sugestão de medidas de intervenção	55
CAPÍTULO 5 Casa Bairros (cobertura) – Projeto de execução.....		59
5.1	Introdução.....	59
5.2	Caracterização dos elementos estruturais da cobertura.....	62
5.3	Caracterização dos danos estruturais.....	64
5.4	Avaliação de segurança estrutural.....	67
5.5	Projeto de execução.....	71
5.5.1	Medidas de intervenção	71
5.5.2	Dimensionamento dos elementos estruturais em madeira.....	73
5.5.3	Dimensionamento das ligações.....	76
CAPÍTULO 6 Consumo de água na reabilitação de edifícios.....		81
6.1	Introdução e enquadramento.....	81
6.2	Estado de arte	82
6.2.1	LCA da pegada hídrica da reabilitação de edifícios	82
6.2.2	Conceito de água virtual e pegada hídrica	86
6.3	Objetivos e âmbito.....	87
6.4	Apresentação dos casos de estudos	89

6.5	Avaliação do consumo de água	95
6.5.1	Definição da abordagem e limites	95
6.5.2	Definição dos valores de consumo de água	97
6.5.3	Inventário do Ciclo de Vida (LCI).....	104
6.6	Apresentação e discussão de resultados	109
CAPÍTULO 7	Considerações finais	117
7.1	Conclusões	117
7.2	Principais dificuldades	119
7.3	Desenvolvimentos futuros.....	120
	Referências Bibliográficas	121
	ANEXO I – Casa Leça da Palmeira – Peças desenhadas RID	
	ANEXO II – Casa Leça da Palmeira – Resultado dos ensaios com o <i>Resistograph</i> ®	
	ANEXO III – Casa Bairros – Projeto de execução	
	ANEXO IV – Casa Bairros – Resultado dos ensaios com o <i>Resistograph</i> ®	
	ANEXO V – Calculadora consumo de água	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Logotipo NCREP.....	5
Figura 2.2 - Fotos gerais, casos de estudo.....	8
Figura 3.1 - Exemplos de ensaios não destrutivos de caracterização de estruturas	14
Figura 3.2 - Fator m para diferentes condições de apoio e carregamento (Costa, 2015)	22
Figura 3.3 - Comprimentos de encurvadura em diferentes condições de apoio (Costa, 2015)	23
Figura 3.4 - Componentes da flecha (LNEC, 2008).....	26
Figura 3.5 – Efeito das ações de manutenção no prolongamento de vida útil dos edifícios (Sampaio, 2017)	29
Figura 3.6 - Exemplo ilustrativo da realização de um entalhe (Costa, 2015).....	31
Figura 3.7 - Reforço na entrega de uma viga com recurso a chapa metálica(Costa, 2015).....	31
Figura 3.8 – Exemplo de uma medida para rigidificar diafragmas (Costa, 2015)	32
Figura 4.1 - Localização do edifício em estudo (https://www.google.com/maps)	34
Figura 4.2 - Desenhos gerais dos alçados da fachada principal e de tardoz do edifício (20220119_EP_Hummel_House – Elementos recebidos NCREP).....	35
Figura 4.3 - Identificação em planta do edifício original e alterações posteriores	38
Figura 4.4 - Planta do piso 1 - constituição das paredes.....	38
Figura 4.5 – Fotos gerais da estrutura vertical	39
Figura 4.6 - Planta estrutural do piso 2	41
Figura 4.7 –Fotos gerais da estrutura horizontal	41
Figura 4.8 - Fotos gerais da cobertura e alçado tipo da asna.....	42
Figura 4.9 - Exemplo de ações de inspeção e ensaios realizadas.....	43
Figura 4.10 - Degradação do reboco de revestimento da parede de alvenaria lateral Sul do terraço com fissuração associada.....	44

Figura 4.11 - Estado de conservação das vigas de madeira dos pavimentos.....	45
Figura 4.12 – Resultado ensaio Resistograph® - viga de pavimento do piso 1 em bom estado de conservação.....	45
Figura 4.13 - Teto do piso 1 junto à fachada de tardoz.....	46
Figura 4.14 - Degradação material por presença de humidade.....	47
Figura 4.15 - Pavimento tipo marcado a vermelho (Planta estrutural do piso 2).....	51
Figura 4.16 - Pavimento com carga da parede de tabique do piso superior marcado a amarelo (Planta estrutural do piso 1).....	51
Figura 4.17 - Diagrama de esforços axiais e momentos fletores, respetivamente.....	53
Figura 4.18 - Vermelhos e amarelos, estudo prévio, Adriano Pimenta Arquitetos, Lda.....	57
Figura 4.19 – Plantas ilustrativas do piso 0 e do piso 1, vermelhos e amarelos, estudo prévio, Adriano Pimenta Arquitetos, Lda.....	57
Figura 5.1 - Recolha de informação na campanha de inspeção.....	59
Figura 5.2 - Fotos gerais da parte da cobertura alvo de intervenção.....	60
Figura 5.3 – Localização da parte da cobertura alvo da intervenção delimitada a vermelho.....	60
Figura 5.4 – Fotografias gerais dos espaços adjacentes à cobertura a intervir.....	62
Figura 5.5 – Levantamento estrutural dos elementos estruturais de suporte de teto.....	63
Figura 5.6 - Levantamento estrutural dos elementos estruturais cobertura.....	64
Figura 5.7 - Entrada de água junto ao frechal, degradação dos elementos estruturais.....	64
Figura 5.8 - Ataque de caruncho, vigas de suporte de teto.....	65
Figura 5.9 - Fotos gerais de danos e anomalias nos elementos estruturais.....	66
Figura 5.10 - Ensaio realizado numa viga de suporte de teto.....	66
Figura 5.11 - Ensaio realizado no pendural.....	66
Figura 5.12 - Diagrama de momentos fletores, asna. Figura ilustrativa do modelo utilizado em <i>Ftool</i>	69
Figura 5.13 – Pormenor de ligação entre a linha da asna existente e uma peça de madeira nova.....	72
Figura 5.14 – Figuras ilustrativas das considerações feitas para o dimensionamento da asna A2.....	75
Figura 5.15 - Alçados das asnas da cobertura.....	75
Figura 5.16 - Modos de rotura considerados, (LNEC, 2008).....	76

Figura 5.17 - Efeito de corda	78
Figura 5.18 - Pormenor de ligação verificado na Tabela 5.8.....	80
Figura 6.1 - Ciclo de vida de um edifício, adaptado de (Wärmark, 2015).....	83
Figura 6.2 - Representação esquemática das diferentes análises das fases do ciclo de vida de uma análise LCA, adaptado de (Bragança e Mateus, 2012).....	84
Figura 6.3 - Consumo direto e indireto de água na construção de edifícios, adaptado de (Nallaperuma <i>et al.</i> , 2023).	87
Figura 6.4 - Organograma da abordagem feita ao cálculo do consumo de água.	96
Figura 6.5 - Representação esquemática dos parâmetros da pesquisa académica, adaptado de (Heravi e Abdolvand, 2019).	97
Figura 6.6 - Volume total de materiais demolidos por m ² de edifício	105
Figura 6.7 - Volume total de materiais novos por m ² de edifício.....	106
Figura 6.8 - Consumo de água do cenário 1 e cenário 2, em m ³ /m ² , dos casos de estudo 1 a 8.....	109
Figura 6.9 - Consumo de água do cenário 1 e cenário 2, em m ³ /m ² , dos casos de estudo 9 a 22.	110
Figura 6.10 - Média do consumo total de água do Cenário 1 e do Cenário 2, em m ³ /m ² de edifício.....	112
Figura 6.11 - Comparação direta do consumo médio do Cenário 1 e do Cenário 2 por fase de demolição e por fase de reabilitação/reconstrução.....	112
Figura 6.12 - Média de consumo de água das categorias em m ³ / m ² de edifício para o cenário 1 e cenário 2.....	114
Figura 6.13 - Consumos médios totais do cenário 1 por nível de intrusividade em comparação com o consumo médio total do cenário 2.	115
Figura 6.14 - Consumos médios totais do cenário 1 por categoria e nível de intrusividade do cenário 1 em comparação com o consumo médio por categorias do cenário 2.....	115

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classe de serviço das estruturas (LNEC, 2008; Costa, 2015)	16
Tabela 3.2 - Classes de duração das ações e exemplos de ações correspondentes. Fonte: Silva, (2021)..	17
Tabela 3.3 – Valores de k_{mod} (Costa, 2015).....	17
Tabela 3.4 - Coeficiente para contabilização da flexibilidade das ligações (Costa, 2015)	23
Tabela 3.5 - Valores de k_{def} (LNEC, 2008).....	26
Tabela 3.6 - Valores limite para as flechas segundo o EC5	26
Tabela 4.1 - Lista dos danos observados.....	44
Tabela 4.2 - Resistências de cálculo estimadas para os elementos estruturais de madeira	49
Tabela 4.3 - Coeficientes ψ (NP EN 1990: 2009, 2009)	50
Tabela 4.4 - Ações considerada(Costa, 2015; NP EN 1991-1-1, 2009)	50
Tabela 4.5 – Verificação das vigas de madeira.....	52
Tabela 4.6 - Verificação dos elementos das asnas	53
Tabela 4.7 – Verificação das madres.....	54
Tabela 5.1 - Coeficientes ψ (NP EN 1990: 2009, 2009)	68
Tabela 5.2 - Verificação dos ELU para os elementos da asna	69
Tabela 5.3 - Verificação dos rincões.....	70
Tabela 5.4 - Verificação das madres.....	70
Tabela 5.5 - Dimensionamento da nova viga de suporte de teto	73
Tabela 5.6 - Dimensionamento das asnas.....	74
Tabela 5.7 - Contribuição máxima do efeito de corda (LNEC, 2008)	77
Tabela 5.8 - Dimensionamento e verificações de segurança, ligação perna – linha, Asna A1.....	79

Tabela 6.1 - Módulos e estágios do ciclo de vida e elementos obrigatórios e opcionais (NP EN 15804:2012) (Adaptado de: Pereira Neiva, (2017)	85
Tabela 6.2 - Solução adotada para as novas estruturas em betão armado do Cenário 2, adaptado (Silva, 2021).	88
Tabela 6.3 - Apresentação dos casos de estudo, área, nível de intrusividade no Cenário 1 e breve descrição sobre a intervenção.	89
Tabela 6.4 - Fotografia geral de cada caso de estudo	92
Tabela 6.5 - Consumo direto de água em m ³ para a redução de partículas e poeira por m ² de edifício demolido (Ivanica <i>et al.</i> , 2022).	100
Tabela 6.6 - Consumo de água por unidade de material, diversos autores.	101
Tabela 6.7 - Consumo de água por unidade de energia consumida	101
Tabela 6.8 - Base de dados <i>Agrybalyse</i>	102
Tabela 6.9 - Valores utilizados no cálculo do consumo total do de água em m ³ de água por unidade de material ou m ² de edifício.	103
Tabela 6.10 - Distâncias consideradas (Silva, 2021).	107
Tabela 6.11 - Consumos considerados por m ³ de material(Silva, 2021).	107

ABREVIATURAS

EC	Eurocódigo
ELU	Estado limite último
ELS	Estado limite de Serviço
ELD	Estado limite de deformação
IDE	Inspeção e diagnóstico estrutural
RID	Relatório de inspeção e diagnóstico estrutural
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Lyfe cyle assessment</i> (Análise ciclo de vida)
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
BRIC	Países: Brasil, Rússia, Índia e China

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em Portugal, principalmente nos grandes centros urbanos, uma parcela considerável do edificado apresenta um estado de conservação notoriamente deficiente, resultado do fraco envelhecimento destes. É comum e até generalizado existirem edifícios abandonados com instalações obsoletas e que não atendem às necessidades da população ou, ainda que em utilização, com um mau estado de conservação. Isto resulta em fracas condições de utilização, fracas condições de segurança estrutural e aspeto estético, o que evidencia a falta de qualidade e regularidade nas práticas de manutenção e preservação das construções existentes.

O país possui um vasto e diversificado conjunto de edifícios, com diferentes estilos arquitetónicos provenientes de diferentes épocas. Com isto, é de grande interesse histórico e patrimonial preservar o valor desse conjunto habitacional, através de operações de reabilitação adequadas que visam proteger a herança cultural que estes edifícios carregam. Posto isto, aumenta assim o debate entre os profissionais da área sobre “Reabilitar? Ou demolir e construir de novo?”

No entanto a reabilitação de edifícios revela-se uma ação complexa e desafiante, uma vez que cada edifício apresenta condições únicas como um todo. A falta de conhecimento que existe na área da reabilitação, a variabilidade da tipologia construtiva e das técnicas de construção, a heterogeneidade dos materiais utilizados em edifícios antigos, a complexidade da geometria e por vezes as dificuldades em conseguir caracterizar adequadamente as ações envolvidas são fatores que dificultam uma intervenção cuidada e adequada, levando a optar-se frequentemente pela demolição quase integral do interior do edifício mantendo as fachadas, frequentemente denominado por “fachadismo”.

Uma vez que os edifícios correntes do edificado representam do ponto de vista ambiental uma quantidade inestimável de recursos, as práticas de “fachadismo” ou demolição e construção nova não traduzem as opções mais adequadas ambientalmente e do ponto de vista da sustentabilidade. Para além de apagarem a herança cultural do edificado, estas práticas produzem mais resíduos e contribuem para o consumo de

recursos e novos materiais, muitas vezes a demolição não é cuidada o que agrava o aproveitamento e reintegração desses mesmos recursos na vida das pessoas.

1.2 OBJETIVOS

Em Portugal mais de 50% do edificado português tem mais de 45 anos e mais de 25% tem mais de 65 anos Instituto Nacional de Estatística, (2022). Com as fracas e em alguns casos inexistentes operações de preservação e manutenção do edificado, é notória, especialmente nos centros urbanos, uma malha urbana bastante envelhecida e degradada.

Ainda que nos últimos anos se tenha assistido a um aumento de número de casos de reabilitação de edifícios existentes face ao número de construções novas, esta mudança de paradigma ainda não tem um peso significativo no setor da construção. Muitas das intervenções de reabilitação, optam ainda pela demolição integral do interior do edifício e a prática do dito “fachadismo”.

Este documento visa assim apresentar as atividades desenvolvidas ao longo do estágio curricular no âmbito da reabilitação de edifícios. As atividades estão relacionadas com o campo de atuação da empresa, no entanto, é ainda objetivo deste documento conseguir avaliar a sustentabilidade das intervenções realizadas pela empresa NCREP, reforçando assim que os métodos de uma abordagem baseada na inspeção e diagnóstico estrutural na reabilitação de edifícios, com soluções estudadas, pensadas e ajustadas ao edifício em questão traduzem benefícios para um futuro e desenvolvimento mundial mais sustentável.

Uma vez que a empresa NCREP, já possui uma base de dados com estudos publicados no campo da sustentabilidade, este documento visa aumentar essa base de dados e contribuir com um novo indicador, a água.

Além disso é objetivo deste documento enquadrar e relatar processos de reabilitação com práticas sustentáveis e abordagens adequadas a cada edifício, de forma a dissimular e contribuir para o conceito de reabilitação sustentável, incentivando à prática deste tipo de abordagens e reabilitações. O objetivo é promover e contribuir para a prática deste tipo de processos disseminando o conceito de reabilitação sustentável, dinamizando assim o âmbito de ação da empresa acolhedora.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento desenvolve-se ao longo de 7 capítulos.

O capítulo 1 prende-se na introdução do mesmo, apresentado as considerações iniciais, objetivos e organização do documento.

O capítulo 2, começa por fazer a apresentação da empresa onde o estágio, no âmbito da unidade curricular de DIPRE, foi realizado. Faz uma contextualização do campo de atuação da empresa e uma apresentação dos trabalhos práticos desenvolvidos.

O capítulo 3 apresenta o resultado da pesquisa e revisão bibliográfica efetuada sobre os temas práticos presentes neste relatório, incidem sobretudo nas atividades correntes da empresa e constituem uma base importante para o desenvolvimento dos casos práticos. Neste capítulo, é abordado o tema da reabilitação de edifícios existentes, revelando a necessidade e a importância de um estudo de inspeção e diagnóstico no âmbito da reabilitação. Apresenta ainda o método de cálculo definido pelo Eurocódigo 5 para a verificação de segurança e dimensionamento de estruturas existentes em madeira, acompanhado por medidas de intervenção, normalmente, utilizadas em projetos de reabilitação e reforço de edifícios tradicionais em sistemas estruturais de madeira e alvenaria.

Os capítulos 4 e 5, resumem as principais atividades práticas desenvolvidas ao longo do estágio, nomeadamente as atividades de inspeção e diagnóstico em cada um dos casos de estudo, sendo que o capítulo 5, para além da verificação de segurança conta ainda com o projeto de reforço estrutural.

O capítulo 6, começa por fazer um enquadramento teórico no âmbito do consumo de água na construção civil, passado por uma avaliação de parâmetros importantes a ter em conta na avaliação do consumo de água nas intervenções de reabilitação. É seguido de uma pesquisa bibliográfica e de uma demonstração de resultados aplicada a 22 casos de estudo.

Finalmente, o capítulo 7 sintetiza todos os aspetos abordados anteriormente, concluindo o presente relatório e apresentando as principais dificuldades na elaboração do mesmo.

CAPÍTULO 2

APRESENTAÇÃO DO ESTÁGIO

2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. é uma empresa de engenharia civil especializada na conservação e reabilitação de edifícios existentes. Fundada em 2011, surgiu a partir do conhecimento e experiência dos seus fundadores na área de reabilitação de estruturas. A empresa oferece uma variedade de serviços relacionados com a reabilitação de edifícios, desde a inspeção e diagnóstico até projetos de reabilitação e reforço estrutural e monitorização estrutural. A figura seguinte (Figura2.1) representa aquele que é o logotipo atual à data da empresa.



Figura 2.1 - Logotipo NCREP

A abordagem do NCREP é pautada pelo mínimo impacto possível, respeita assim a funcionalidade, segurança e história dos edifícios e segue uma metodologia que envolve um estudo detalhado da construção através da inspeção e diagnóstico estrutural. A partir dos resultados de inspeção e diagnóstico são desenvolvidos projetos de reabilitação e reforço estrutural, levando sempre em consideração o estado de conservação da estrutura e dos materiais existentes, o que faz com que cada solução seja o mais ajustada e adequada possível a cada caso. A empresa adere às recomendações internacionais e utiliza técnicas de inspeção tradicionais e modernas.

Ao longo dos anos, o NCREP ganhou reconhecimento pelo seu trabalho em edifícios de alto valor patrimonial, destacam-se entre estes: a Igreja dos Clérigos, o Seminário Maior de Coimbra, a Livraria Lello, entre outros. Arrecadaram ainda alguns prémios, incluindo o Prémio Construir, o Prémio João de Almada, o Prémio Teotónio Pereira e o Prémio Nacional de Reabilitação Urbana. (<https://ncrep.pt/a-ncrep/distincoes/>)

2.2 APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS

Durante o período de estágio e em colaboração com a equipa do NCREP, foram realizadas diversas atividades dentro do âmbito das atividades correntes no campo de atuação da empresa. Isso incluiu a execução de inspeções e diagnósticos, a elaboração de relatórios técnicos e a avaliação de segurança de estruturas existentes, entre outras atividades pertinentes.

Ao longo do período de estágio, existem trabalhos e projetos que foram desenvolvidos e acompanhados, mas não representam uma quantidade significativa de trabalho ou interesse para a elaboração de casos práticos deste relatório sendo que não foram considerados com relevância suficiente para a elaboração do presente documento, nomeadamente:

- A criação de uma base de dados abrangente para a elaboração de orçamentos de forma mais rápida e precisa. Esta base de dados, reúne todos os orçamentos recebidos por parte de empreiteiros ao longo dos anos na empresa, organizado por categorias e subcategorias, apresentando os diversos preços unitários para materiais e mão de obra, praticados em cada projeto. Com recurso à ferramenta *Microsoft Excel*, foram desenvolvidos métodos de validação de dados que facilitam o registo de novos orçamentos para acrescentar à base de dados, bem como a elaboração de tabelas dinâmicas que facilitam a procura e a elaboração de novos orçamentos. Esta base de dados permite ainda rastrear a evolução do mercado e dos preços praticados em empreitadas de forma mais fácil, além de proporcionar um orçamento associado a um Mapa de Trabalhos e Quantidades de forma mais precisa.
- Rua do Cimo Muro 11 – Consistiu na primeira campanha de inspeção e diagnóstico estrutural a um edifício na Ribeira do Porto. O edifício possui 4 pisos elevados e ainda lojas e espaços de armazenamento independentes. Durante o acompanhamento dessa atividade, foi possível adquirir e consolidar competências no âmbito da inspeção e diagnóstico de estruturas, aumentando a sensibilidade e a capacidade de identificar danos estruturais e compreender como estes se manifestam no edifício. Foi ainda, o primeiro contacto com ensaios não destrutivos como: a medição do teor em água em estruturas de madeira, ensaios com o *Resistograph*® e detetor de metais.
- Auditório Quinta da Aveleda – A visita consistiu num levantamento estrutural para posterior alteração do sistema de funcionamento deste, uma vez que era pretendido pelo dono de obra ampliar o auditório fazendo a remoção de elementos estruturais. Desta forma, o objetivo passou por fazer esta remoção de pilares transferindo os esforços para vigas metálicas de reforço que garantissem um vão livre maior.

- Seminário Maior de Coimbra – Situado em Coimbra, os focos principais das atividades desenvolvidas durante a breve visita realizada no período de estágio consistiram na instalação de clinómetros. O objetivo da instalação desses clinómetros é acompanhar e monitorizar o comportamento das fachadas ao longo do processo de intervenção na empreitada. A monitorização é uma prática importante e um dos serviços que a equipa do NCREP oferece para avaliar como as estruturas se comportam e se há mudanças ao longo do tempo, permitindo tomar medidas preventivas e/ou corretivas, se necessário.
- Viaduto AST – Localizado em Ponte da Barca, a visita ao viaduto foi realizada com o intuito de identificar armaduras principais do lado inferior num dos tabuleiros para futura instalação de um tubo de escoamento da rede de saneamento. A identificação de armaduras neste tipo de trabalho foi realizada com recurso a um *Ferroskan*, equipamento capaz de localizar as armaduras com alta precisão. Neste caso até uma profundidade de 300 mm.
- Edifício Sousa Rosa – Consistiu numa campanha de inspeção e diagnóstico estrutural com o objetivo de avaliar o estado de conservação do edifício e dos diversos elementos estruturais após a ocorrência de um incêndio.
- **Casa Leça da Palmeira**, (Figura 2.2 a) e b)) é o primeiro caso de estudo documentado neste documento, localizado em Leça da Palmeira, é constituído por três pisos e um desvão da cobertura habitável. O edifício é composto por paredes resistentes de alvenaria de pedra, pavimentos em madeira e pavimentos em betão armado. Da visita realizada ao edifício, resultou um levantamento estrutural, um relatório de inspeção e diagnóstico estrutural, bem como uma avaliação de segurança estrutural. Essa experiência contribuiu para a total integração nas atividades da empresa, contribuindo para o seu bom funcionamento e desenvolvimento.
- **Casa Bairros (cobertura)**, (Figura 2.2 c) e d)) o segundo trabalho aqui apresentado, está localizado na Trofa. Resulta de uma inspeção e diagnóstico estrutural a uma cobertura de um edifício familiar. A visita ao edifício consistiu na caracterização e no levantamento estrutural da cobertura do edifício, com uma análise de segurança e posteriormente um projeto de reforço estrutural. Através da participação neste projeto, foram possíveis desenvolver competências ao nível do dimensionamento de elementos estruturais e um aumento do espírito crítico aquando ao uso de modelos numéricos de cálculo automático.
- **Análise de Sustentabilidade**, com o objetivo de conseguir avaliar a sustentabilidade dos projetos de reabilitação realizados pelo NCREP foram aumentadas as bases de dados existentes. Estas bases de dados consistem na avaliação dos impactes ambientais dos projetos de reabilitação. O estudo realizado, passou por acrescentar um novo indicador, a água, e perceber de que forma se

pode reduzir o consumo desta na reabilitação de edifícios. Para atingir os objetivos propostos, este estudo passou por diversas fases, de salientar a pesquisa bibliográfica que tornou possível a quantificação do consumo de água para as diferentes fases e processos de reabilitação de edifícios.



a) Casa Leça da Palmeira, fachada principal



b) Casa Leça da Palmeira, fachada tardoz



c) Casa Bairros



d) Cobertura, Casa Bairros

Figura 2.2 - Fotos gerais, casos de estudo

CAPÍTULO 3

INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

3.1 INTRODUÇÃO

“A reabilitação de edifícios antigos tem vindo a adquirir importância crescente numa ótica que é simultaneamente relacionável com a necessidade de promover a preservação do património arquitetónico e com a crescente consciência de que se trata de uma atividade potencialmente muito interessante para projetistas e construtores” (Appleton, 2003).

Entende-se por edifícios antigos as construções anteriores à aplicação do betão armado (Appleton, 2003; Sousa, 2016). Para a construção destes edifícios antigos, nomeadamente a construção dos seus elementos estruturais, recorriam-se a técnicas e materiais ditos tradicionais com predominância da madeira, pedra e cal (Appleton, 2003).

Dados estatísticos dos censos de 2021, revelam que em Portugal, cerca de 50% dos edifícios possui mais de 45 anos, dos quais 25% apresentam uma idade superior a 65 anos (Instituto Nacional de Estatística, 2022). Estes números destacam a extensão do parque edificado de um país onde práticas de manutenção e conservação são praticamente inexistentes, o que leva a que não só edifícios antigos, mas também edifícios em betão armado estejam sujeitos a medidas de intervenção e reabilitação.

Por reabilitação de edifícios entendem-se as ações de intervenção necessárias para garantir as condições de segurança, funcionalidade e conforto, preservando a arquitetura, tipologia e sistema construtivo dos edifícios. Em muitos dos casos designados por “reabilitação” assiste-se à demolição integral do interior do edifício e conseqüente reconstrução, mantendo apenas as paredes exteriores, o dito “fachadismo”. No entanto, só uma reabilitação adaptativa e pouco intrusiva pode conduzir a um resultado equilibrado e desenvolvimento sustentável (Peixoto de Freitas *et al.*, 2012).

Com a introdução do conceito da sustentabilidade, o paradigma da “Reabilitação vs Demolição e nova construção” sofreu uma mudança significativa. Atualmente, além da análise tradicional de custo/benefício, são considerados valores como a proteção ambiental, consumo de energia e valorização do património. Ao comparar a reabilitação de edifícios com a construção nova, é fundamental ter em

consideração estes valores, uma vez que o edificado existente representa um fonte inestimável de recursos, do ponto de vista ambiental.

Um estudo publicado em 2017 utilizou um edifício em Sevilha, Espanha, carente de uma elevada intervenção estrutural, com o objetivo de conseguir analisar o que seria mais favorável: a reabilitação ou demolição e reconstrução de um edifício com as mesmas características (Alba-Rodríguez *et al.*, 2017). O estudo teve por base a inspeção e diagnóstico estrutural do edifício, de forma a conseguir uma intervenção adequada e apropriada para o edifício em questão. Desta forma, o estudo concluiu que:

- Do ponto de vista económico, o custo da reabilitação do edifício foi 21% mais baixo do que a demolição e reconstrução de um edifício semelhante.
- Do ponto de vista ambiental, o impacto da reabilitação foi de cerca de 62% mais baixo do que a demolição e reconstrução de um edifício semelhante.

Pode-se deduzir, que mesmo um edifício severamente danificado, quando reabilitado com base numa abordagem adequada de inspeção e diagnóstico estrutural consegue apresentar benefícios económicos e ambientais mais favoráveis do que a substituição total por uma nova construção (Alba-Rodríguez *et al.*, 2017).

A falta de conhecimento técnico sobre as medidas, técnicas e práticas mais adequadas a serem adotadas na reabilitação de edifícios é um dos principais obstáculos para a área, o que acaba por fortalecer a prática de “fachadismo”. É essencial compreender que cada edifício é único e deve ser abordado de acordo com as suas características e necessidades específicas. Neste sentido, torna-se fundamental realizar uma inspeção e diagnóstico que justifique a necessidade e a extensão das intervenções. Deve ser o estado de conservação do edifício a determinar o nível de intervenção necessário, o que pode traduzir-se em ações de conservação e restauro (em alguns casos podem ser medidas não estruturais) ou em intervenções mais profundas: reabilitação ou reforço estrutural (Fernandes, 2013; Silva, 2021).

3.2 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL

Numa fase de inspeção e diagnóstico, é importante que seja recolhida toda a informação possível sobre o edifício, nomeadamente da estrutura original e possíveis alterações ao longo dos anos, técnicas de construção utilizadas e o estado de conservação atual do edifício. Em muitos casos, uma pesquisa histórica e pesquisa por informação relevante permite ainda datar a construção e identificar a época construtiva, o que pode ajudar a esclarecer questões relacionadas com a estrutura e materiais utilizados (Peixoto de Freitas *et al.*, 2012).

Ainda que cada edifício seja único no seu todo, é possível padronizar uma metodologia a adotar numa abordagem em fase de inspeção e diagnóstico. Após uma análise de diversas fontes Silva (2021), reuniu os principais pontos, apontando para a 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 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 a sua história;
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, principalmente durante a fase de intervenção na estrutura. Nesta fase, é importante quantificar os movimentos da estrutura ou perceber se os mesmos existem, de modo a avaliar os impactes da intervenção estrutural, se a mesma está a ser bem executada e benéfica para o sistema estrutural do edifício e não existe criação ou agravamento de danos prejudiciais para o sistema estrutural existente.
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.

Em suma, diversos autores argumentam que uma metodologia de inspeção adequada e sustentada em ensaios de diagnóstico constituem o ponto de partida para uma correta avaliação do estado de conservação de edifícios. Levantamentos e estudos desapropriados, levam a impactes negativos ao nível do projeto e da intervenção, nomeadamente na compatibilização de materiais (compatibilização química, por exemplo), técnicas construtivas, entre outras. Este impacte condiciona e compromete a conservação e a duração da fase de utilização do edifício no futuro (Costa e Arêde, 2009; Silva, 2021).

3.3 ENSAIOS DE DIAGNÓSTICO

A inspeção visual é uma etapa fundamental no processo de avaliação do estado de conservação de um edifício, através deste, é possível obter talvez o maior conjunto de informação, desde danos e deficiências

a possíveis causas para estes. No entanto, é importante ter em conta que nem todos os danos são visíveis à superfície dos elementos estruturais. Complementar a inspeção visual com ensaios de diagnóstico é fundamental para uma avaliação abrangente e precisa.

Existem três classificações simples e comuns para as técnicas de ensaios de diagnóstico em estruturas de edifícios: destrutivas, ligeiramente destrutivas e não-destrutivas (Costa e Arêde, 2009). Em construções antigas com valor histórico, as técnicas de ensaio destrutivas não devem ser utilizadas devido à preservação do património cultural. Geralmente, as técnicas destrutivas são aplicadas em edifícios que se destinam à demolição ou realizadas em ambientes controlados, como laboratórios. Portanto, na avaliação do estado de conservação dos edifícios é recomendado o uso apenas de técnicas não destrutivas e ligeiramente destrutivas (Arêde e Costa, 2012; Silva, 2021; Sousa, 2016).

Ensaio ligeiramente destrutivo são caracterizados por terem a capacidade de fornecerem informações detalhadas sobre os materiais e elementos estruturais, claro está, através de perturbações na estrutura, na maior parte dos casos mínima. Devem por isso ter em conta os pressupostos de intervenção e causar o mínimo impacto possível:

- Extração de carotes – permite determinar propriedades dos materiais, por exemplo a resistência mecânica, em elementos de betão armado;
- Ensaio de macacos planos simples e duplos – permite determinar características da alvenaria, como módulo de elasticidade e resistência à compressão, respetivamente;

A utilização de ensaios não-destrutivos é fundamental nos trabalhos de inspeção e diagnóstico, especialmente as de alto valor patrimonial, devido à sua natureza não evasiva. Estes ensaios fornecem, geralmente, resultados qualitativos, que permitem uma avaliação inicial das características e propriedades dos materiais. Diversos tipos de ensaios não-destrutivos podem ser realizados, como:

- Ensaio ultrassónico – estimar o módulo de elasticidade e da resistência à compressão, controlo de eficiência de injeções de paredes, entre outros;
- Ensaio dinâmico – permitem avaliar o comportamento e a integridade estrutural, mais-valia na calibração de modelos numéricos, identificação modal, crucial para análises sísmicas de edifícios;
- Ensaio com câmaras termográficas – permitem identificar componentes estruturais embebidos na estrutura, humidades e infiltrações, diferenças de materiais e fissuras, através do gradiente térmico e da taxa de libertação de calor dos elementos sujeitos ao ensaio;
- Ensaio de caracterização dos materiais:
 - *Resistograph*[®] - Detecção de vazios internos, defeitos e degradação na secção transversal das peças, não observáveis pelo exterior através da inspeção visual, Figura 3.1 – a);

- Higrómetro – Permite medir o teor em água na madeira, este ensaio é fundamental para perceber se valores anormais ao teor em água normal da madeira, podendo indicar a presença de infiltrações por perto Figura 3.1 – b);
- *Ferroskan* – Em elementos de betão armado, permite identificar a posição, diâmetro e quantidade de armadura presente num elemento estrutural. Importante para caracterizar o elemento e de forma indireta obter as características mecânicas do elemento Figura 3.1 – c);



a) Ensaio com *Resistograph*®



b) Ensaio com o higrómetro



c) Ensaio com o *Ferroskan*

Figura 3.1 - Exemplos de ensaios não destrutivos de caracterização de estruturas

3.4 REABILITAÇÃO ESTRUTURAL

O estado de conservação da estrutura, resulta da combinação da informação recolhida durante as campanhas de inspeção. Nomeadamente, do resultado dos ensaios realizados, da análise dos materiais existentes, dos sistemas estruturais, da avaliação dos danos existentes e interpretação das causas que os provocaram. Durante o diagnóstico devem ainda ser realizadas verificações de segurança, nomeadamente de ELU e ELS, tendo em conta os danos registados na fase de inspeção e a forma como estes afetam a estrutura. Os resultados destas verificações permitem ajudar a determinar a necessidade de intervenção (Arêde e Costa, 2012; Silva, 2021; Soares, 2016).

No caso de haver condições fronteira idênticas aquando da avaliação de segurança, as mesmas fazem-se por amostragem para as situações mais desfavoráveis, estas incluem: o vão, as secções transversais, condições de apoio e carregamento.

3.4.1 Verificação de segurança de estruturas de alvenaria de pedra

Para verificar a segurança de elementos estruturais em alvenaria de pedra, sendo as paredes os casos mais comuns, são calculadas as tensões nas secções mais desfavoráveis, geralmente próximas das fundações. As tensões são calculadas através das cargas instaladas, em ELU, ou seja, começando pela cobertura, a carga que esta transmite às paredes, os pesos próprios das paredes e no caso de existirem pisos intermédios apoiados nas paredes, deve ser tido em conta a carga que estes transmitem também para a parede de alvenaria.

No caso de paredes de alvenaria de pedra típicas da cidade do Porto, a verificação de segurança pode ser feita por comparação entre as tensões de compressão instaladas com a resistência média de 2,5MPa e módulos de deformabilidade vertical entre 0,3 e 0,5GPa. Estes são valores de referência obtidos através de ensaios experimentais realizados em alvenaria de pedra típica do Porto, realizados na FEUP e publicados por Almeida *et al.* (2010).

3.4.2 Verificação de segurança de estruturas de madeira

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 LNEC (2008).

Após as campanhas de inspeção, devem ser identificados quais os tipos de madeira presentes na estrutura e a classe resistente. Em Portugal, as mais utilizadas e passíveis de encontrar em edifícios são: o Pinho Bravo (ou Pinho Nacional – classe C18) e o Castanho (classe D30).

Estima-se que, a madeira, devido ao efeito de fluência e ao ambiente a que está exposto, perde cerca de 40% da capacidade resistente instantânea inicial, desta forma, os valores característicos das propriedades

mecânicas devem ser afetados de um fator de modificação, k_{mod} , que está associado às classes de serviço (Tabela 3.1) das condições ambientais e às classes das durações das ações (Tabela 3.2), minorando assim a capacidade resistente do material.

Os procedimentos de cálculo aqui apresentados têm como base os seguintes documentos: (LNEC, 2008; Costa, 2015)

O valor de cálculo das propriedades mecânicas é obtido da seguinte forma:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{Y_M} \quad (3.1)$$

Onde:

k_{mod} – Fator de modificação que tem em conta o efeito da duração das ações e do teor em água;

Y_M – Coeficiente parcial de segurança para a propriedade de um material: 1,30 para madeira maciça e 1,25 para madeira lamelada colada;

X_k – Valor característico de uma propriedade de resistência.

Como dito anteriormente, k_{mod} , depende da classe de serviço da estrutura e da classe de duração das ações definido pela Tabela 3.3.

Tabela 3.1 - Classe de serviço das estruturas (LNEC, 2008; Costa, 2015)

Classe de serviço 1	ambiente interior protegido, caracterizada por um teor de água dos materiais correspondentes ao teor de água de equilíbrio para um ambiente caracterizado por uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa do ar ambiente excedendo 65% somente durante algumas semanas por ano (locais cobertos e fechados).
Classe de serviço 2	ambiente interior não protegido ou exterior não sujeito à ação direta da água das chuvas e com contactos esporádicos com água líquida. Caracterizada por um teor de água dos materiais correspondentes ao teor de água de equilíbrio para um ambiente caracterizado por uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa do ar ambiente excedendo 85% somente durante algumas semanas por ano (locais cobertos e piscinas).
Classe de serviço 3	ambiente exterior com contactos frequentes com água das chuvas, muitas vezes em períodos longos. Caracterizada por condições climáticas conduzindo a valores do teor de água dos materiais superiores aos que se verificam na classe de serviço 2 (locais ao ar livre).

Já no que diz respeito à classe de duração das ações, estas são caracterizadas pelo efeito que uma ação constante, durante um período, tem na estrutura ao longo do seu ciclo de vida. Para efeitos de cálculo deve ser considerada a ação com menor duração, tendo em conta as classes definidas pelo EC5, têm-se que:

Tabela 3.2 - Classes de duração das ações e exemplos de ações correspondentes. Fonte: Silva (2021)

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		Sobrecarga em pavimentos
Curta duração	Inferior a uma semana		Vento
Instantânea			Ações de acidente

Sendo que, as classes de serviço dependem essencialmente do teor em água dos materiais e da humidade relativa do ar do ambiente onde estão inseridos, de acordo com o EC 5, temos que:

Tabela 3.3 – Valores de k_{mod} (Costa, 2015)

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

Em peças que estão sujeitas a esforços de tração ou flexão, é importante considerar a presença e a influência que os defeitos têm na resistência das peças, por exemplo, os nós da madeira. Um parâmetro denominado de “efeito de volume”, k_h , é usado para quantificar essa influência. Esse coeficiente leva em conta a altura da peça e é ajustado de acordo com o tipo de madeira utilizado. No fundo, ele traduz a probabilidade de a secção da peça apresentar defeitos (Costa, 2015).

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

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

De forma a fazer uma correta verificação de segurança em elementos estruturais de madeira, é preciso primeiro entender quais os esforços que se instalam nas peças de madeira tendo em conta os possíveis fenómenos de instabilidade que podem ocorrer.

Em pavimentos, é necessário considerar ELU e ELS:

- ELU – Flexão simples das vigas principais dos pavimentos, com e sem bambeamento, corte e compressão perpendicular ao fio nas entregas das vigas (caso se justifique);
- ELS – Deformação e vibração, garantindo que atende às condições de conforto dos utilizadores.

Em coberturas, a abordagem é feita pelos ELU, considerando a análise individual para cada elemento constituinte. Para as coberturas tem-se as seguintes verificações:

- Pernas – flexão composta (M+C), bambeamento e encurvadura;
- Escoras – encurvadura;
- Linhas – flexão composta (M+T) e bambeamento;
- Pendurais – tração paralela ao fio;
- Cumeeiras – flexão simples e bambeamento;
- Madres – flexão desviada e bambeamento.

Os ELS devem fazer parte da verificação da deformação dos elementos.

3.4.2.1 Dimensionamento e verificação de segurança aos ELU

3.4.2.1.1 Tração paralela ao fio

Deve ser satisfeita a seguinte expressão:

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

Em que:

$\sigma_{t,0,d}$ – 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.

3.4.2.1.2 Compressão perpendicular ao fio

Deve ser satisfeita a seguinte expressão:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d} \quad (3.5)$$

$k_{c,90}$ – Vigas simplesmente apoiadas – 1,50 madeira maciça e 1,75 madeira lamelada colada;

$k_{c,90}$ – Vigas contínuas – 1,25 madeira maciça e 1,50 madeira lamelada colada.

Em que:

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

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

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

3.4.2.1.3 Compressão paralela ao fio

A verificação da segurança à compressão paralela ao fio deve ter em conta, se para as condições existentes, existe encurvadura dos elementos, desta forma temos que:

$$\lambda_{rel,i} \leq 0,3 \quad \text{Sem encurvadura} \quad (3.6)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (3.7)$$

$$\lambda_{rel,i} > 0,3 \quad \text{Com encurvadura} \quad (3.8)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,i} * f_{c,0,d} \quad (3.9)$$

Em que:

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

$f_{t,0,d}$ – Valor de cálculo da tensão resistente de compressão paralela ao fio;

$k_{c,i}$ - Coeficiente de encurvadura (calculado em 3.31);

$\lambda_{rel,i}$ – Esbelteza relativa em torno de um eixo (calculado em 3.30).

3.4.2.1.4 Flexão**Flexão Simples**

Devem ser satisfeitas as seguintes expressões:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.10)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.11)$$

$$\text{Em que, } \sigma_{m,i,d} = \frac{M_i}{I_i} v_i \quad (3.12)$$

Em que:

$\sigma_{m,y,d}$ 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 uma margem para a redistribuição de tensões pelos eixos principais, assim como o efeito da heterogeneidade do material numa secção:

– Para secções retangulares: $k_m = 0,7$

– Para outras secções: $k_m = 1,0$

Flexão composta com tração

Devem ser satisfeitas as seguintes expressões:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.13)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.14)$$

Flexão composta com compressão

No caso da verificação à flexão composta, deve-se ter em consideração a possibilidade de ocorrência de instabilidade por encurvadura, desta forma temos que:

$$\lambda_{rel,i} \leq 0,3 \quad , \text{ flexão composta com compressão } \underline{\text{sem encurvadura}} \quad (3.15)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.16)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.17)$$

$$\lambda_{rel,i} > 0,3 \quad , \text{ flexão composta com compressão } \underline{\text{com encurvadura}} \quad (3.18)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.19)$$

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

3.4.2.1.5 Bambeamento – Instabilidade lateral torsional

Para uma viga, com um determinado carregamento e determinadas condições de apoio, a verificação de segurança à flexão deve ter em conta a possibilidade de instabilidade lateral-torsional, provocada por um momento crítico. Em secções circulares, esta verificação é dispensável, uma vez que não ocorre bambeamento nas mesmas, no entanto, para secções diferentes desta, devem ser tidas em conta as seguintes expressões:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 b^2}{h l_{ef}} E_{0.05}, \quad l_{ef} = m l + \Delta l \quad (3.21)$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \geq 0,75, \text{ existe bambeamento} \quad (3.22)$$

$\lambda_{rel,m}$ – Esbelteza relativa de bambeamento;

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

b e h - Largura e altura da viga, respetivamente;

Δl – Ponto de aplicação do carregamento:

$\Delta l = 2h$ - Ponto de aplicação da carga coincidente com a fibra superior da viga;

$\Delta l = 0$ - Ponto de aplicação coincidente com o eixo neutro da viga;

$\Delta l = -0,5h$ - Ponto de aplicação coincidente com a fibra inferior da viga;

$E_{0.05}$ – Valor correspondente ao quantilho de 5% do módulo de elasticidade paralelo ao fio;

m – Fator para diferentes condições de apoio e carregamento (Figura 3.2).

Se, $\lambda_{rel,m} \geq 0,75$, é necessário afetar a verificação a verificação à flexão das vigas com um fator, k_{crit} e satisfazer a seguinte expressão:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (3.23)$$

Para,

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1 \quad (3.24)$$

$$0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} \quad (3.25)$$

$$1,4 < \lambda_{rel,m} \quad k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad (3.26)$$

Em que:

k_{crit} – Coeficiente que tem em conta a redução da resistência à flexão devida à encurvadura.

Beam & Loads	Actual bending moment	m	Equivalent uniform moment
		1,00	
		0,57	
		0,43	
		0,74	
		0,88	
		0,96	
		0,69	
		0,59	
		0,39	

Figura 3.2 - Fator m para diferentes condições de apoio e carregamento (Costa, 2015)

3.4.2.1.6 Verificação de segurança – Encurvadura

Na verificação de segurança à encurvadura, é importante considerar a possibilidade de ocorrer instabilidade ao longo dos dois eixos principais de inércia da secção, neste caso denominados de y e z.

Considera-se que a estrutura está sujeira a fenómenos de instabilidade por encurvadura, quando o valor da esbelteza relativa, λ_{rel} , é superior a 0,3.

$$\lambda_i = \frac{l_{v,i}}{i_i} \tag{3.27}$$

$$l_{v,i} = l_{ef} = \beta * l \tag{3.28}$$

$$i_i = \sqrt{\frac{I_i}{A}} \tag{3.29}$$

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \tag{3.30}$$

Em que:

- $\lambda_{rel,i}$ – Coeficiente relativo de esbelteza corresponde à instabilidade em relação ao eixo i ;
- λ_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;
- β – Coeficiente para contabilização da flexibilidade das ligações, que corrige o comprimento teórico de encurvadura, por um comprimento efetivo (Figura 3.3) e (Tabela 3.4);
- l – Comprimento da peça sujeira à compressão;
- I_i – Momento de inércia em relação ao eixo i ;
- A – área da secção sujeita à compressão;

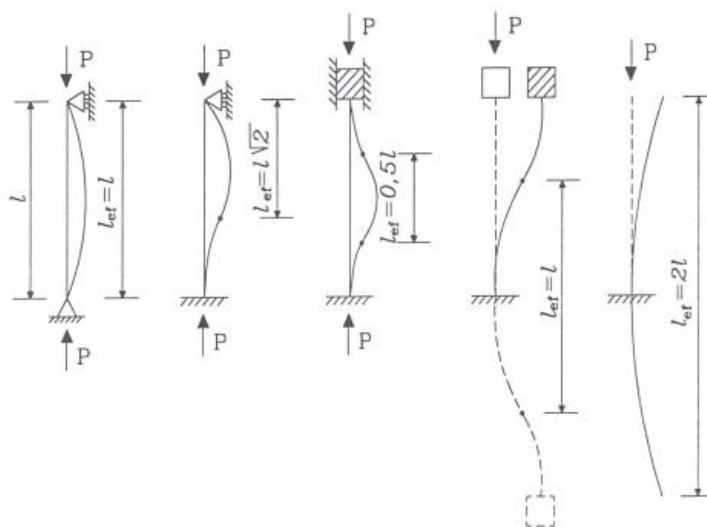


Figura 3.3 - Comprimentos de encurvadura em diferentes condições de apoio (Costa, 2015)

No entanto, na adoção do comprimento de encurvadura, temos que para a contabilização da flexibilidade das ligações deve ser tido em conta o valor recomendado face ao valor teórico.

Tabela 3.4 - Coeficiente para contabilização da flexibilidade das ligações (Costa, 2015)

Teórico	$\beta = 0.70$	$\beta = 0.50$	$\beta = 1.00$	$\beta = 2.00$
Recomendado	$\beta = 0.85$	$\beta = 0.70$	$\beta = 1.50$	$\beta = 2.50$

Como dito anteriormente, se $\lambda_{rel} > 0,3$, a estrutura está sujeita a fenómenos de instabilidade por encurvadura, com isto, os valores de cálculo das verificações de segurança devem ser afetados de um coeficiente de encurvadura, $k_{c,i}$, nomeadamente as verificações de:

- Compressão paralela ao fio;
- Flexão composta com compressão.

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}} \quad (3.31)$$

$$k_i = (1 + \beta_c(\lambda_{rel,i} - 0,3) + \lambda_{rel,i}^2) \quad (3.32)$$

Em que:

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

k_i – Fator de instabilidade em relação ao eixo i ;

$\beta_c = 0,2$ (madeira maciça); $0,1$ (madeira lamelada colada).

3.4.2.1.7 Corte

Devido à anisotropia da madeira, ao aplicar esforços transversos podem-se formar diferentes solicitações, dependendo da orientação das fibras. Para garantir a segurança ao corte, é necessário que a tensão máxima de corte, τ_{sd} , seja inferior ao valor de cálculo da resistência ao corte, $f_{v,d}$. O valor máximo de corte desenvolvido na secção é dado pela tensão tangencial desenvolvida a meia altura da secção.

$$\tau_{sd} = \frac{3}{2} \frac{V_{Ed}}{A}, \text{ para secções retangulares} \quad (3.33)$$

$$\tau_{sd} = \frac{4}{3} \frac{V_{Ed}}{A}, \text{ para secções circulares} \quad (3.33)$$

Em que:

V_{Ed} – Esforço transversal atuante;

A – Área da secção.

No caso de elementos submetidos à flexão, para a verificação de segurança do esforço transversal, é necessário ter em conta a redução da largura da secção devido à possibilidade da existência de fendas. Esta consideração é feita ao afetar a largura da secção, b , por um fator de redução da largura da secção, k_{cr} , que tem em consideração o efeito das fendas, desta forma:

$$b_{ef} = k_{cr} * b \quad (3.34)$$

$k_{cr} = 0,67$, madeira maciça e lamelada colada

$k_{cr} = 1$, outros derivados de madeira

3.4.2.2 Dimensionamento e verificação de segurança ao ELS

3.4.2.2.1 Deformação

A madeira, por ser um material viscoelástico apresenta uma fluência significativa, podendo apresentar deformações finais de aproximadamente o dobro das instantâneas.

Como a madeira apresenta uma rigidez muito baixa face à capacidade resistente das suas características mecânicas, o dimensionamento estrutural é condicionado, em muitos casos, pelo ELS. (Costa, 2015)

A verificação à deformação deve ter em conta a deformação instantânea, u_{inst} , através da combinação característica de ações e a deformação final, u_{fin} , calculada a partir da primeira e através da combinação quase permanente de ações. O EC5 apresenta os limites para as deformações máximas das flechas, Tabela 3.6.

O cálculo é dado por:

$$u_{inst} = \frac{5 P_{Ed} l^4}{384 EI} \quad (3.35)$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} \quad (3.36)$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) = \frac{5 G_k l^4}{384 EI} (1 + k_{def}) \quad (3.37)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) = \frac{5 Q_{k,1} l^4}{384 EI} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (3.38)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,1} k_{def}) = \frac{5 Q_{k,i} l^4}{384 EI} (\psi_{0,i} + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (3.39)$$

Em que:

$u_{inst,G}$, $u_{inst,Q,1}$ e $u_{inst,Q,i}$ – Deformações instantâneas para ações permanentes, variável de base e acompanhantes, respetivamente;

$u_{fin,G}$, $u_{fin,Q,1}$ e $u_{fin,Q,i}$ – Deformações finais para ações permanentes, variável de base e acompanhantes, respetivamente;

P_{Ed} – Combinação característica de ações ($G_k + Q_{k,1} + \psi_{0,i} Q_{k,i}$);

k_{def} – Coeficiente de fluência (Tabela 3.5);

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

$\psi_{0,i}$, $\psi_{2,1}$, $\psi_{2,i}$ – Coeficientes de combinação de ações características acompanhantes e combinação quase permanente de ações.

O coeficiente de fluência, k_{def} , é definido pelo EC5, em função do tipo de madeira e da classe de serviço da estrutura, assumindo os seguintes valores:

Tabela 3.5 - Valores de k_{def} (LNEC, 2008)

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

O EC5, prevê a possibilidade de a peça possuir uma contra flecha, w_c . Posto isto, o cálculo da flecha final, $w_{net,fin}$, é por:

$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c, \text{ onde } w_{fin} = u_{fin}. \quad (3.40)$$

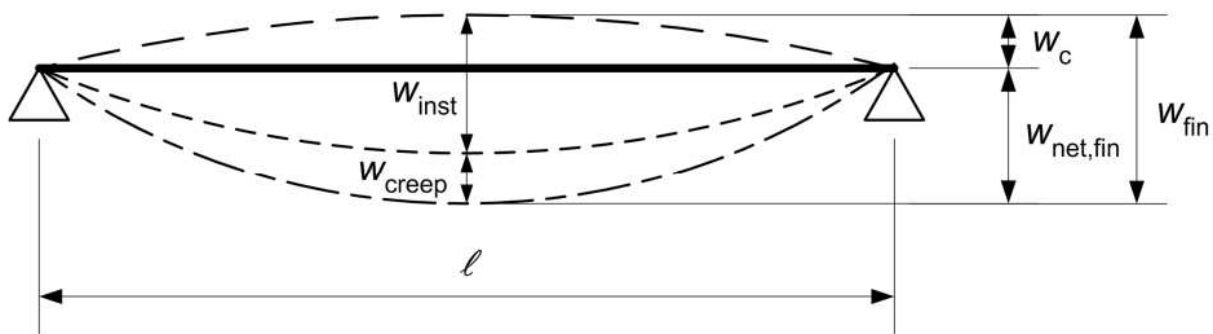


Figura 3.4 - Componentes da flecha (LNEC, 2008)

Tabela 3.6 - Valores limite para as flechas segundo o EC5

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

3.4.2.2 Estado limite de vibração

A verificação ao estado limite de vibração dos pavimentos tem como princípio assegurar as condições de conforto e segurança adequadas aos utilizadores. Para tal, as vibrações devem ser controladas, vibrações estas que podem ser provocadas desde os passos das pessoas a outras fontes de vibração. Fazem parte da verificação a frequência fundamental, f_1 , as verificações às vibrações de baixa frequência e às vibrações de alta frequência.

Frequência fundamental

A frequência fundamental de um pavimento em madeira com dimensões $l * b$, simplesmente apoiado nos 4 bordos com vigas de vão l , pode ser calculado de forma representativa a partir de uma viga simplesmente apoiada com carga uniformemente distribuída, pela seguinte expressão:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \geq 8\text{Hz} \quad (3.41)$$

Em que:

m – Massa por unidade de área, em kg/m^2 (combinação quase-permanente de ações);

l – Vão de pavimento livre, em m;

$(EI)_l$ – Rigidez equivalente de flexão de placa do pavimento segundo um eixo perpendicular à direção das vigas ($E - \text{N/m}^2$ e $I - \text{m}^4/\text{m}$);

Quando os pavimentos apresentam uma vibração inferior a 8Hz, devem ser alvo de uma análise não especificada neste documento. Quando respeitam a vibração de 8Hz ou superior devem ainda ser verificadas as condições de baixa frequência e de alta frequência.

Vibrações de baixa frequência

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_{max} , que é limitado em função do pavimento. Esta verificação é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{u}{F} \leq a = \frac{1000 * k_{dist} * l_{eq}^3 * k_{amp}}{48 * (EI)_{viga}} \leq \begin{cases} 1,8 \text{ mm} , l \leq 4 \text{ m} \\ \frac{16500}{l^{1,1}} (\text{mm}) \text{ para } , l > 4 \text{ m} \end{cases} \quad (3.42)$$

$$k_{dist} = \max \left\{ 0,38 - 0,08 \ln \left[\frac{14(EI)_b}{s^4} \right]; 0,30 \right\} \quad (3.43)$$

$$l_{eq} = \begin{cases} l & \text{para vigas simplesmente apoiadas} \\ 0,9 & \text{para vãos externos de vigas contínuas} \\ 0,85 & \text{para vãos intermédios de vigas contínuas} \end{cases} \quad (3.44)$$

$$k_{amp} = \begin{cases} l & \text{para vigas simplesmente apoiadas} \\ 0,9 & \text{para vãos externos de vigas contínuas} \\ 0,85 & \text{para vãos intermédios de vigas contínuas} \end{cases} \quad (3.45)$$

Em que:

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

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

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

$(EI)_{viga}$ – Rigidez de flexão de uma viga ($E - kPa$; $I - m^4/m$);

$(EI)_b$ – Rigidez de flexão do soalho, segundo o eixo de flexão paralelo à direção das vigas ($E - N/mm^2$; $I - mm^4/m$);

s – Espaçamento médio entre vigas, em mm.

Vibrações de alta frequência

A verificação para vibrações de alta frequência tem em conta a velocidade máxima de deformação, v , da zona central de um pavimento, provocada por um impulso de $1N \cdot s$. Essa verificação é realizada por:

$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} m / (Ns^2) \quad (3.46)$$

$$b = \begin{cases} 180 - 60 a, & \text{com } a \leq 1 \text{ mm} \\ 160 - 40 a, & \text{com } a > 1 \text{ mm} \end{cases} \quad (3.47)$$

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mbl + 200} \quad (3.48)$$

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (3.49)$$

Em que:

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

ζ – Coeficiente de amortecimento, toma o valor de 0,02.

3.4.3 Medidas de intervenção

O grau de profundidade de intervenção resulta da interpretação de resultados do estudo de diagnóstico complementado com a avaliação da segurança estrutural (Silva, 2021).

São apresentados de seguida os diferentes tipos de intervenção, por ordem crescente da profundidade de intervenção na estrutura (Arêde e Costa, 2012; Appleton, 2003; Costa, 2015; Peixoto de Freitas *et al.* 2012; Silva, 2021):

- 1º Conservação e restauro – Medidas de cariz não estrutural, essencialmente, no âmbito da conservação de materiais e correção de pequenos danos, com o objetivo de prolongar a vida útil dos mesmos. Neste campo de aplicação a estrutura apresenta-se com capacidade resistente suficiente e a intervenção está associada à manutenção do edifício de forma a aumentar a longevidade funcional e o desempenho do edifício, reduzindo assim a probabilidade de ocorrerem anomalias. A Figura 3.5 representa o impacto de ações de manutenção no edifício.

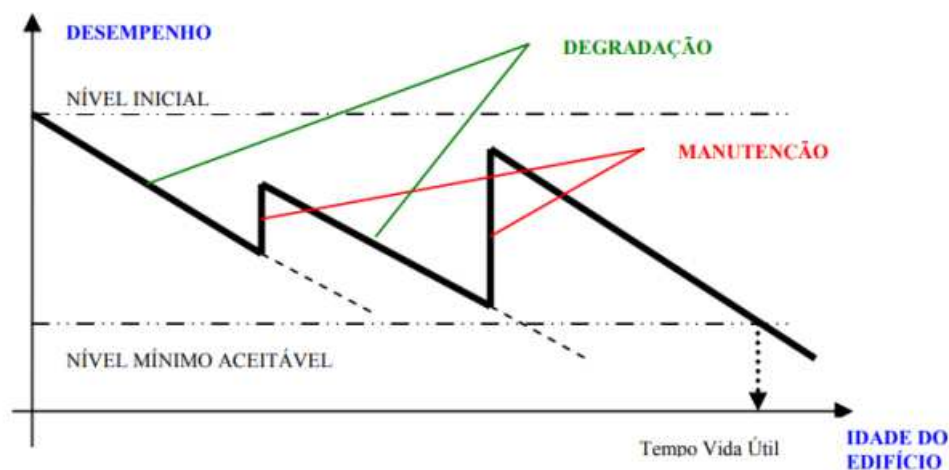


Figura 3.5 – Efeito das ações de manutenção no prolongamento de vida útil dos edifícios (Sampaio, 2017)

- 2º Reabilitação – Ações que visam repor as condições originais da estrutura e do edifício. Estas medidas de intervenção envolvem a implementação de medidas mínimas e específicas de forma a resolver as anomalias detetadas, sem aumentar a capacidade resistente da estrutura.
- 3º Reforço – Ações destinadas a ampliar a capacidade resistência da estrutura, tendo em consideração novas cargas atuantes instaladas ou subdimensionamento da estrutura existente para a finalidade pretendida. Estas medidas de intervenção podem implicar algumas alterações do sistema estrutural existente abrangendo também medidas de reabilitação do edifício.
- 4º Substituição – Medidas a serem impostas quanto o nível de degradação dos elementos da estrutura assim o justificar, ou se o tipo de intervenção assim o exigir. Esta solução deve ser evitada e utilizada apenas em último caso, em conformidade com os princípios da reabilitação.

Em casos de reabilitação, o nível de intervenção em edifícios pode ser maior que o necessário, isto acontece devido a critérios impostos pela arquitetura, uma vez que existem compatibilidades entre a arquitetura a contruir e a capacidade resistente ou solução estrutural da estrutura existente.

Segundo Costa (2015) e baseado na bibliografia por este apresentado, as intervenções em edifícios podem ser divididas em três grandes grupos:

- Intervenções em fundações;
- Intervenções locais em elementos estruturais;
- Melhoramento do comportamento global do edifício.

Dado que as construções de edifícios antigos geralmente consistem principalmente em paredes resistentes de alvenaria e estruturas de madeira em pavimentos e cobertura, é de extrema importância

compreender o funcionamento e o papel que desempenha cada elemento estrutural e de que forma este contribui para o sistema estrutural do ponto de vista global da resistência do edifício às ações verticais e horizontais.

Nas medidas de intervenção em **fundações**, é possível atuar de três formas distintas:

- Ao nível do terreno de fundação, melhorando as características do solo, capacidade resistente do solo e de deformação:
- Ao nível das fundações, melhorando as características de resistência das mesmas (p. ex., alargamento de fundações com e sem recalçamento, fundações indiretas e consolidação);
- Ao nível do edifício, alterando o sistema estrutural e a forma como as cargas se distribuem, alterando a transmissão de cargas para zonas mais rígidas ou diminuindo a tensão atuante em zonas mais problemáticas do edifício.

Nas medidas de **intervenção locais em elementos estruturais** temos que:

- Nas estruturas de madeira, as anomalias estão geralmente relacionadas com os estados limite de utilização, nomeadamente as vibrações e as deformações excessivas dos pavimentos. Existem assim, duas abordagens distintas que podem ser aplicadas para limitar a deformação destes: reduzir o vão dos pavimentos ou reforçar a capacidade resistente do pavimento.
- Nas estruturas de alvenaria de pedra, as intervenções passam por consolidar juntas da alvenaria, melhorar e reforçar a ligação entre os paramentos. As soluções mais comuns incluem o preenchimento de vazios com injeções nas juntas ou no interior das paredes, correção de deformações, pregagens transversais entre folhas da alvenaria e reboco armado (seja com armadura de aço ou fibra de carbono ou vidro). Existem ainda outros sistemas, que fazem um reforço de superfície da alvenaria, nomeadamente o sistema CAM e o sistema RETICOLA, que tem um comportamento semelhante ao reboco armado, conferir ductilidade e aumentar a capacidade resistente e de deformação desta.

Nos casos em que existe uma degradação irrecuperável de um elemento estrutural este deve ser substituído, no entanto, em muitos casos, a degradação é apenas parcial, não afeta assim o elemento estrutural na sua totalidade. Quando o anterior acontece, o elemento estrutural deve ser substituído parcialmente por materiais semelhantes, fazendo a compatibilização química e mecânica entre os materiais, de modo que a intervenção seja mínima e reversível, e de forma a evitar grandes alterações na massa e na rigidez do elemento estrutural, como por exemplo:

- A substituição de argamassas degradadas em elementos de alvenaria por argamassas de melhor qualidade, aumentam ligeiramente a resistência à compressão e aumentam de forma considerável a resistência à tração e ao corte por deslizamento;
- A substituição parcial de vigas, nomeadamente na zona das entregas, recorre à realização de entalhes (Figura 3.6) entre a parte da viga nova e a parte da viga existente em bom estado de conservação. Reforços pontuais, nomeadamente nos apoios das vigas podem ainda ser realizados através de chapas metálicas que conferem a transferência do esforço da viga para a parede onde esta está apoiada, Figura 3.7.

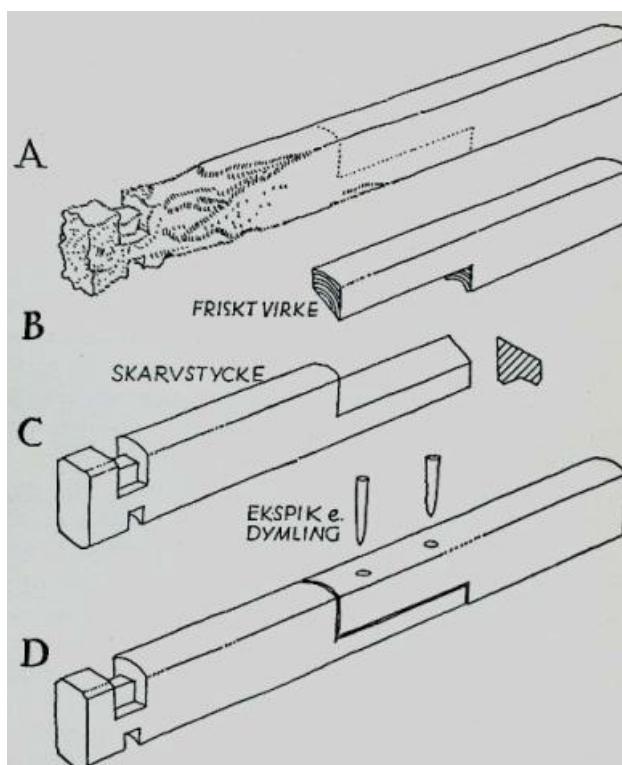


Figura 3.6 - Exemplo ilustrativo da realização de um entalhe (Costa, 2015)



Figura 3.7 - Reforço na entrega de uma viga com recurso a chapa metálica(Costa, 2015)

As medidas de **intervenção ao nível global** visam melhorar o comportamento global da estrutura com um todo, por outras palavras, o funcionamento conjunto da estrutura. Nas estruturas em madeira é importante garantir que existe uma rigidez do pavimento no plano, que confira um movimento em diafragma deste (Figura 3.8). Problemas relacionados com a ligação deficiente entre os pavimentos de madeira e as paredes resistentes têm impacto quer na segurança dos pavimentos quer na segurança global do edifício. Desta forma, deve existir a preocupação de garantir uma correta ligação entre as estruturas de madeira e as alvenarias resistentes, seja através de ligadores metálicos, seja por técnicas mais recentes como o uso de cantoneiras e chapas metálicas, representados na figura anterior.



Figura 3.8 – Exemplo de uma medida para rigidificar diafragmas (Costa, 2015)

Para melhorar o comportamento global das estruturas e conseguir um funcionamento integrado e conjunto, é necessário reforçar as ligações entre elementos, nomeadamente as ligações entre parede/parede e entre parede/pavimento, de forma que o edifício seja uma espécie de “caixa” forte.

Uma técnica amplamente utilizada em edifícios antigos é a colocação de tirantes entre panos de alvenaria opostos e/ou ao nível dos pavimentos, de modo que os elementos estruturais estão devidamente travados no caso de ocorrerem solicitações horizontais extraordinárias, por exemplo ações sísmicas.

Estas técnicas de reforço global das estruturas são soluções mecânicas que maximizam o potencial colaborante da estrutura e que contribuem, por exemplo para a redução da deformação independente de panos de alvenaria, melhoria na dissipação de energia, incremento de capacidade de carga e maior rigidez global da estrutura.(Miranda, 2014)

CAPÍTULO 4

CASA LEÇA DA PALMEIRA – INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL

4.1 INTRODUÇÃO

Na sequência do contacto realizado com o NCREP, foi elaborado um RID (relatório de inspeção e diagnóstico) com o objetivo de caracterizar o sistema estrutural e avaliar o estado de conservação do edifício situado em Leça da Palmeira, Matosinhos (Figura 4.1).

Previamente à visita, a equipa do NCREP contava com elementos recebidos por parte do gabinete de arquitetura, nomeadamente um levantamento arquitetónico do edifício e um estudo prévio.

No decorrer do trabalho foram efetuadas duas visitas técnicas ao edifício, realizada pela equipa do NCREP e com as devidas condições de segurança reunidas. Estas visitas tiveram como objetivo:

- Identificar o sistema construtivo e estrutural do edifício;
- Inspeccionar visualmente os elementos estruturais de alvenaria de pedra, de madeira e de betão armado para a deteção de danos estruturais e diagnóstico do estado de conservação, incluindo avaliação de possíveis causas associadas à sua origem;
- Realizar de ensaios *in-situ* que se revelem pertinentes para ajudar à caracterização do estado de conservação dos elementos estruturais, nomeadamente elementos estruturais em madeira.

O RID foi elaborado com base nas informações recolhidas após as campanhas de inspeção bem como informações fornecidas pelo dono de obra aquando da visita.

Neste capítulo podemos encontrar inicialmente uma análise e descrição do edifício, seguida dos danos e estado de conservação dos elementos estruturais e por fim uma avaliação da segurança dos diferentes elementos estruturais. De forma a complementar o que é apresentado neste capítulo, o Anexo I e II apresentam as peças desenhadas do relatório de inspeção e diagnóstico e o resultado dos ensaios com *Resistograph*[®].

4.2 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

Um edifício residencial constituído pelo rés do chão mais 3 pisos elevados contando o do desvão do telhado, designados no presente documento como piso 0, 1, 2 e 3. Existe ainda um logradouro associado que possui um anexo autónomo que não foi alvo da inspeção uma vez que já estava prevista a sua demolição pela arquitetura.



Figura 4.1 - Localização do edifício em estudo (<https://www.google.com/maps>)

Ao longo do seu desenvolvimento em altura o edifício apresenta-se regular em largura, no entanto em comprimento existe um recuo ao nível do piso 2, o que possibilita a existência de um terraço a essa mesma cota.

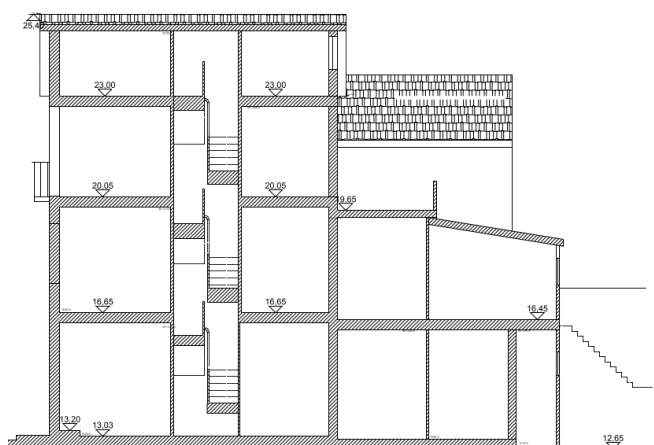
O edifício apresenta de uma forma geral, uma planta retangular, com uma área bruta de implantação nos pisos 0 e 1 de aproximadamente de 62m² embora a planta do piso 0 seja ligeiramente inferior devido a um corredor exterior situado do lado esquerdo da fachada de tardoz, Figura 4.2-b). O piso 2 e o piso 3 apresentam uma área de implantação de 50m² e 30m², respetivamente.

O acesso ao interior do edifício é realizado pelo piso 0, na rua principal. Para o acesso aos pisos elevados existe um núcleo central de comunicação vertical interior. Existem ainda escadas exteriores que possibilitam o acesso ao piso 1 pelo tardoz do edifício.



a) Alçado fachada principal

b) Alçado fachada de tardez



d) Corte longitudinal

Figura 4.2 - Desenhos gerais dos alçados da fachada principal e de tardez do edifício
(20220119_EP_Hummel_House – Elementos recebidos NCREP)

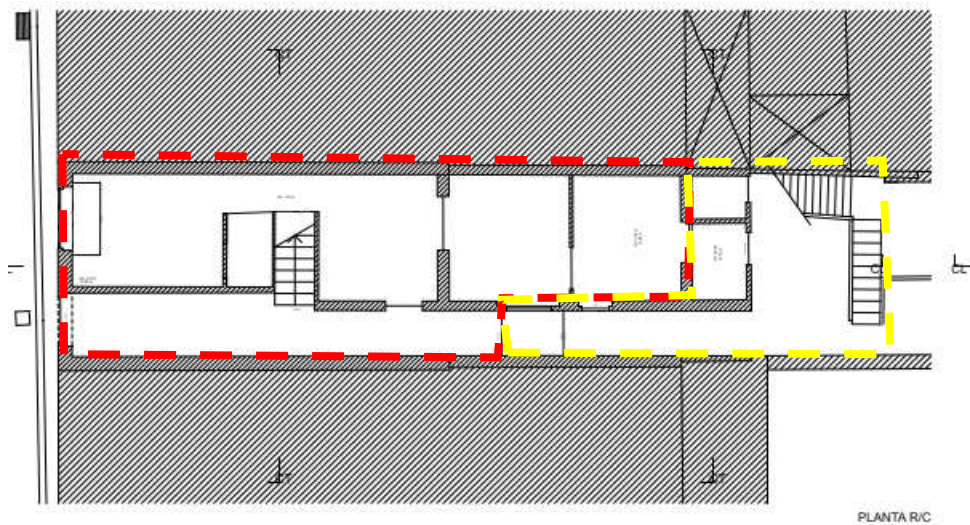
Pela análise da fachada principal do edifício, existem duas portas de acesso ao interior, no entanto sem indícios de marcas e/ou alinhamentos que assinalem a existência de frações autónomas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E ESTRUTURAL

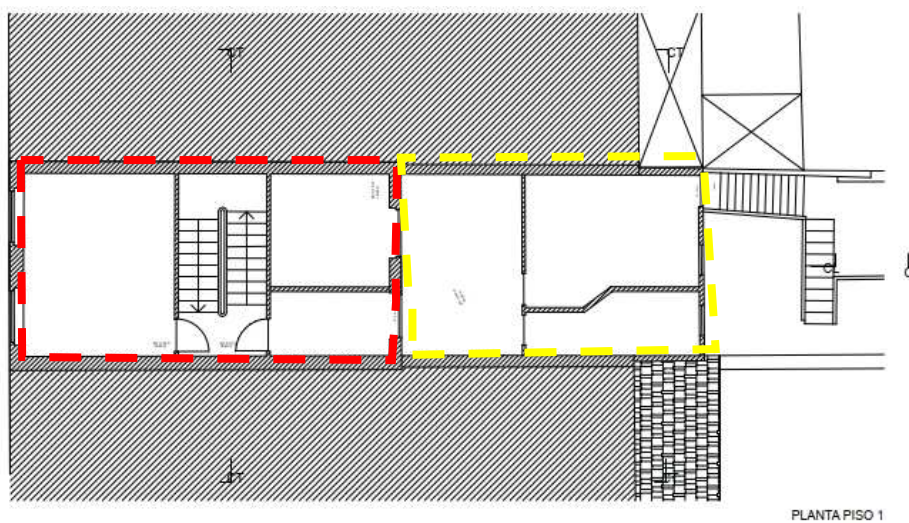
Em relação à estrutura e sistema construtivo do edifício, este apresenta uma estrutura composta por: (i) paredes de alvenaria de granito e de tabique; (ii) pavimentos, escadas e cobertura de estrutura de

madeira; (iii) pavimento do terraço do piso 2 em laje de vigotas de betão armado; e (iv) pavimento de parte do piso 1 de laje de betão armado. Os elementos (iii) e (iv) terão sido construídos em data posterior à construção do edifício. Com exceção dos dois últimos anteriormente mencionados, o edifício segue a tipologia construtiva típica dos edifícios de alvenaria e madeira: pavimentos e coberturas constituídos por vigas/barrotes de madeira apoiados em paredes de alvenaria.

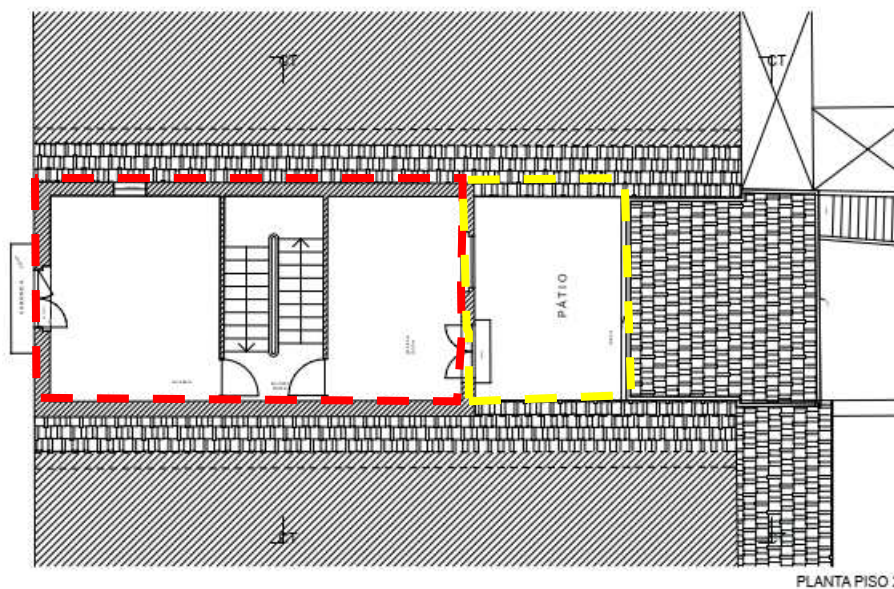
Para uma melhor compreensão do edifício a Figura 4.3 apresenta as plantas dos diferentes pisos com o levantamento arquitetónico existente, onde, delimitado a vermelho o que serão os elementos mais antigos, e a amarelo as alterações e/ou aumentos posteriores.



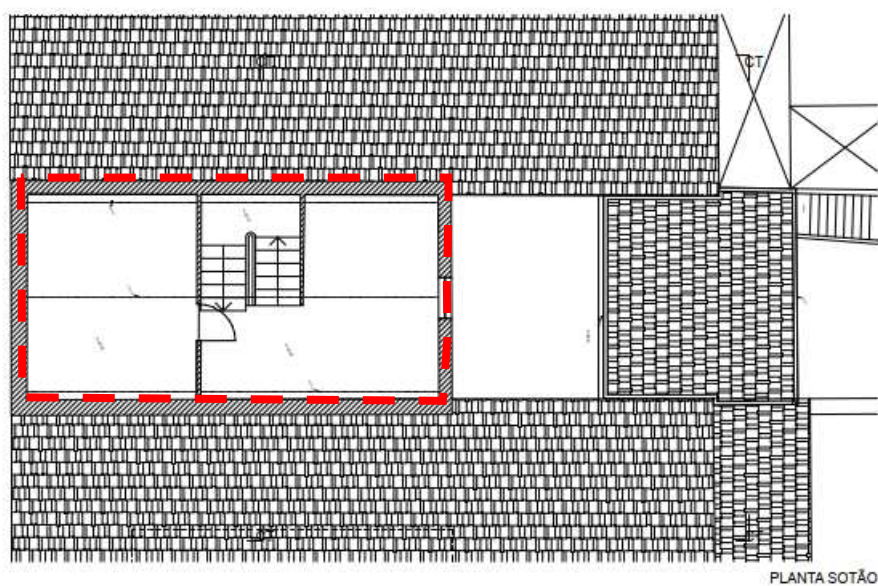
Levantamento do piso 0 (fonte: levantamento arquitetónico)



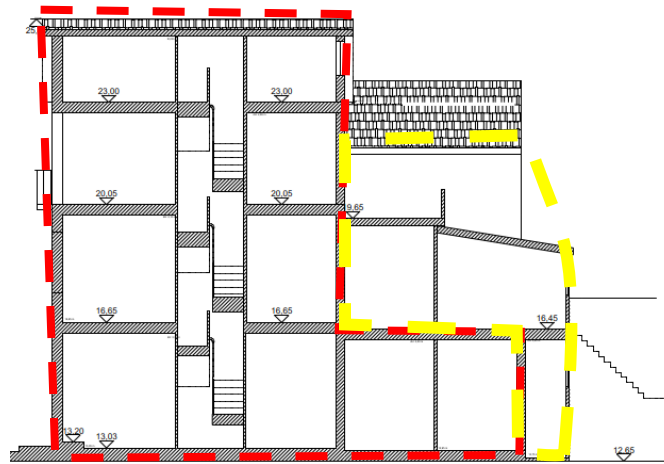
Levantamento do piso 1 (fonte: levantamento arquitetónico)



Levantamento do piso 2 (fonte: *levantamento arquitetônico*)



Levantamento do piso 3 (desvão do telhado) (fonte: *levantamento arquitetônico*)



Corte longitudinal (fonte: levantamento arquitetônico)

Figura 4.3 - Identificação em planta do edifício original e alterações posteriores

4.3.1 Estrutura vertical

A estrutura vertical do edifício é constituída por paredes resistentes de alvenaria de pedra, paredes de tabique e paredes de tijolo cerâmico. A sua representação é feita como ilustra a Figura 4.4.

As paredes de alvenaria de pedra delimitam todo o edifício original, delimitado a vermelho nas figuras anteriores, estão incluídas a fachada principal, as paredes meeiras entre edifícios contíguos, a parede de tardoz no piso 2 e 3 que é interior no piso 0 e 1 e ainda um troço de parede interior no piso 0 paralelo às paredes meeiras. As fotos gerais da estrutura vertical são apresentadas na Figura 4.5.

As paredes de tabique funcionam como paredes divisórias e/ou de apoio à estrutura das escadas. Algumas destas paredes possuem um desenvolvimento regular em altura do piso 0 ao piso 3, no entanto nem sempre estas estão alinhadas.

Na fachada de tardoz do piso 1 e na perpendicular a esta foram ainda observadas paredes, de 8,5cm e 14cm de espessura respetivamente, que se estimam ser de tijolo cerâmico furado e por isso sem capacidade portante/estrutural.

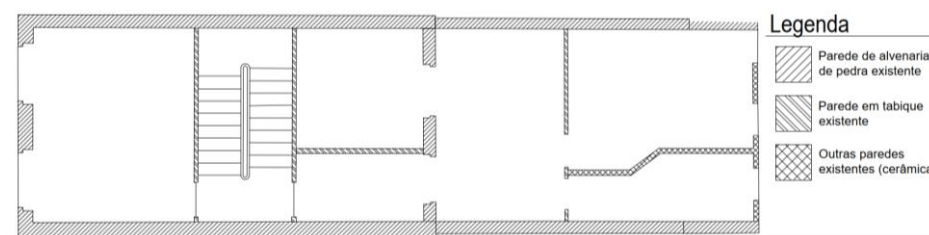


Figura 4.4 - Planta do piso 1 - constituição das paredes



a) Parede de alvenaria de pedra da fachada de tardoz (pisos 2 e 3)



b) Parede divisória interior de tabique



c) Parede de alvenaria cerâmica

Figura 4.5 – Fotos gerais da estrutura vertical

4.3.2 Estrutura horizontal

A estrutura horizontal do edifício, de uma forma geral, é constituída por vigas de madeira que recebem o soalho desse piso e tetos do piso inferior. Existem apenas duas exceções: a do terraço do piso 2, teto parcial do piso 1, que é constituído por uma laje aligeirada de vigotas e parte do pavimento do piso 1 que é constituído por uma laje, que se presume ser maciça de betão armado.

A laje aligeirada é constituída por vigotas com 12cm x 4,5cm, espaçadas de 63,5cm ao eixo e são dispostas perpendicularmente às fachadas. A laje tem uma espessura de cerca de 20 cm e contem blocos furados de betão leve com incorporação de argila expandida. A laje apoia na parede da fachada de tardoiz contígua ao terraço e numa viga de betão na extremidade oposta, Figura 4.7 - c).

Os pavimentos de estrutura de madeira são constituídos por vigas de secção retangular com secção média de (0,09x0,24) m² e estão espaçadas ao eixo entre 0,50m e 0,55m. As vigas estão dispostas paralelamente à fachada principal e apoiam-se nas paredes meeiras vencendo o vão entre os edifícios contíguos, aproximadamente 4,30m. Alguns dos pavimentos possuem soalho duplo, deduz-se que colocado à posterior da construção do edifício de forma a obviar alguma degradação material existente no soalho original, Figura 4.7 - a).

Junto à fachada de tardoiz, no pavimento do piso 1, existem vigas em madeira dispostas perpendicularmente à fachada, com geometria e dimensões variáveis, onde os valores médios rondam os (0,09x0,16) m² estando espaçadas de 0,78 m.

O teto do piso 1, junto à fachada de tardoiz, apresenta uma estrutura de madeira pouco qualificada, não tendo sido realizado levantamento estrutural, uma vez que a estrutura não oferecia condições de segurança para tal, Figura 4.7 - d).

Transversalmente às paredes meeiras, sob a estrutura de madeira do piso 1, existe uma padieira/viga de cantaria de granito com secção transversal de aproximadamente (0,24x0,42) m². Localizada sensivelmente a meio do edifício apoiada na parede meeira e na parede de alvenaria de pedra interior, paralela à parede meeira, Figura 4.7 - b).

A estrutura das escadas, também constituídas em madeira, revelam uma tipologia construtiva tradicional constituídas por vigas de madeira que recebem os degraus e apoiam em cadeias que descarregam os esforços ao nível dos pisos, nas vigas de pavimento e ao nível dos patamares intermédios nas paredes de tabique laterais, podendo ainda os esforços das escadas estarem encaminhados através destas cadeias para as paredes de alvenaria. No interior das escadas, podem ainda existir prumos que auxiliam e reforçam esse apoio. No entanto e uma vez que as escadas não apresentavam deformações nem anomalias visíveis e apresentaram bons resultados nos ensaios não destrutivos, não foram abertas janelas de sondagem que permitissem observar e fazer um levantamento direto dos elementos.

A figura 4.6 representa a forma como a estrutura horizontal está representada pelas plantas estruturais.

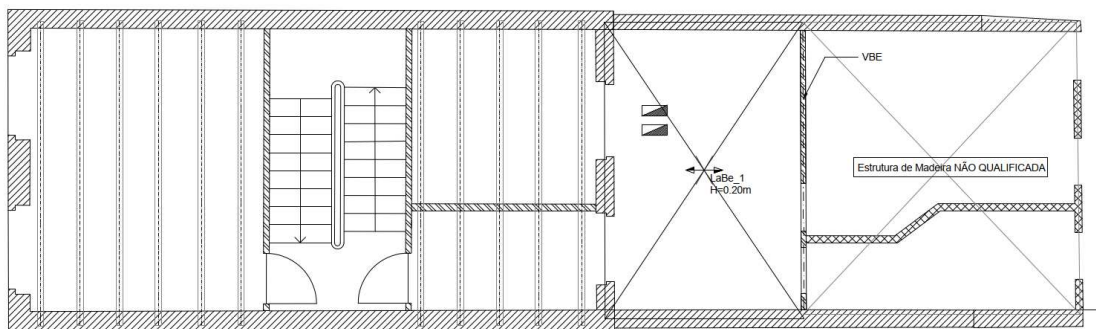


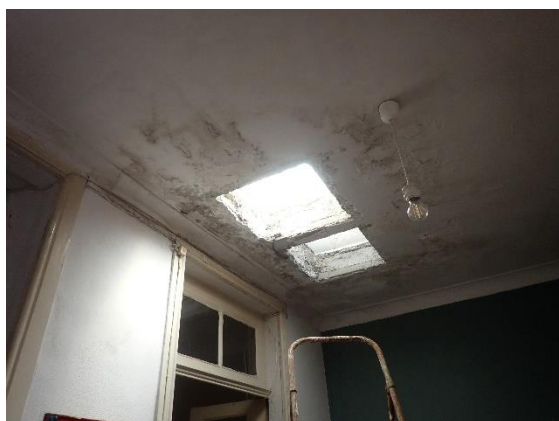
Figura 4.6 - Planta estrutural do piso 2



a) Pavimento de madeira (Piso 2)



b) Padieira/ viga de cantaria de granito (piso 0)



c) Laje aligeirada do pavimento do terraço (piso 2)



d) Estrutura de madeira não qualificada do tecto do piso 1

Figura 4.7 –Fotos gerais da estrutura horizontal

4.3.3 Estrutura da cobertura

A cobertura (fotos gerais da cobertura na Figura 4.8) do edifício é de duas águas e é constituída por elementos estruturais em madeira. Esta estrutura é composta por uma viga de cumeeira, madres e duas asnas em madeira que juntamente com as paredes de alvenaria dão suporte à estrutura.

Com base no que foi possível observar, todos os elementos de apoio à cobertura apresentam uma secção transversal retangular, à semelhança dos elementos que constituem os pavimentos.

As asnas estão posicionadas pelo exterior das paredes de tabique da caixa de escadas e vencem o vão livre entre os dois edifícios adjacentes. Estas consistem em duas pernas com dimensões de $(8 \times 19) \text{ cm}^2$ cada e uma linha inferior posicionada abaixo do soalho do pavimento e que se estima ter secção transversal igual à secção das pernas.

As madres, posicionadas cada um em cada água da cobertura e com secção transversal idêntica à dos elementos das asnas $(8 \times 19) \text{ cm}^2$, apoiam sensivelmente a meio vão das pernas. Na extremidade das pernas, estima-se que existam vigas frechal que recebem as varas e ligam as paredes no coroamento.

A estrutura da cobertura conta ainda com guarda pó em toda a área habitável.

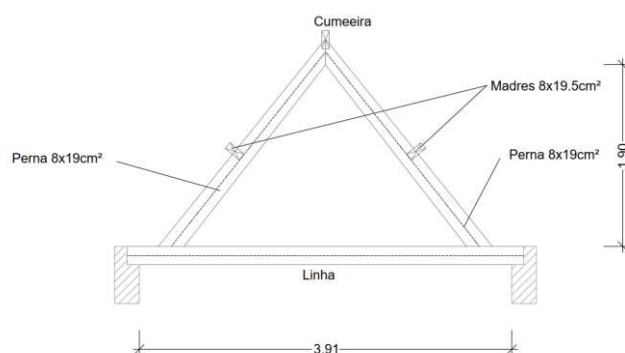


Figura 4.8 - Fotos gerais da cobertura e alçado tipo da asna

4.4 AÇÕES DE INSPEÇÃO E REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Para ser possível uma avaliação e caracterização do estado de conservação do edifício procedeu-se à realização de ensaios. Procurou-se minimizar o impacto nos elementos construtivos e estruturas dando prioridade à realização de ensaios não destrutivos:

- Identificação e levantamento geométrico dos elementos estruturais;
- Inspeção visual dos elementos estruturais, incluindo a abertura de quatro janelas de sondagem, localizadas em pontos estratégicos para inspeção visual direta de elementos estruturais;
- Utilização de detetor de metais como método não destrutivo para identificar posição das vigas de madeira sob o soalho, através da deteção dos pregos de fixação do soalho às vigas;
- Utilização do higrómetro com o objetivo de determinar o teor de humidade dos elementos estruturais de madeira, indicando possíveis infiltrações de água no interior do edifício que possam promover possíveis ataques de agentes bióticos;
- Realização de ensaios não destrutivos para a avaliação do estado de conservação de elementos estruturais em madeira através do *Resistograph*[®], Figura 4.9 - b).
- Identificação, compilação e registo de danos e anomalias estruturais.



a) Abertura de uma janela de sondagem no tecto do piso 1 para inspeção do pavimento



b) Ensaio realizado com o Resistógrafo

Figura 4.9 - Exemplo de ações de inspeção e ensaios realizadas

4.5 DANOS ESTRUTURAIS

Serão apresentados, de forma sucinta, os principais danos observados nos elementos estruturais. Estes foram registados com a respetiva localização e intensidade e assinalados nas peças desenhadas após serem descritos no RID, podem ainda ser encontradas em anexo o resultado das peças desenhadas.

De forma a sintetizar a informação no relatório e nas peças desenhadas, os danos foram registados e representados com referência à Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Lista dos danos observados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Húmidade (Face Inferior)	B1

4.5.1 Fissuração em paredes de alvenaria de pedra

Não foram observadas fissuras significativas nos elementos da alvenaria de pedra, com exceção da fissuração associada à degradação do reboco (Figura 4.10), presente na parede lateral do terraço. O estado do reboco sugere que existiram obras sucessivas de reparação/impermeabilização dos revestimentos e ainda que fissurados, estes encontram-se bem “agarrados” à alvenaria e não estão soltos ou destacados desta.



Figura 4.10 - Degradação do reboco de revestimento da parede de alvenaria lateral Sul do terraço com fissuração associada

4.5.2 Degradação material da madeira

A estrutura de madeira do edifício encontra-se em bom estado de conservação. Ainda que existam elementos estruturais com marcas de caruncho, nomeadamente na cobertura, este não é relevante na sua capacidade portante. A Figura 4.12 corresponde ao ensaio com o Resistograph® realizado a uma viga de madeira em bom estado de conservação (Figura 4.11 a)).

À exceção do resto da estrutura de madeira, as vigas de pavimento do piso 1, junto à fachada de tardo, apresentam uma forte degradação associada ao ataque de agentes bióticos (fungos e insetos), promovidos pela presença de teores em água elevados (Figura 4.11 b)). Terá ainda contribuído para esta anomalia o facto de as vigas darem suporte a uma cozinha no andar superior revestida a material cerâmico, aplicada sobre uma camada de argamassa espalhada sobre o soalho, onde não existiu uma correta impermeabilização, pelo que o próprio soalho serviu de cofragem à aplicação de cerâmica.



a) vigas de madeira do pavimento do piso 1

b) Vigas do pavimento do piso 1, tardo

Figura 4.11 - Estado de conservação das vigas de madeira dos pavimentos



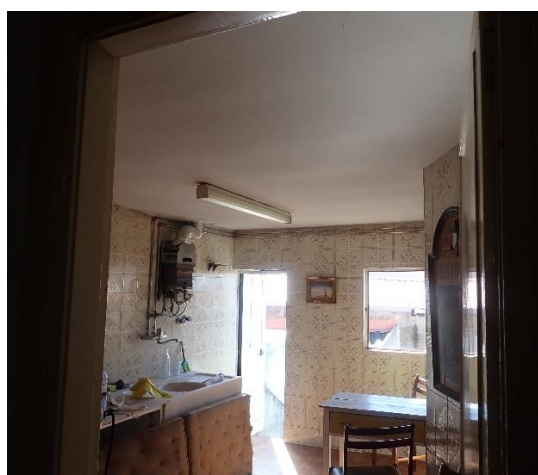
Figura 4.12 – Resultado ensaio Resistograph® - viga de pavimento do piso 1 em bom estado de conservação

4.5.3 Deformação

No teto do piso 1, junto à fachada de tardo, foram encontradas deformações excessivas. Como dito anteriormente, a estrutura de suporte do teto é uma estrutura não qualificada, Figura 4.13 – a), sendo que a deformação está associada à tipologia construtiva que não cumpre os requisitos de deformação e presumivelmente, de capacidade em estado limite último para as cargas atuantes instaladas, não sendo viável a sua manutenção.



a) Estrutura de suporte, não qualificada



b) Deformação vertical

Figura 4.13 - Teto do piso 1 junto à fachada de tardo

4.5.4 Presença de água no interior do edifício

A inspeção visual e os ensaios com o higrómetro revelaram que, de modo geral, os elementos estruturais em madeira não apresentam teores de água acima dos valores recomendados. Estes valores indicam que não existem entradas de água pelas fachadas e/ou cobertura, ajudando assim a justificar o bom estado de conservação encontrado nas madeiras. A exceção a esta situação foi observada no pavimento junto à fachada de tardo que apresenta uma forte presença de água que potenciou uma forte degradação material observada nas vigas de madeira, já descritas anteriormente.

Foram ainda, identificadas manchas de humidade na face inferior da laje aligeirada do segundo piso. Estas manchas são o resultado da entrada de água através das aberturas presentes na laje, estando associadas a uma impermeabilização inadequada do pavimento do terraço e das aberturas em si sem o uso de equipamento adequada, como o uso apropriado de claraboias, Figura 4.14 a) e b).



a) Manchas de humidade na face inferior da laje aligeirada



b) Ineficaz isolamento das aberturas na laje



c) Rotura de viga de madeira

Figura 4.14 - Degradação material por presença de humidade

4.6 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA ESTRUTURAL

A avaliação de segurança dos elementos estruturais foi baseada no levantamento estrutural realizado durante a inspeção ao edifício e apresentado nas peças desenhadas do Anexo I. É importante realçar que

esta avaliação tem em consideração apenas à ação das cargas verticais, tanto em termos de resistência dos ELU, como de utilização ELS.

4.6.1 Avaliação de segurança das paredes de alvenaria de pedra

A regulamentação em vigor atualmente não aborda a verificação de segurança de paredes de alvenaria irregular. No entanto, como mencionado anteriormente, em análises e resultados obtidos em ensaios experimentais realizados na FEUP e publicados por Almeida *et al.* (2010), estima-se que as paredes resistentes de alvenaria de granito tenham valores médios de resistência à compressão de aproximadamente 2,5MPa e módulos de deformabilidade vertical entre 0,3GPa e 0,5GPa.

Adotando, de forma conservativa, um fator de segurança de 2,5, resulta numa capacidade resistente de cálculo à compressão de 1,0 MPa.

Considerando que cerca de metade da carga do edifício em questão, bem como do edifício vizinho, é descarregada nas paredes meeiras, é obtido um valor de tensão atuante de compressão média sobre as paredes de cerca de 0,63 MPa, sendo este inferior ao valor resistente de cálculo considerado 1,0 MPa.

É importante salientar que esta análise foi considerada utilizando a parede meeira de menor espessura e a zona mais carregada da mesma, ou seja, junto à fachada principal do lado este do edifício, onde existem mais pisos elevados.

4.6.2 Avaliação de segurança das estruturas de madeira

Na verificação de segurança aos ELU, para além da verificação de esforços, está incluída a análise da possibilidade de ocorrência de fenômenos de instabilidade, como encurvadura à compressão e/ou encurvadura lateral-torsional por flexão. No que diz respeito aos ELS, foram verificados o estado limite de deformação (ELD) e o estado limite de vibração (ELV).

Foi considerada a classe de serviço 1 para todos os elementos de madeira e dada a natureza do material a classe de resistência D30. As características da ligação da entrega da viga/parede de alvenaria materializam um apoio que nesta verificação foi considerado simples.

De acordo com o anteriormente apresentado, na secção 3.4.2, temos a Tabela 4.2 que apresenta as resistências de cálculo estimadas para os elementos estruturais de madeiras. A tabela apresenta as principais características resistentes pela classe de madeira utilizada.

Tabela 4.2 - Resistências de cálculo estimadas para os elementos estruturais de madeira

Classe Resistente	Cargas	k_{mod}	$f_{m,d}$ (MPa)	$f_{t,0,d}$ (MPa)	$f_{c,0,d}$ (MPa)	$f_{c,90,d}$ (MPa)	$f_{v,d}$ (MPa)
D30	Media duração	0,8	18,5	11,1	14,8	3,3	2,4

A verificação de segurança estrutural de elementos de madeira foi feita com base na seguinte regulamentação:

- NP EN 1990 – Eurocódigo 0 – Bases para projeto de estruturas (NP EN 1990: 2009, 2009);
- NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-1: ações gerais – pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios (NP EN 1991-1-1, 2009);
- NP EN 1995 – Eurocódigo 5 – Projeto de estruturas de madeira. Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios (LNEC, 2008)

Com base nos pressupostos da regulamentação mencionada, foram consideradas as seguintes combinações de ações:

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

$$\text{Comb}_{ELU} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,j} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

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

$$\text{Comb}_{ELS (u_{inst})} = G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- **Combinação quase-permanente, para verificação dos estados limite de utilização, no cálculo da deformação instantânea:**

$$\text{Comb}_{ELS} = G_{k,j} + \sum_{j > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

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 acompanhantes;

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

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

ψ_0 – Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável, Tabela 4.3;

ψ_2 – Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de ações variáveis, Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Coeficientes ψ (NP EN 1990: 2009, 2009)

	ψ_0	ψ_2
Pavimentos e escadas	0,7	0,3
Cobertura	0	0

No que diz respeito às ações consideradas, foram incluídos os pesos próprios dos elementos estruturais e não estruturais (Tabela 4.4), considerando as suas dimensões, os pesos volúmicos dos materiais e as disposições previstas na regulamentação já mencionada. Como ações variáveis foram contabilizadas as sobrecargas regulamentares nos pavimentos e coberturas.

Tabela 4.4 - Ações considerada(Costa, 2015; NP EN 1991-1-1, 2009)

Pesos próprios - $g_{k,i}$

Peso específico da madeira maciça de castanho, D30	6,40 kN/m ³
$g_{k,pavimento}$ – Soalho, betonilha e gesso cartonado	1,0 kN/m ²
$g_{k,cobertura}$ – Telhas, ripas, varas e guarda pó	1,0 kN/m ²
Sobrecargas regulamentares	
$q_{k,pavimento}$ – Atividades domésticas e residenciais	2,0 kN/m ²
$q_{k,cobertura}$ – Coberturas não acessíveis	0,4 kN/m ²

4.6.2.1 Verificação de segurança dos pavimentos

A avaliação de segurança foi feita para as secções transversais das vidas de madeira de cada uma das zonas do pavimento, determinadas com base nas medições diretas realizadas durante os trabalhos de inspeção. A Figura 4.15, 4.16 e a Tabela 4.5 correspondem às características e às verificações de segurança realizadas aos pavimentos.

A verificação é feita por amostragem, para o pavimento tipo e para as condições de carregamento mais desfavoráveis, uma vez que a estrutura dos pavimentos segue a mesma tipologia construtiva em todos os

pisos. É exceção disto, as vigas do pavimento do piso 1, uma vez que estas, com um vão de 2,80m, recebem uma parede de tabique simples que apoia no vão sensivelmente a 40cm da entrega destas, criando assim uma carga pontual.

A análise de segurança não foi efetuada para os elementos de madeira perpendiculars à fachada de tardoz do teto do piso 0, uma vez que o seu elevado estado de degradação impede a manutenção e recuperação das peças de madeira, obrigado à substituição por uma nova solução.

Não foram verificadas as condições de segurança das vigas das escadas nem das cadeias onde apoiam, uma vez que na inspeção não foi possível confirmar a tipologia construtiva nem as dimensões dos elementos estruturais destas. No entanto, a inspeção não detetou qualquer deformação evidente, vibração desconfortável ou danos (ataque de agentes bióticos, por exemplo), assumindo assim que a estrutura destas devem ser mantidas.

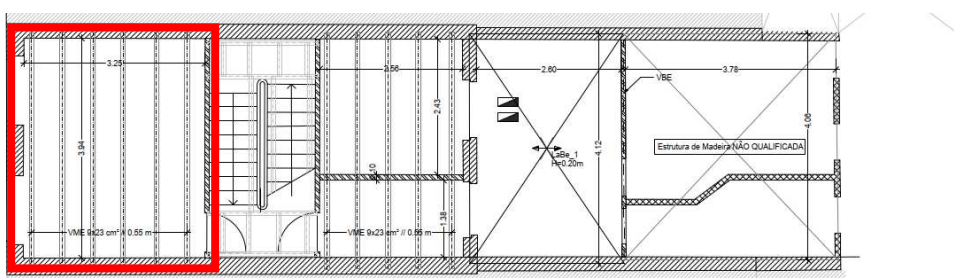


Figura 4.15 - Pavimento tipo marcado a vermelho (Planta estrutural do piso 2)

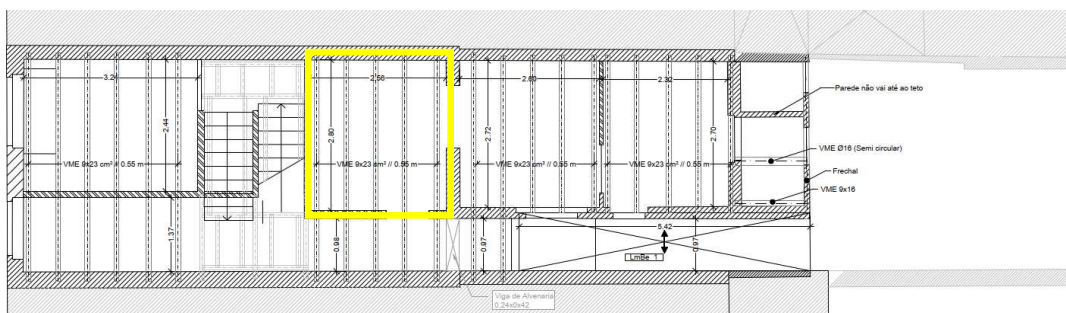


Figura 4.16 - Pavimento com carga da parede de tabique do piso superior marcado a amarelo (Planta estrutural do piso 1)

As tabelas seguintes (Tabela 4.5) apresentam a verificação dos pavimentos.

Tabela 4.5 – Verificação das vigas de madeira

Piso		Carreamento										Características e propriedades das vigas										E.L.U. Flexão (sem bambeamento)							
Elemento	Elemento	Espessura soalho (m)	Vão (m)	Largura pavimento (m)	Espacamento vigas (m)	Revestimentos (KN/m ²)	gK (KN/m ²)	Sobrecarga (KN/m ²)	psi2	psi1, ELU (KN/m)	psi1, ELS, G (KN/m)	psi1, ELS, Q (KN/m)	Massa serviço (kg)	Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	k_{32}	b (mm)	h ou e (mm)	Secção Transversal	F_y	$M_{ser}(M/m), G+Q$	$M_{ser}(M/m), G+Q$	Rácio (G+Q)	$M_{ser}(M/m), G$	$M_{ser}(M/m), G$	Rácio (G)	
Avaliação de segurança dos elementos existentes Pavimentos Piso Tipo VME_4m 0,06 4,0 1 0,55 1 1,6 2,00 0,3 2,85 0,89 1,10 225,6 Maciça D30 1 Média 1,1 90 230 Rect. 1,00 5,7 7,2 16 0,35 2,4 12 0,20 Piso 1 Carga pontual (Parede) 0,06 2,8 1 0,55 1 1,6 2,00 0,3 2,85 0,89 1,10 225,6 Maciça D30 1 Média 1,1 90 230 Rect. 1,00 3,6 4,5 16 0,22 2,0 12 0,16																													
Piso		E.L.U. Com bambeamento										E.L.U. Corte										E.L.S. - Deformação							
Elemento	Elemento	Espessura soalho (m)	Vão (m)	Largura pavimento (m)	Espacamento vigas (m)	m	Alinhamento Tarugos	$\sigma_{m,Rd,y}$	Rácio	V_{sd}	T_{sd}	Rácio	$U_{med,G}$ (mm)	$U_{med,Q}$ (mm)	$U_{med,tot}$ (mm)	1º Critério $U_{med,tot} \leq 300$	$U_{med,G}$ (mm)	$U_{med,Q}$ (mm)	$U_{med,tot}$ (mm)	2º Critério $U_{med,tot} \leq 250$									
Avaliação de segurança dos elementos existentes Pavimentos Piso Tipo VME_4m 0,06 4,0 1 0,55 0,88 1 20,3 0,35 5,70 0,62 0,26 3,1 3,8 6,9 13,3 5,0 4,5 9,5 16,0 Piso 1 Carga pontual (Parede) 0,06 2,8 1 0,55 0,88 1 20,3 0,22 6 0,64 0,27 1,0 1,0 1,9 9,3 1,6 1,1 2,7 11,2																													
Piso		E.L.S. - Vibração																											
Elemento	Elemento	Espessura soalho (m)	Vão (m)	Largura pavimento (m)	Espacamento vigas (m)	leq	kamp	Amortecimento	l soalho (m ⁴)	l vigas (m ⁴)	Frequência (Hz)	fa	kdist	a (mm)	amax (mm)	Rácio	bv=	vp (m/(Ns ²))	v=	Rácio (v<=vp)									
Avaliação de segurança dos elementos existentes Pavimentos Piso Tipo VME_4m 0,06 4,0 1 0,55 2,6 1,05 0,02 1,80E-05 9,13E-05 8,83 30,293 0,300 0,12 1,80 0,07 173 0,014 0,003 0,24 Piso 1 Carga pontual (Parede) 0,06 2,8 1 0,55 3 1,05 0,02 1,80E-05 9,13E-05 18,02 30,293 0,300 0,14 1,80 0,08 171 0,037 0,004 0,12																													

Face ao resultado apresentado nas tabelas, as vigas dos pavimentos verificam os critérios de segurança com uma margem confortável. Os critérios de segurança para os ELU, todos os rácios são bastante inferiores a 1,0.

No caso dos critérios de ELS, as vigas de pavimento verificam os limites de deformação e vibração, garantido assim o conforto aquando do uso dos utilizadores.

Em conclusão, as verificações de segurança comprovam o que foi constatado na inspeção: os pavimentos garantem as condições regulamentares de segurança e conforto estrutural.

4.6.2.2 Verificação de segurança dos elementos estruturais da cobertura

Os esforços atuantes nos elementos das madres e asnas foram obtidos a partir de programas de cálculo automático. Para tal, teve-se em conta que as madres promovem travamento às pernas no plano perpendicular das asnas, reduzindo assim o comprimento de encurvadura nessa direção para metade. Considera-se ainda que as madres estão simplesmente apoiadas nas pernas e a ligação entre as pernas e as linhas são rotuladas de modo que estas não transmitam esforços de flexão entre si (Figura 4.17).

Verificação de segurança apresentada nas Tabelas 4.6 e 4.7.

- Linhas: Flexão composta (M+T);
- Pernas: Flexão composta (M+C) e encurvadura;
- Madres: Flexão desviada ($M_x + M_y$) e encurvadura lateral.

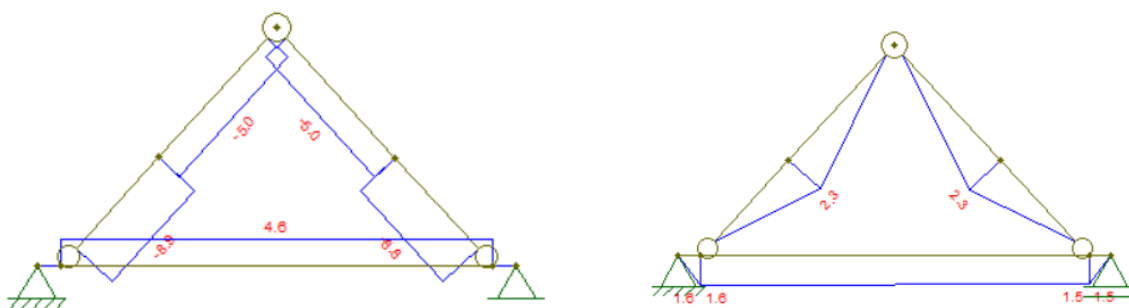


Figura 4.17 - Diagrama de esforços axiais e momentos fletores, respetivamente

Tabela 4.6 - Verificação dos elementos das asnas

NCR EP CONSULTORIA DE REABILITACAO DO EDIFICADO E PATRIMONIO		Características e propriedades das vigas																				
		alfa Elemento	Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	b ou ø (mm)	h (mm)	h/b	Vão (m)	Seccção Transversal	k _s	k _{cr} (0,7 para rectangular; 1,0 para outras secções)	M _{ax,y} (kN m)	σ _{max,y} =	M _{ax,y} (kN m)	Rácio	l _{ef} (m)	σ _{max,y} =	Rácio		
Elementos com Esforço Axial																						
Asna	44@	Perna	Maciça	D30	1	Média	80	195	2,4	2,6	Rectangular	1,00	0,70	2,3	4,54	9,4	0,25	2,29	18,5	0,25		
Asna	@	Linha	Maciça	D30	1	Média	80	195	2,4	3,9	Rectangular	1,00	0,70	1,6	3,16	9,4	0,17	3,44	18,5	0,17		
E.L.U.																						
NCR EP CONSULTORIA DE REABILITACAO DO EDIFICADO E PATRIMONIO		alfa Elemento	l _{ef} (m)	σ _{max,t} =	λ _{max,t} =	k _{crit}	σ _{max,z} =	Rácio	N _{ed} (kN) (+=-C=-T)	l (m)	y _{base} (0 - Encastrado - livre)	y _{topo}	z _{base}	z _{topo}	N _{ed} (kN)	N _{red,t} =	N _{red,y} =	Rácio _{o,y} =	Rácio _{o,z} =	Rácio	Flexão Composta (N+T/C)	Flexão Composta (N+T/C) com bambaleamento
		Asna	44@	Perna	2,29	1296,3	0,15	1,00	18,46	0,00	8,9	2,60	1	1	0	0	230,4	124,3	101,4	0,07	0,09	0,09
Asna	@	Linha	3,44	862,0	0,19	1,00	18,46	0,00	-4,6	3,91	1	1	1	1	172,8	46,5	8,4	-0,10	-0,54	0,03	0,20	0,20

Tabela 4.7 – Verificação das madres

Elemento	Características geométricas					Carregamento								Características material				Flexão simples				
	Apóio parede (m)	b (m)	h (m)	h/b	Vão (m)	k_{cc}	Revestimentos (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²)	L influência (m)	g_k (kN/m)	q_k (kN/m)	ped. ELU (kN/m)	ped. ELS: G (kN/m)	ped. ELS: Q (kN/m)	Tipo de madeira	Maciça	bv	Classe de serviço	Duração da acção	Med (kN/m)	Rácio	
Soluções de Novos Elementos																						
Cobertura	Madre	0,10	0,09	0,20	2,3	3,1	1,00	1,0	0,4	0,98	1,08	0,39	2,05	1,08	0,39	Maciça	D30	0,88	1	Média	2,46	0,25 OK

Elemento	Características geométricas					Bambeamento	Corte		Compressão ⊥ fibras	Flexão desviada								
	Apóio parede (m)	b (m)	h (m)	h/b	Vão (m)		Rácio	Ved		t_d (MPa)	Rácio	Rácio	alfa (graus)	P_y edELU (kN/m)	P_z edELU (kN/m)	M_y ed (kN.m)	M_z ed (kN.m)	Rácio
Soluções de Novos Elementos																		
Cobertura	Madre	0,10	0,09	0,20	2,3	3,1	0,25 OK	3,18	0,29	0,12 OK	0,11 OK	30,0	1,03	1,78	2,13	1,23	0,39	0,40

Elemento	Características geométricas					E.L.S. - Deformação ZZ (Ped,zz para ly)				E.L.S. - Deformação YY (Ped,yy para lz)								
	Apóio parede (m)	b (m)	h (m)	h/b	Vão (m)	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério $u_{instEL}/300$	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério $u_{finEL}/250$	$u_{inst,G}$ (mm)	$u_{inst,Q}$ (mm)	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério $u_{instEL}/300$	$u_{fin,G}$ (mm)	$u_{fin,Q}$ (mm)	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério $u_{finEL}/250$	
Soluções de Novos Elementos																		
Cobertura	Madre	0,10	0,09	0,20	2,3	3,1	2,82	10,33 OK	4,16	12,40 OK	6,01	2,17	8,18	10,3 OK	9,61	2,43	12,04	12,4 OK

Face ao resultado apresentado nas tabelas, os elementos da cobertura verificam, também com uma margem confortável, os critérios de segurança para os ELU, com rácios muito inferiores a 1,0.

Os elementos da asna foram ainda submetidos à verificação do estado limite de deformação. As madres com maior vão verificam, por uma margem muito pequena, o limite máximo da deformação final, o que significa que um pequeno aumento da carga atuante pode alterar este resultado.

À semelhança dos pavimentos, também os elementos da cobertura comprovam o que foi constado na inspeção: para as cargas instaladas, a cobertura não apresenta problemas de comportamento ou de segurança estrutural.

4.7 SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

Tendo em conta o levantamento dos elementos estruturais, bem como a inspeção e a avaliação de segurança estrutural para as condições existentes, são sugeridas medidas de intervenção, sendo que as mesmas devem ser revistas e ajustadas com maior detalhe em fase de projeto de reabilitação estrutural, não descartando a hipótese de surgirem alterações e ajustes, nomeadamente em fase de obra.

Nas peças desenhadas do anexo I é possível encontrar 3 níveis de intervenção, tendo em conta o estado de conservação e a verificação de segurança efetuada. Estes níveis de intervenção encontram-se delimitados por zonas distinguidos por 3 cores: zona a verde – elementos estruturais podem ser mantidos; zona a amarelo – elementos estruturais podem ser mantidos com medidas de intervenção; zona a vermelho – os elementos estruturais precisam de ser substituídos.

Medidas de intervenção, em elementos de madeira:

- Limpeza, tratamento e proteção dos elementos contra o ataque de agente bióticos (para todos os elementos estruturais em madeira);
- Nas condições atuais, não se prevê qualquer intervenção estrutural na estrutura da cobertura, da paredes de tabique ou das escadas;
- Se existir introdução de elementos novos em madeira é aconselhável que estes venham tratados de fábrica contra o ataque de agentes bióticos.

Medidas de intervenção, em pavimentos e/ou tetos:

- Remoção integral do revestimento cerâmico e da argamassa existente sobre o pavimento de madeira do compartimento do piso 1 junto à fachada de tardo e substituição dos elementos estruturais de madeira degradados;
- Substituição integral da estrutura de madeira não qualificada do teto do piso 1 por uma nova estrutura de madeira.

Medidas de intervenção, em paredes de alvenaria:

- Reforço da ligação entre as paredes de alvenaria de pedra utilizando a estrutura dos pavimentos;
- Substituição das paredes de alvenaria cerâmica por paredes com carácter estrutural.

Medidas de intervenção, laje em betão:

- Impermeabilização da superfície exposta da laje aligeirada do pavimento do terraço do piso 2 e utilização de claraboias evitando entradas de água e degradação do betão.

CAPÍTULO 4

No estudo prévio, a arquitetura previa a demolição parcial da estrutura delimitada a amarelo nas figuras 4.3, nomeadamente paredes interiores e pavimentos, acrescentando posteriormente um novo piso a partir do terraço, como mostra a Figura 4.18, que faz parte dos vermelhos e amarelos¹¹ enviados pelo gabinete de arquitetura.

Como comentário adicional, alerta-se para que a remoção, parcial ou total, de paredes interiores de alvenaria de pedra paralelas às paredes meeiras implica a introdução de um novo sistema estrutural de suporte aos pavimentos, nomeadamente vigas e/ou pilares. Também a remoção às cotas mais baixas, de paredes de alvenaria de pedra paralelas às paredes de fachada implica um novo estudo e alteração do sistema estrutural para a transferência de cargas para o solo.

¹ Vermelhos e Amarelos – Nomenclatura utilizada na linguagem corrente de arquitetura e engenharia para referir elementos novos a construir (vermelhos) e elementos previstos a demolir (Amarelos).

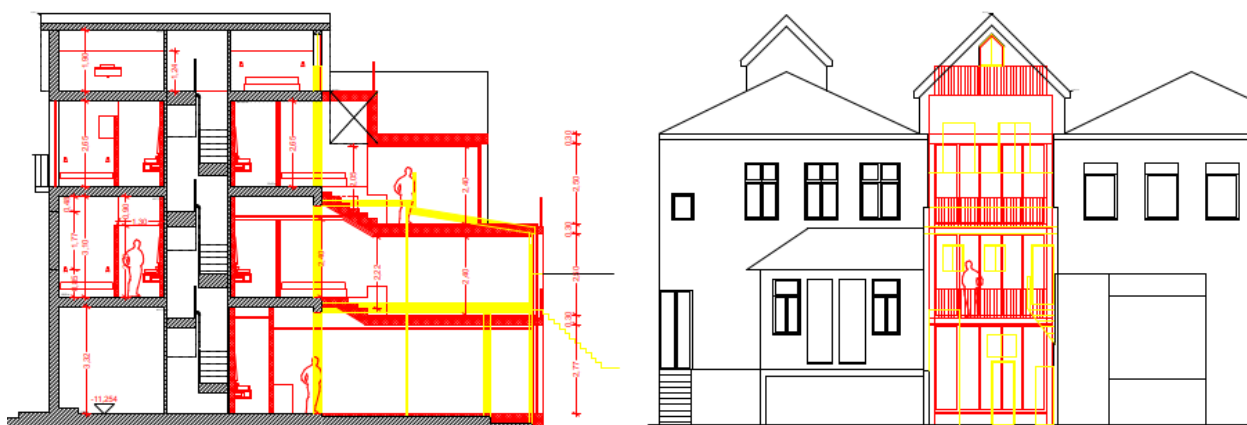


Figura 4.18 - Vermelhos e amarelos, estudo prévio, Adriano Pimenta Arquitetos, Lda

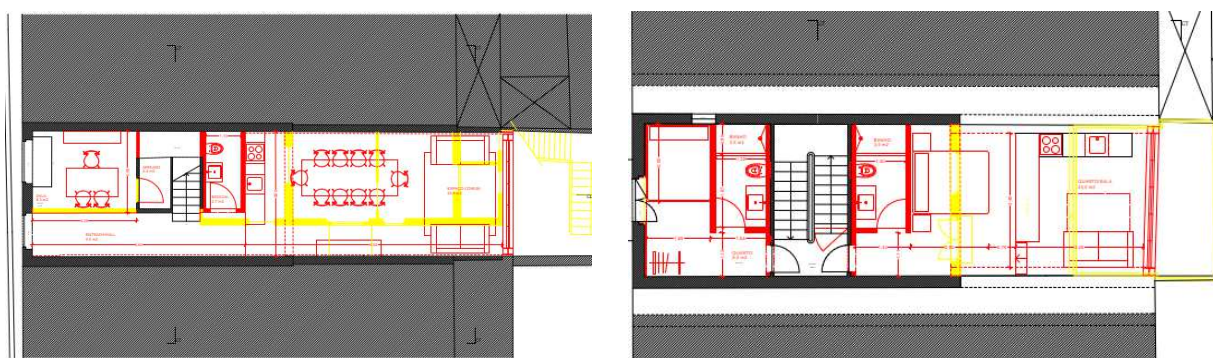


Figura 4.19 – Plantas ilustrativas do piso 0 e do piso 1, vermelhos e amarelos, estudo prévio, Adriano Pimenta Arquitetos, Lda

Por outro lado, qualquer alteração nas volumetrias do edifício existente, nomeadamente a altura, pode exigir a criação de pórticos internos para evitar impactos nos edifícios vizinhos. No entanto, como mostrou a verificação de segurança estrutural às paredes de alvenaria de pedra, as paredes meeiras possuem a capacidade de receber eventuais estruturas adicionais na zona de tardez, atualmente com apenas dois pisos.

CAPÍTULO 5

CASA BAIROS (COBERTURA) – PROJETO DE EXECUÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

O projeto de execução da cobertura da Casa Bairros, foi desenvolvido a partir de uma solicitação feita ao NCREP com o objetivo de se intervir numa cobertura de madeira de um edifício de habitação, localizado em Bairros, Trofa.

Foi realizada uma visita técnica à cobertura (Figura 5.2 e Figura 5.3) com o objetivo de fazer um levantamento estrutural, uma vez que não existia nenhum, identificar e avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais da cobertura, bem como identificar os principais danos e anomalias presentes. Através da informação recolhida aquando da campanha de inspeção, representada pela Figura 5.1, foi possível desenvolver um projeto de estabilidade, onde as decisões tomadas tiveram por base a informação do estado de conservação atual da cobertura, promovendo a reabilitação estrutural da mesma, colmatando os danos e as insuficiências estruturais identificadas e dotando-a de condições de segurança e utilização regularmente exigidas e necessárias ao seu bom funcionamento.

No anexo III, encontram-se as peças desenhadas resultantes do projeto de execução.

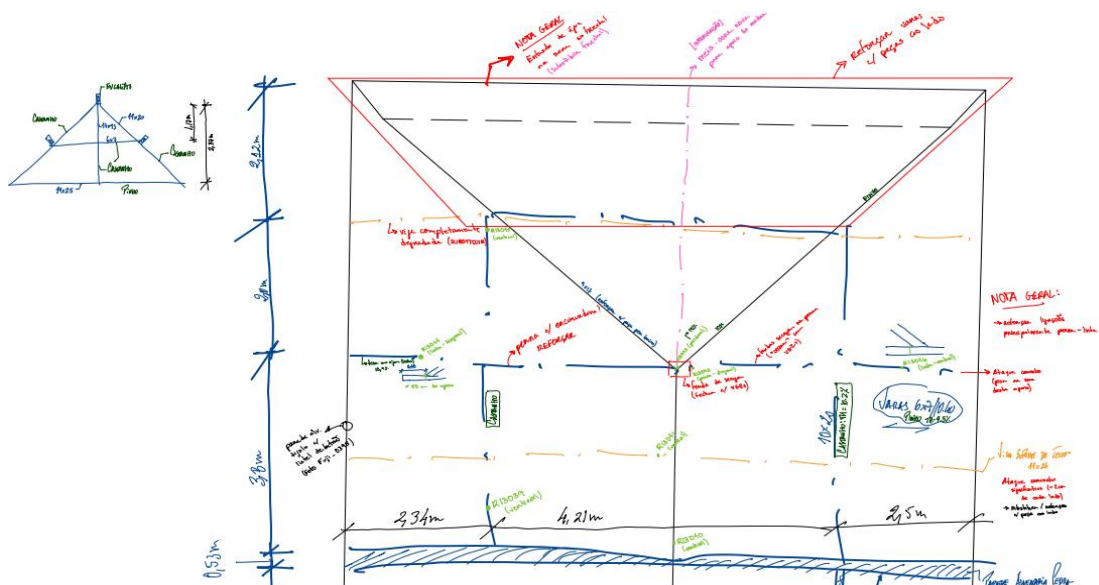


Figura 5.1 - Recolha de informação na campanha de inspeção



Figura 5.2 - Fotos gerais da parte da cobertura alvo de intervenção

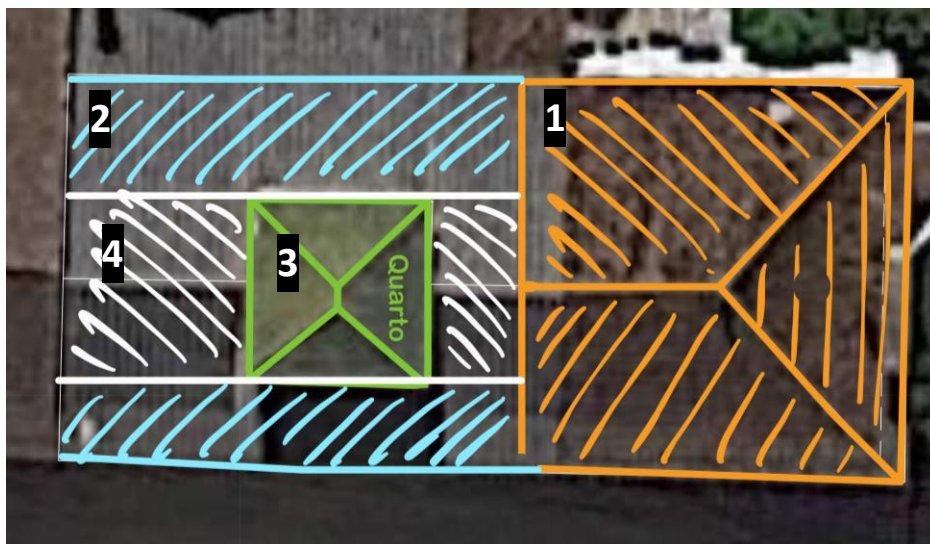


Figura 5.3 – Localização da parte da cobertura alvo da intervenção delimitada a vermelho

A cobertura em estudo está delimitada a vermelho na Figura 5.3. É composta por 3 águas, sendo que esta é interrompida por uma parede de alvenaria que faz a divisão entre a parte da cobertura a intervir e um espaço habitável.

A parede de alvenaria serve de apoio a elementos estruturais das coberturas. Adjacente à cobertura a intervir e separado pela parede de alvenaria existem divisões que dão lugares a arrumos e uma mansarda.

A Figura 5.4 mostra as fotografias gerais dos espaços adjacentes à parte da cobertura que foi alvo de intervenção, onde é possível ver o quarto a que a mansarda dá lugar, os dois compartimentos adjacentes à mansarda que dão lugar a arrumos e o espaço a uma cota inferior que dá suporte à mansarda e aos compartimentos de arrumos.



a) Posicionamento dos espaços em planta na cobertura do edifício

Legenda:

- 1) Área da cobertura alvo de intervenção;
- 2) Área inferior ao espaço 4 e ao espaço 3, Figura 5.4b) e 5.4c);
- 3) Mansarda, Figura 5.4d);
- 4) Área de arrumos, Figura 5.4e).



b) Vista por baixo da mansarda existente, espaço 2



c) Espaço 2, é possível ver paredes verticais e estruturas de suporte horizontal da mansarda



d) Espaço 4 junto ao espaço 1, área de arrumos com vista da porta da mansarda

e) Espaço 4 oposto ao espaço 1, zona de arrumos

Figura 5.4 – Fotografias gerais dos espaços adjacentes à cobertura a intervir

Esta análise, de recolher informação e perceber como estão organizados os espaços adjacentes à estrutura alvo e qual o sistema estrutural que os compõe é importante uma vez que permite perceber se existe um funcionamento conjunto de toda a cobertura ou se a estrutura alvo da intervenção tem um funcionamento independente das restantes. Esta abordagem é essencial uma vez que aquando da intervenção o edifício não será desocupado e é importante reduzir o risco de ocorrerem danos ou existirem implicações nas estruturas adjacentes durante a intervenção à estrutura alvo.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DA COBERTURA

A cobertura divide-se em duas partes: elementos estruturais de suporte de teto; e elementos estruturais de suporte da cobertura.

Nos elementos estruturais de suporte de teto, Figura 5.5, existem duas vigas principais de suporte de teto e ripas de madeira posicionadas ortogonalmente a estas para fixação do estuque. As ripas de madeira encontram-se também apoiadas na face inferior da linha da asna. A área preenchida a tracejado não foi possível aceder. A estrutura alvo de intervenção encontra-se delimitada a vermelho.

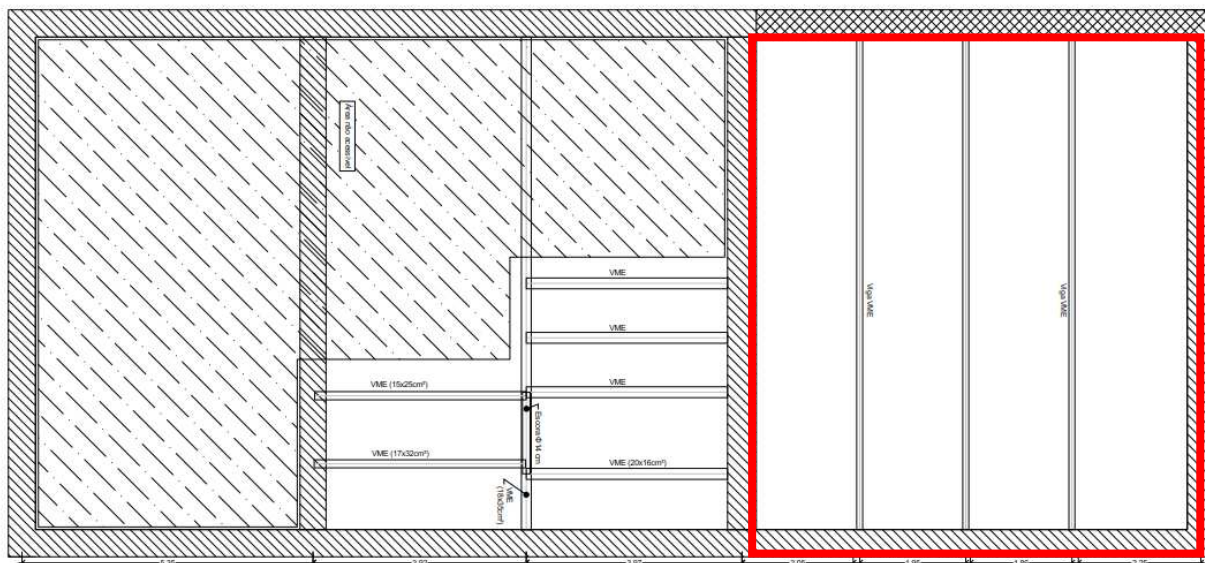


Figura 5.5 – Levantamento estrutural dos elementos estruturais de suporte de teto

Em relação aos elementos estruturais da cobertura, temos esta é composta por:

- Três madres, uma em cada água, de madeira maciça do tipo folhosa (Castanho, D30), com dimensões de (0,10x0,20) m². Duas das madres estão apoiadas na parede divisória de alvenaria e na asna, sendo que a outra está apoiada nos dois rincões existentes;
- Dois rincões, em madeira maciça resinosa (Pinho, C18), com dimensões de (0,09x0,14) m². Os rincões apoiam nas paredes de alvenaria exteriores e no topo da perna da asna;
- Uma asna simples com linha elevada, em que:
 - Linha inferior, madeira maciça resinosa (Pinho, C18), com dimensões de (0,11x0,25) m². A linha vence o vão entre as paredes de alvenaria, 9,10 m;
 - Duas pernas, madeira maciça folhosa (Castanho, D30), com dimensões de (0,11x0,20) m²;
 - Linha elevada, madeira maciça folhosa (Castanho, D30), com dimensões de (0,06x0,7) m²;
 - Pendural, madeira maciça folhosa (Castanho, D30), com dimensões (0,13x0,17) m²;
- Cumieira, em madeira maciça folhosa (Eucalipto, D30), com uma altura de 0,20 m.
- Varas, em madeira maciça resinosa (Pinho, C18), com dimensões (0,06x0,07) m²;
- Frechais de madeira, inspeção visual à distância, uma vez que não existiam as condições de segurança necessárias para conseguir fazer um levantamento das dimensões da secção ou realização de ensaios in-situ.

A Figura 5.6 apresenta o levantamento estrutural de toda a cobertura, a área preenchida a tracejado não foi possível aceder visto que pertence à cobertura da mansarda. A parte alvo de intervenção está delimitada a vermelho.

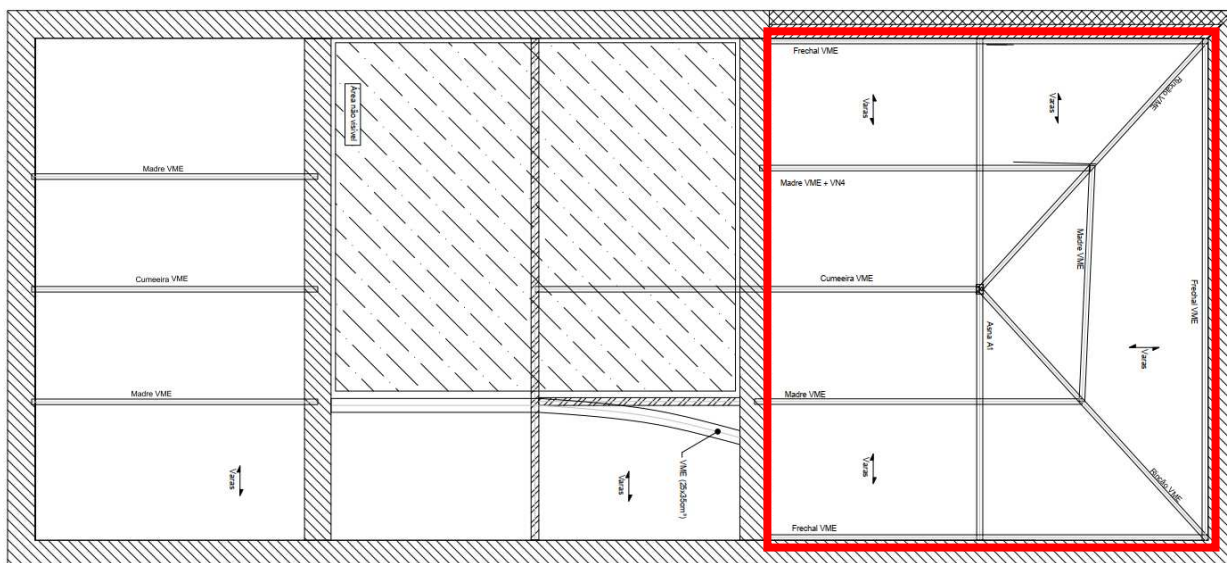


Figura 5.6 - Levantamento estrutural dos elementos estruturais cobertura

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DANOS ESTRUTURAIS

Durante as ações de inspeção, eram evidentes dos danos nos elementos estruturais de madeira. Note-se que os dados e comentários seguintes têm por base, não só a inspeção visual, como os resultados dos ensaios realizados in-situ, nomeadamente com o *Resistograph*[®] (Figura 5.10 e 5.11) e o higrómetro.

A estrutura de madeira da cobertura apresenta-se, na generalidade, num estado de conservação precário. É evidente que existem entradas de água (Figura 5.7) na cobertura através do isolamento deficiente das telhas, nomeadamente junto aos frechais, o que levou a um elevado estado de degradação destes.



Figura 5.7 - Entrada de água junto ao frechal, degradação dos elementos estruturais

De um modo geral, todos os elementos estruturais apresentam danos relacionados com ataques de agentes bióticos (caruncho) (Figura 5.8) sendo que é mais notório nas vigas de suporte de teto, com perdas de secção superiores a 2 cm em cada face.



Figura 5.8 - Ataque de caruncho, vigas de suporte de teto

No campo das deformações, as águas da cobertura encontram-se com ligeira deformação (Figura 5.9 a)), fazendo uma flecha devido à insuficiente capacidade resistente dos elementos estruturais. Estas deformações podem ser explicadas pelo mau estado de conservação dos elementos estruturais e a existência de vãos livres muito grandes, que através do fenómeno da fluência na madeira levou a que esta se deformasse ao longo do tempo.

Existem ainda arames fixados ao longo dos elementos estruturais que servem de apoio às vigas de suporte de teto, impedindo a deformação excessiva destas, caso existam. Estes estão tracionados e presos aos elementos posicionados acima destes, nomeadamente, à cumeeira e às pernas da asna.

No que diz respeito à asna, verificaram-se fenómenos de encurvadura numa das pernas. Eram ainda evidentes fendas de secagem nas pernas e no pendural (Figura 5.9 b) e c)). A asna é caracterizada por uma fraca ligação entre os diversos elementos, nomeadamente entre as pernas e a linha.



a) Deformação das águas do telhado

b) Fenda de secagem, pendural



c) Fenda de secagem, perna



d) Perda de secção, perna

Figura 5.9 - Fotos gerais de danos e anomalias nos elementos estruturais

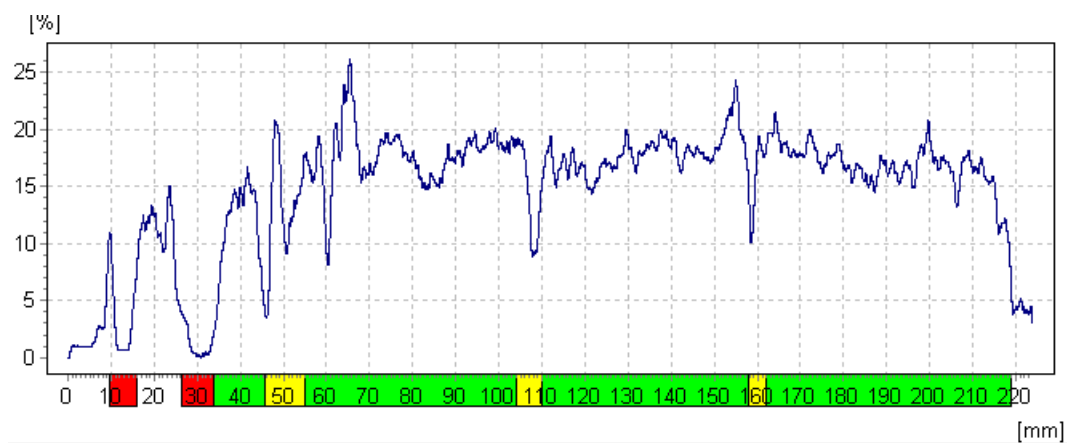


Figura 5.10 - Ensaio realizado numa viga de suporte de teto

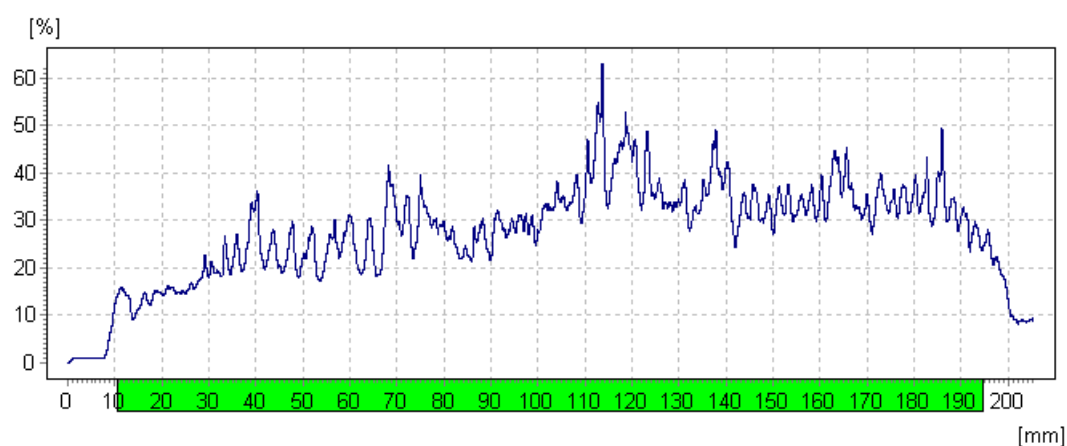


Figura 5.11 - Ensaio realizado no pendural

5.4 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA ESTRUTURAL

É evidente a necessidade de intervenção na cobertura, no entanto, foi feita uma análise de segurança à estrutura existente de forma a conseguir fundamentar as decisões tomadas aquando do projeto de execução, de modo a ser uma intervenção adequada às necessidades de segurança da cobertura e de encontro às exigências do dono de obra. Desta forma, foram considerados os elementos que apresentavam condições de ser mantidos ou reforçados, na impossibilidade da manutenção destes, consideraram-se elementos novos.

Na verificação de segurança aos ELU, para além da verificação de esforços, está incluída a análise da possibilidade de ocorrência de fenómenos de instabilidade, como encurvadura à compressão e/ou encurvadura lateral-torsional por flexão. Foram ainda verificados os estados limites de deformação dos elementos estruturais.

Foi considerada a classe de serviço 2 para todos os elementos de madeira, uma vez que estes estão num ambiente interior não protegido. As vigas de suporte de teto foram verificadas como sendo elementos da cobertura, uma vez que a única sobrecarga existente nesta são ações de manutenção.

A verificação de segurança estrutural de elementos de madeira foi feita com base na seguinte regulamentação:

- NP EN 1990 – Eurocódigo 0 – Bases para projeto de estruturas (NP EN 1990: 2009, 2009);
- NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-1: ações gerais – pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios (NP EN 1991-1-1, 2009);
- NP EN 1995 – Eurocódigo 5 – Projeto de estruturas de madeira. Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios (LNEC, 2008)

Com base nos pressupostos da regulamentação mencionada, foram consideradas as seguintes combinações de ações:

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

$$\text{Comb}_{\text{ELU}} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,j} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

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

$$\text{Comb}_{\text{ELS}}(u_{\text{inst}}) = G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- **Combinação quase-permanente, para verificação dos estados limite de utilização, no cálculo da deformação instantânea:**

$$\text{Comb}_{\text{ELS}} = G_{k,j} + \sum_{j>1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

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 acompanhantes;

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

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

ψ_0 – Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável, Tabela 5.1;

ψ_2 – Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de ações variáveis, Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Coeficientes ψ (NP EN 1990: 2009, 2009)

	ψ_0	ψ_2
Cobertura	0	0

No que diz respeito às ações consideradas, foi feita uma estimativa com base nas cargas aplicadas e pesos dos revestimentos, onde se assume uma carga variável de acordo com a regulamentação, $q_k = 0,4\text{kN/m}^2$ e uma restante carga permanente, $g_k = 0,5\text{kN/m}^2$.

Em relação à sua contabilização e aplicação, a mesma foi feita através de áreas de influência dos elementos estruturais de madeira da cobertura.

Os esforços na asna, foram obtidos a partir do cálculo automático no programa *Ftool* (Figura 5.12).

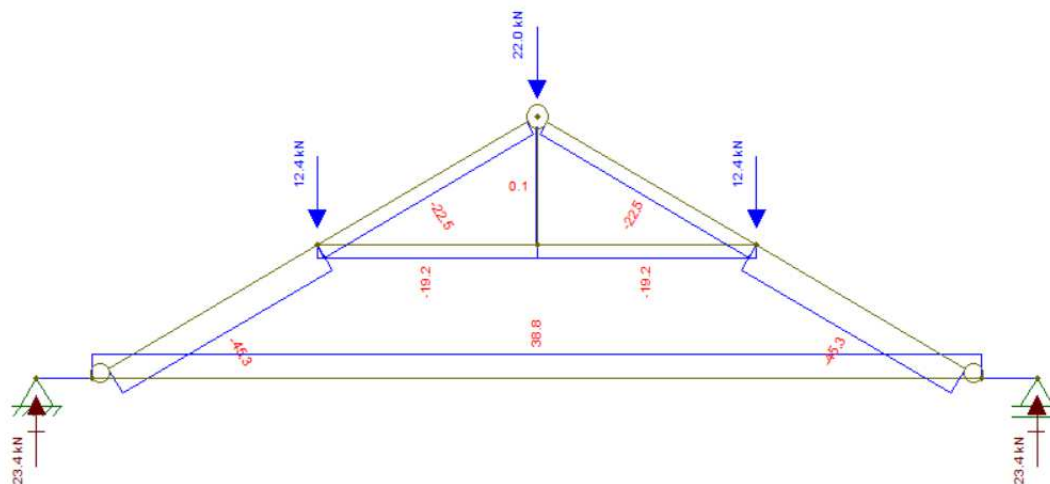


Figura 5.12 - Diagrama de momentos fletores, asna. Figura ilustrativa do modelo utilizado em *Ftool*

As tabelas seguintes (Tabela 5.2, Tabela 5.3 e Tabela 5.4) apresentam a verificação para os ELU dos elementos estruturais existentes. De notar, que se considera que as madres fornecem travamento às pernas fora do plano da asna. E que as ligações entre elementos estruturais da asna são rotuladas.

Tabela 5.2 - Verificação dos ELU para os elementos da asna

Piso	Elemento	Espessura soalho (m)	Vão (m)	Características e propriedades das Vigas																			
				Tipo de madeira	Maciça	$V_m =$	$K_{mod} =$	$f_{mk} =$	$f_{m,gd} =$	$f_{c,90d}$	$f_{t,d}$	Emissão (GPa)	E0,05 (GPa)	G médio (GPa)	$f_{g,mean}$	Classe de serviço	Duração da acção	b (mm)	h ou ϕ (mm)	Seção Transversal	k_n		
Avaliação de segurança dos elementos existentes Elementos com Esforço Axial																							
Asna	@	Linhas	0	9,05	Maciça	C18	C18	1,30	0,8	18,0	11,1	1,35	2,09	9,0	6,0	0,56	380	2	Média	110	240	Rect.	1,00
Asna	@	2ª Linha	0	3,97	Maciça	D30	D30	1,30	0,8	30,0	21,5	3,26	2,40	11,0	8,0	0,69	640	2	Média	60	70	Rect.	1,16
Asna	30@	Pernas ---	0	2,44	Maciça	D30	D30	1,30	0,8	30,0	18,5	3,26	2,40	11,0	8,0	0,69	640	2	Média	110	190	Rect.	1,00
Asna	30@	Pernas //	0	4,88	Maciça	D30	D30	1,30	0,8	30,0	18,5	3,26	2,40	11,0	8,0	0,69	640	2	Média	110	190	Rect.	1,00
Teto	@	Viga	0	9,05	Maciça	C18	C18	1,30	0,8	18,0	11,1	1,35	2,09	9,0	6,0	0,56	380	2	Média	110	200	Rect.	1,00

Piso	Elemento	Espessura soalho (m)	Vão (m)	E.L.U. Flexão Com bambamento										E.L.U. Com bambamento				E.L.U. Corte		E.L.U. Esmag. apoio						
				M_{Ed} (kNm)	$\sigma_{m,d}$	M_{Ed} (kNm)	Rácio (G+Q)	M_{Ed} (kNm)	M_{Ed} (kNm)	Rácio (G)	β	Alinhamento Tangos	Coefficiente Vão ef.	$\sigma_{m,d}$	$\lambda_{rel,m}$	K_{crit}	$\sigma_{m,Ed}$	Rácio	V_{Ed}	τ_{sd}	Rácio	$f_{t,90d}$ (mm)	$\sigma_{c,90d}$	$K_{c,90}$	Rácio	
Avaliação de segurança dos elementos existentes Elementos com Esforço Axial																										
Asna	@	Linhas	0	9,05	11,7	11,1	12	1,00	6,2	9	0,71	0,88	1	0,5	59,3	0,55	100	11,1	1,00	23	2	0,95	100	164	100	1,21
Asna	@	2ª Linha	0	3,97	0,0	0,0	1	0,00	0,0	1	0,00	0,88	1	0,5	183,7	0,40	100	215	0,00	0	0	0,00				
Asna	30@	Pernas ---	0	2,44	11	1,7	12	0,09	0,6	9	0,07	0,88	1	0,5	370,1	0,28	100	18,5	0,09	0	0	0,00				
Asna	30@	Pernas //	0	4,88	11	1,7	12	0,09	0,6	9	0,07	0,88	1	0,5	185,1	0,40	100	18,5	0,09	0	0	0,00				
Teto	@	Viga	0	9,05	22,4	30,5	8	2,76	0,6	6	0,10	0,88	1	0,5	711	0,50	100	111	2,76	6	1	0,27	100	0,39	100	0,29

Características e propriedades		ELU																				
alfa	Elemento	h/b	Vão (m)	M _{Edy} (kN m)	Rácio	l _{cr} (m)	Rácio	l _{cr} (m)	σ _{m,ent}	λ _{rel,m}	N _{Ed} (kN) (=C=-T)	l (m)	y ₁ base (O - Encastrado) 1 - livre	γ ₁ topo	σ _{m,at,z}	N _{Ed} (kN)	l _{cr,y} (m)	Rácio _y	Rácio _z	Rácio	Flexão Composta (N+T/C)	Flexão Composta (N+T/C), com
@	Linha	2,2	9,1	11,7	1,00	7,96	1,03	7,96	307,7	0,24	-38,8	9,1	1	1	-1,47	162,5	13,58	-2,95	-13,61	0,24	1,24	1,26
@	Linha Ele.	1,2	4	1,0	0,95	3,49	0,95	3,49	145,9	0,45	19,2	4,0	1	1	4,57	62,0	5,96	8,48	11,48	11,48	12,43	12,43
30@	Pernas ----	1,7	2,4	1,1	0,09	2,15	0,09	2,15	953,7	0,18	45,3	2,4	1	1	2,17	308,7	3,66	0,26	0,66	0,66	0,65	0,65
30@	Pernas //	1,7	4,9	1,1	0,09	4,29	0,09	4,29	476,9	0,25	45,3	4,9	1	1	2,17	308,7	7,32	0,87	2,49	2,49	2,58	2,58

No que diz respeito aos elementos da asna, estes falham a verificação aos ELU, nomeadamente a fenómenos de instabilidade, como a encurvadura, provocados por compressão e flexão dos elementos. As vigas de suporte de teto falham também a verificação ao ELU de flexão.

Tabela 5.3 - Verificação dos rincões

Piso	Elemento	Espaçamento vigas		Características e propriedades das vigas				E.L.U. Flexão (sem bambeamento)				E.L.U. Com bambeamento		E.L.S. - Deformação											
		Vão (m)	Maciça	Duração da acção	b (mm)	h ou e (mm)	Secção Transversal	M _{Ed} (kNm), s + o	Rácio (G+Q)	M _{Ed} (kNm), s	Rácio (G)	m	σ _{m,Ed,y}	Rácio	lim.G (mm)	lim.Q (mm)	lim.Total (mm)	1º Critério U _{instE/300}	lim.G (mm)	lim.Q (mm)	lim.Total (mm)	2º Critério U _{instE/200}			
Avaliação de segurança dos elementos existentes																									
Elementos com Esforço Axial																									
Rincão (existente)	30@	(madrevigas distribuídas)	6	1	Maciça	C24	Média	90	170	Rect.	11,1	1,57	5	1,69	0,88	16,2	1,57	52,7	20,2	72,9	19,8	84,3	22,6	107,0	29,7

Na verificação dos rincões, teve-se em conta que estes recebem a carga pontual das madres e a carga distribuída das varas da cobertura. Como a mostra a Tabela 5.3, estes não verificam os ELU, nem os ELD, com deformações na ordem dos 10 cm, como foi possível comprovar na inspeção.

Tabela 5.4 - Verificação das madres

Elemento	Características geométricas			Carga mento	Características material	Flexão simples		Bambeamento		Corte		Compressão ⊥ fibras												
	b (m)	h (m)	h/b			Vão (m)	L influencia (m)	l _{cr} (m)	I _{cr} (m ⁴)	Rácio	l _{cr} (m)	I _{cr} (m ⁴)	Rácio	σ _{comp} (Mpa)	Rácio									
Cobertura	Madre	G+Q	0,10	0,20	2,0	3,8	2,34	Maciça	D30	8,54	12,81	0,69	OK	0,58	1	0,69	OK	8,99	0,67	0,28	OK	0,90	0,28	OK

Elemento	Características geométricas				Carr ega ment o	Flexão desviada						E.L.S. - Deformação ZZ (Ped.zz para ly)				E.L.S. - Deformação YY (Ped.yy para lz)										
	b (m)	h (m)	ly/b	Vão (m)		L influencia (m)	f _{m,yd} (MPa)	f _{m,zd} (MPa)	alfa (graus)	M _{y,ed} (kN.m)	M _{z,ed} (kN.m)	Rácio	Rácio	u _{inst,total} (mm)	1º Critério u _{instE} /300	u _{inst,total} (mm)	2º Critério u _{instE} /250	K _{def,Q e VV}	u _{inst,total} (mm)	1º Critério u _{instE} /300	u _{inst,Q} (mm)	u _{inst,total} (mm)	2º Critério u _{instE} /250			
Cobertura Madre G+Q	0,10	0,20	2,0	3,8	2,34	18,46	20,02	30,0	7,40	4,27	1,05	1,06	11,37	12,67	OK	16,69	15,20	KO	OK	7,00	0,20	25,45	KO	29,52	7,84	37,36

As madres, à semelhança dos demais elementos estruturais, não verificam os ELU, nem os ELD, com deformações ligeiramente acima das deformações limite. As madres, são ainda caracterizadas por estarem sujeitas a flexão desviada, uma vez que se encontram rodadas face na cobertura e neste caso, não verificam também em ELU.

5.5 PROJETO DE EXECUÇÃO

5.5.1 Medidas de intervenção

As verificações de segurança efetuadas permitiram concluir e corroborar o que previamente tinha sido analisado na campanha de inspeção. Foi necessário intervir, de uma forma geral, um pouco por toda a cobertura. Esta secção, apresenta as medidas para colmatar os danos e anomalias na cobertura.

Foram adotadas abordagens que priorizam a preservação da identidade do edifício através da utilização de materiais e técnicas tradicionais sempre que possível. Desta forma, as soluções foram desenvolvidas com o intuito de minimizar o nível de intrusividade da intervenção.

O primeiro passo, consistiu no reforço das vigas de suporte de teto, com vigas novas de madeira posicionadas ao lado das existentes e com dimensões a determinar.

O segundo passo, passou por reforçar a asna e os elementos estruturais desta, reforçar a linha com uma peça ao lado “cosendo-a” com parafusos, eliminar as fendas de secagem existentes numa das pernas e no pendural, através de parafusos VGZ e reforçar as pernas com peças novas de modo a verificarem os ELU e os ELD, acrescentar escoras à asna, travando assim as pernas no plano da asna e de certa forma redistribuindo os esforços na asna de forma mais eficiente, uma vez que os vãos da mesma são grandes.

Para corrigir as anomalias detetadas nos rincões, estudou-se a possibilidade de implementar asnas simples que dessem apoio a meio vão a estes. A solução final apresenta umas asnas que apoiam nas paredes de alvenaria perpendicularmente aos rincões, criam um apoio quase a meio vão para estes e por consequência reduzem os esforços atuantes máximos através da redução significativa de vão.

À semelhança dos rincões, as deformações na água da fachada menor foram corrigidas através de uma solução que teve por base os mesmos princípios, reduzir significativamente o vão da madre que dá apoio

às varas da água e assim reduzir os esforços e as deformações nesta. A solução final engloba a execução de uma meia asna capaz de vencer o vão existente da parede de alvenaria à asna principal. A meia asna está assim apoiada na parede de alvenaria e na asna principal.

Para garantir a verificação aos ELU e aos ELD, as madres foram reforçadas com peças de madeira novas posicionadas ao lado destas.

De forma a melhorar o comportamento global da cobertura todas as ligações foram reforçadas, especialmente as ligações da asna através de uma ligação de aço-madeira com chapas metálicas em ambas as faces e varões roscados e aparafusados. Ainda que nem todas as ligações careçam de chapas metálicas todas foram aparafusadas.

De modo a garantir a correta ligação entre peças de madeira existentes e peças de madeira novas, os elementos estruturais foram cosidos com parafusos em ambas as faces, Figura 5.13.

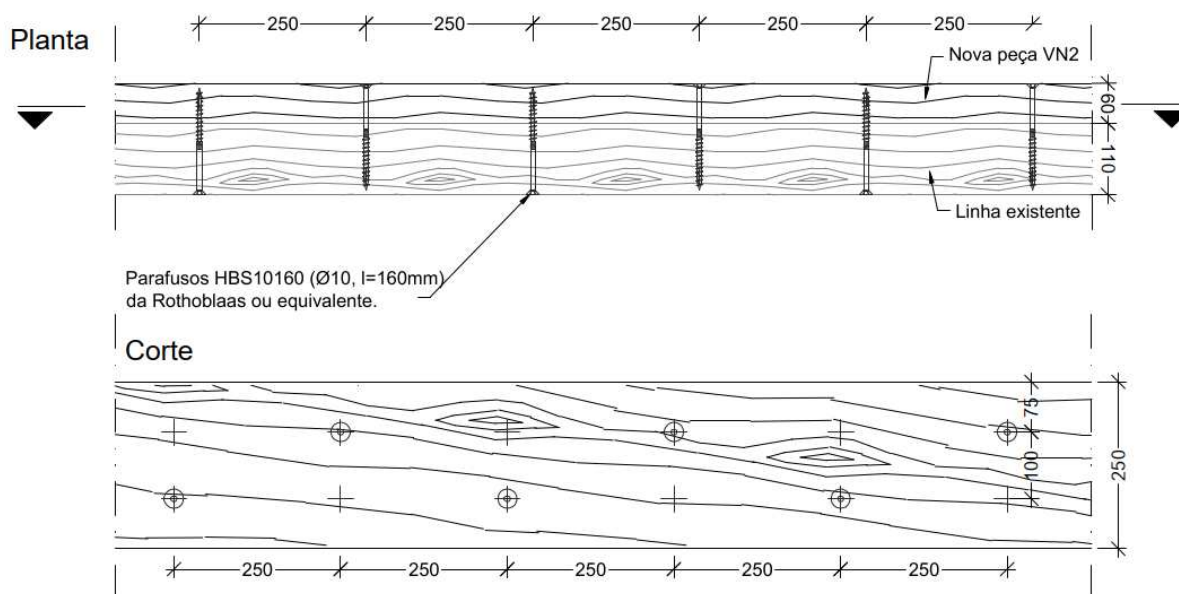


Figura 5.13 – Pormenor de ligação entre a linha da asna existente e uma peça de madeira nova

De modo a melhorar o estado de conservação local e global da cobertura foram ainda substituídos todos os elementos estruturais de madeira, que devido ao mau estado de conservação, não podiam ser mantidos e/ou recuperados. Na substituição destes elementos merecem particular destaque as varas da cobertura e os frechais que à data da inspeção encontravam-se em estado avançado de degradação por infiltrações de água através do telhado.

Uma medida transversal a todos os elementos de madeira é a limpeza e tratamento contra possíveis ataques de agentes bióticos, todos os elementos que serão mantidos e todos os elementos novos. Para garantir e promover a durabilidade da estrutura, executar e aplicar uma solução de impermeabilização de forma a extinguir as infiltrações de água existentes.

5.5.2 Dimensionamento dos elementos estruturais em madeira

Esta secção apresenta os trabalhos realizados no âmbito da realização do projeto de execução de estabilidade da intervenção na cobertura, tendo por base a memória descritiva e condições técnicas do presente caso de estudo (NCREP, 2023).

À semelhança das verificações de segurança, o dimensionamento da solução teve em conta os ELU, nomeadamente a flexão simples, a flexão desviada nos elementos rodados da cobertura, fenómenos de instabilidade por encurvadura lateral-torsional (bambeamento), o corte e a compressão perpendicular ao fio. Em relação aos ELD, foram verificadas as deformações dos elementos estruturais. Os cálculos de dimensionamento são apresentados na Tabela 5.5 para as vigas de suporte de teto e para a Tabela 5.6 para o dimensionamento das asnas.

Refere-se que foram consideradas as mesmas condições para a classe de serviço, características de ligações e classes de resistência dos elementos estruturais em madeira. No entanto, é exceção a classe de duração das ações, para efeitos de dimensionamento estrutural, admitiu-se duração “curta duração”.

Para a obtenção de esforços, recorreram-se a programas de cálculo automático, sendo que a obtenção de cargas atuantes foi feita da mesma que as verificações de segurança realizadas na secção anterior, através de áreas de influência.

Tabela 5.5 - Dimensionamento da nova viga de suporte de teto

Piso		Elemento	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)	Espacamento vigas (m)	Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	b (mm)	h ou ø (mm)	Seccção Transversal	$M_{sd} (kNm); G+Q$	$\sigma_{m,sd}$	$M'_{Ed} (kNm); G+Q$	Rácio (G+Q)	$M_{Ed} (kNm); G$	$M'_{Ed} (kNm); G$	Rácio (G)	m	Alinhamento Tarugos	$\sigma_{m,Ray}$	Rácio	V_{sd}	Rácio	$f_{apex} (mm)$	$\sigma_{c,90,d}$	Rácio
Teto	Suporte Teto	Viga	9	2	Maciça	c24	2	Curta	170	260	Rect.	22,4	11,7	32	0,70	10,7	21	0,50	0,88	1	16,6	0,70	5	0,09	100	0,21	0,12

Piso		Elemento	E.L.S. - Deformação									
			Vão (m)	Espacamento vigas (m)	$u_{res,G} (mm)$	$u_{res,Q} (mm)$	$u_{res,total} (mm)$	1º Critério $u_{ins:EI}/300$	$u_{in,G} (mm)$	$u_{in,Q} (mm)$	$u_{in,total} (mm)$	2º Critério $u_{fin:EI}/200$
Teto	Suporte Teto	Viga	9	2	24,7	0,0	24,7	30,0	44,5	0,0	44,5	45,0

No dimensionamento da nova viga de suporte de teto, teve-se em conta as dimensões totais da peça nova e a penalização da perda de secção da peça existente.

Desta forma, todas as vigas de suporte serão reforçadas com uma peça nova ao lado com dimensões (0,12x0,26) m².

Tabela 5.6 - Dimensionamento das asnas

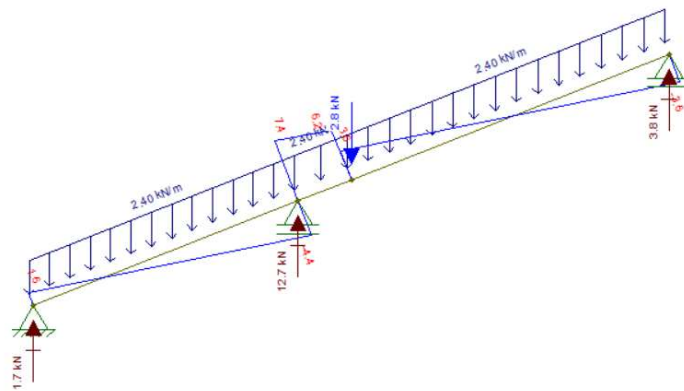
Piso		Elemento		Vão (m)		Espaçamento vigas (m)		Características e propriedades das vigas										E.L.U. Flexão (sem bambeamento)				E.L.U. Com bambeamento				E.L.U. Corte		E.L.U. Esmag. apoio	
								Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	b (mm)	h ou e (mm)	Secção Transversal	M _{red} (kNm), G+Q	G _{m,3d}	M _{red} (kNm), G+Q	Rácio (G+Q)	M _{red} (kNm), G	M _{red} (kNm), G	Rácio (G)	M	Alinhamento Tarugos	G _{m,Rdy}	Rácio	V _{3d}	Rácio	I _{apoi} (mm)	σ _{c,90d}
Elementos com Esforço Axial																													
Asna A1	2	Linha	9,05	0	Maciça	c24	2	Curta	170	250	Rect.	11,7	6,6	29	0,40	0,0	20	0,00	0,88	1	16,6	0,40	23	0,44	100	1,04	0,60		
Asna A1	2	2ª Linha	3,97	0	Maciça	D30	2	Curta	60	70	Rect.	1,0	20,4	1	0,84	0,0	1	0,00	0,88	1	24,2	0,84	1	0,20	100	0,13	0,03		
Asna A1	30	Perna I	2,44	0	Maciça	D30	2	Curta	170	200	Rect.	1,0	0,9	24	0,04	0,0	16	0,00	0,88	1	20,8	0,04	1	0,02	100	0,05	0,01		
Asna A1	30	Perna II	4,88	0	Maciça	D30	2	Curta	170	200	Rect.	1,0	0,9	24	0,04	0,0	16	0,00	0,88	1	20,8	0,04	1	0,02	100	0,05	0,01		
Asna A1	30	Escoras	2,15	0	Maciça	D30	2	Curta	100	200	Rect.	1,0	15	14	0,07	0,0	9	0,00	0,88	1	20,8	0,07	1	0,04	100	0,08	0,02		
Asna A2	22	Pernas	2,52	0	Maciça	C18	2	Curta	100	100	Rect.	1,0	6,0	2	0,44	0,0	2	0,00	0,88	1	13,5	0,44	1	0,10	100	0,08	0,05		
Asna A2	2	Linha	5	0	Maciça	C18	2	Curta	100	100	Rect.	1,0	6,0	2	0,44	0,0	2	0,00	0,88	1	13,5	0,44	1	0,10	100	0,08	0,05		
1/2 Asna	30	Pernas	4,93	0	Maciça	C18	2	Curta	100	100	Rect.	1,0	6,0	2	0,44	0,0	2	0,00	0,88	1	13,5	0,44	1	0,10	100	0,08	0,05		
1/2 Asna	2	Linha	4,33	0	Maciça	C18	2	Curta	100	100	Rect.	1,0	6,0	2	0,44	0,0	2	0,00	0,88	1	13,5	0,44	1	0,10	100	0,08	0,05		
1/2 Asna	30	Escora	2,23	0	Maciça	C18	2	Curta	100	100	Rect.	1,0	6,0	2	0,44	0,0	2	0,00	0,88	1	13,5	0,44	1	0,10	100	0,08	0,05		

alfa Elemento		Características e propriedades das vigas										E.L.U.																							
		Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	b ou e (mm)	h (mm)	Vão (m)	M _{red} (kN m)	M _{red} (kN m)	Rácio	I _{red}	Rácio	M _{red} (kN m)	I _{red}	σ _{red}	σ _{red}	N _{red} (kN) (σ=C ₁ =T)	I (m)	Y _{base} (O - Encastrado I - livre)	Y _{topo}	Z _{base}	Z _{topo}	N _{red} (kN)	k _y (N)	k _z (N)	Rácio	Flexão Composta (N+T/C)	Flexão Composta (N+T/C) com bambeamento						
Elementos com Esforço Axial																																			
Asna A1	2	Linha	Maciça	C18	2	Curta	170	250	9,1	11,7	22,1	0,53	7,96	0,53	0,00	7,96	216,0	0,29	-39,3	9,1	1	1	1	1	294,2	15,58	15,58	0,15	0,68	0,68					
Asna A1	30	Perna I	Maciça	D30	2	Curta	170	200	2,4	1,0	25,5	0,04	2,15	0,04	0,00	2,15	683,8	0,21	45,7	2,4	1	1	1	1	564,9	3,66	3,66	0,17	0,21	0,21					
Asna A1	30	Perna II	Maciça	D30	2	Curta	170	200	4,9	1,0	25,5	0,04	4,29	0,04	0,00	4,29	341,9	0,30	45,7	4,9	1	1	1	1	564,9	7,32	7,32	0,59	0,63	0,63					
Asna A1	30	Escoras	Maciça	C18	2	Curta	100	200	2,2	1,0	8,3	0,12	1,89	0,12	0,00	1,89	989,4	0,13	8,5	2,2	1	1	1	1	249,2	3,23	3,23	0,14	0,26	0,26					
Asna A2	22	Pernas	Maciça	C18	2	Curta	100	100	2	1,0	2,3	0,44	1,76	0,44	0,00	1,76	265,9	0,26	17,0	2,0	1	1	1	1	124,6	3,00	3,00	0,50	0,95	0,95					
Asna A2	2	Linha	Maciça	C18	2	Curta	100	100	5	1,0	2,3	0,44	4,40	0,44	0,00	4,40	106,4	0,41	-15,8	5,0	1	1	1	1	75,1	7,50	7,50	0,21	0,65	0,65					
1/2 Asna	30	Pernas	Maciça	C18	2	Curta	100	100	4,9	1,0	2,3	0,44	4,34	0,44	0,00	4,34	107,9	0,41	5,5	4,9	0	0	0	0	124,6	3,45	3,45	0,21	0,68	0,68					
1/2 Asna	2	Linha	Maciça	C18	2	Curta	100	100	4,3	1,0	2,3	0,44	3,81	0,44	0,00	3,81	122,8	0,38	-5,5	4,3	1	1	1	1	75,1	6,50	6,50	0,07	0,52	0,52					
1/2 Asna	30	Escora	Maciça	C18	2	Curta	100	100	2,2	1,0	2,3	0,44	1,96	0,44	0,00	1,96	238,5	0,27	5,8	2,2	1	1	1	1	124,6	3,35	3,35	0,21	0,65	0,65					

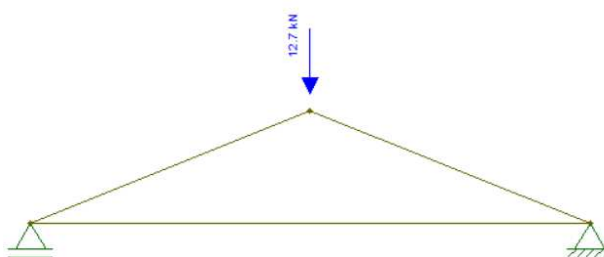
- Asna A1 – Asna principal
- Asna A2 – Asna de suporte ao rincão
- ½ Asna – Asna de suporte à madre do lado da fachada de menor comprimento

Para a obtenção de esforços para a asna de suporte ao rincão, foi necessário calcular as cargas atuantes aplicadas ao rincão, nomeadamente, o peso dos revestimentos, varas e telhas e a carga pontual que a madre descarrega sensivelmente a meio deste (Figura 5.14 - a)). Por questões construtivas, a nova asna (Figura 5.14 b)) apoiará o rincão ligeiramente antes do meio vão deste. Depois, foram calculados os esforços na asna nova e dimensionados de acordo com o que está apresentado nas tabelas anteriores.

Como resultado a cobertura passará a ter três tipos de asnas na cobertura (Figura 5.15).

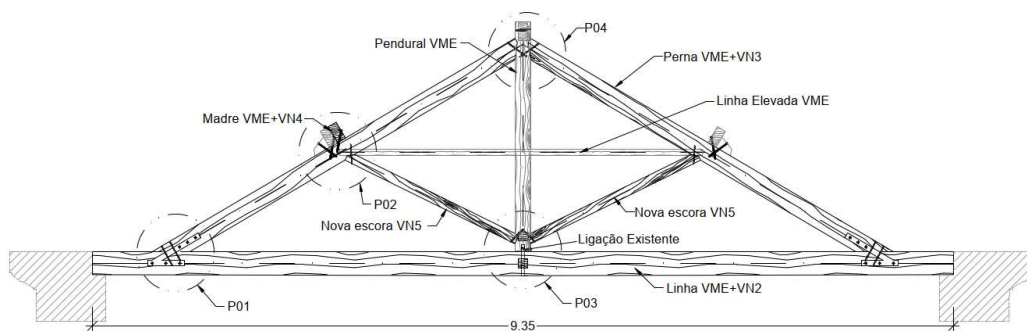


a) Contabilização de cargas no rincão

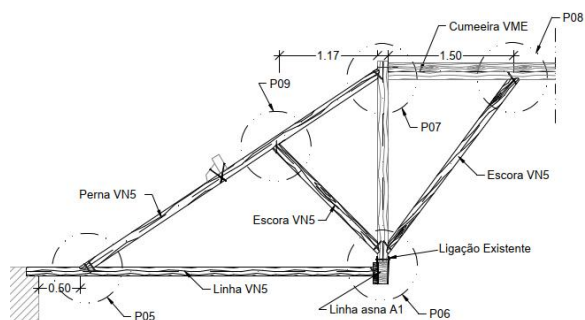


b) Aplicação da reação do rincão à asna

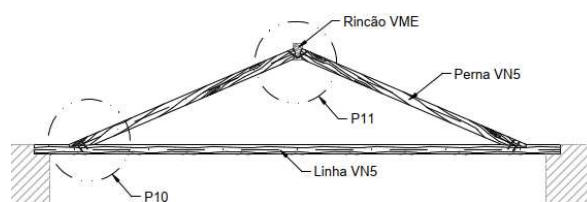
Figura 5.14 – Figuras ilustrativas das considerações feitas para o dimensionamento da asna A2



a) Alçado da asna A1



b) Alçado da 1/2 asna



c) Alçado da asna A2

Figura 5.15 - Alçados das asnas da cobertura

5.5.3 Dimensionamento das ligações

O cálculo de ligações entre elementos estruturais de madeira foi concebido com base na análise em estado limite último, visando atender às exigências de resistência e às condições construtivas de forma eficiente.

O dimensionamento e a verificação de segurança das ligações foi realizado em conformidade com as diretrizes estabelecidas no Eurocódigo 5, considerando os diferentes modos de rotura, tais como esmagamento da madeira, rotura em bloco e flexão do parafuso (LNEC, 2008).

No dimensionamento das ligações, o Eurocódigo 5 segue a teoria de *Johansen*, que estabelece equações de equilíbrio para as ligações entre: madeira-madeira e madeira-aço, abrangendo os diversos modos de rotura.

No caso específico desta cobertura, foi utilizada a ligação do tipo madeira-aço, corte duplo. Para este tipo de ligação, a teoria de *Johansen* distingue entre chapas finas e chapas espessas, através das seguintes expressões:

Chapa fina – $0,5 d \leq t$

Chapa espessa – $t > d$

Onde:

d – Diâmetro do furo na chapa para colocação do varão;

t – Espessura da chapa.

No caso em estudo, os modos de rotura foram sistematicamente os modos de rotura relacionados a ligações com chapas finas, em específico, os modos de rotura (j)/(l) e (k) (Figura 5.16), mencionados no Eurocódigo 5. Estes modos de rotura correspondem, ao esmagamento da madeira e à formação de rótulas plásticas no ligador, respetivamente. A seguir, são apresentados os procedimentos de cálculo para o dimensionamento das ligações dos casos de estudo, levando em consideração os modos de rotura anteriormente mencionados.

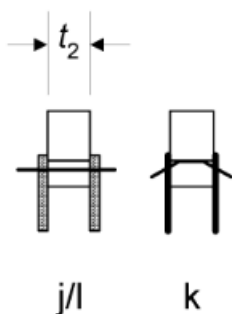


Figura 5.16 - Modos de rotura considerados, (LNEC, 2008)

Para chapas de aço finas constituindo os elementos exteriores de uma ligação em corte duplo, temos que, a resistência de um ligador por plano de corte é dada pelas seguintes expressões:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (j) \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (k) \end{array} \right. \quad (5.1)$$

Em que:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \text{ para } \alpha \neq 0 \quad (5.2)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \text{ (MPa)}, d \text{ em mm e } \rho_k \text{ em kg/m}^3 \quad (5.3)$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{para resinosas} \\ 0,90 + 0,015d & \text{para folhosas} \end{cases}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \text{ (N mm)}; d \text{ em mm e } f_{u,k} \text{ em MPa} \quad (5.4)$$

$$F_{ax,Rk} = 3f_{c,90,k} \frac{\pi}{4} (d_{anilha}^2 - d^2) \text{ (N)}; d \text{ em mm e } f_{c,90,k} \text{ em MPa} \quad (5.5)$$

Em que:

α – Ângulo entre o esforço e o fio da madeira;

$f_{h,2,k}$ – Resistência ao esmagamento da madeira;

t_2 – Espessura do elemento de madeira;

d – Diâmetro do furo para a passagem do ligador;

$M_{y,Rk}$ – Valor característico do momento do momento plástico do ligador (N mm);

$F_{ax,Rk}$ – Resistência ao arranque axial do ligador.

No entanto, o valor de $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$ nunca poderá ser superior à multiplicação da primeira parcela da equação, no modo de rotura k, $1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,2,k} d}$, com a contribuição máxima do efeito de corda que assume os valores apresentados na Tabela 5.7 em função do tipo de ligador. No caso de estudo, as ligações foram dimensionadas com parafusos de enroscar (Figura 5.17).

Tabela 5.7 - Contribuição máxima do efeito de corda, (LNEC, 2008)

Pregos redondos lisos	15%
Pregos quadrados lisos	25%

Outros pregos	50%
Parafusos de enroscar	100%
Parafusos de porca	25%
Cavilhas	0%

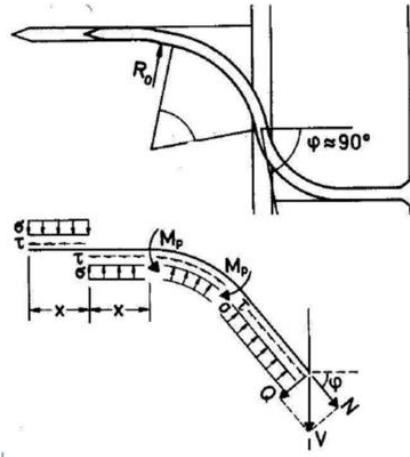


Figura 5.17 - Efeito de corda

Desta forma, o valor que $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$ deve assumir será:

$$\min \left\{ \frac{F_{ax,Rk}}{4}; \%(\text{Tabela 5.7}) * 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} \right\} \quad (5.6)$$

A resistência característica da ligação é obtida através da seguinte expressão:

$$F_{v,Rk,ligação} = F_{v,Rk} * n_{planos\ de\ corte} * n_{ef} * n_{fiadas} \quad (5.7)$$

Onde:

$$n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (5.8)$$

Em que:

n_{ef} – Número de ligadores efetivo,

n – Número de ligadores real;

n_{fiadas} – Número de fiadas na ligação;

$F_{v,Rk}$ – Resistência característica ao corte de um ligador, por plano de corte.

Por fim, a resistência de cálculo da ligação, à semelhança da expressão (3.1) para o cálculo das propriedades resistentes de cálculo da madeira, é dada por:

$$F_{v,Rd,ligação} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk,ligação}}{\gamma_M} \geq N_{Ed} \tag{5.9}$$

O dimensionamento e as verificações de segurança da ligação estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Dimensionamento e verificações de segurança, ligação perna – linha, Asna A1

Nome ligação	N _{Ed} (kN)	d (mm)	Classe Resistente Parafusos	Classe Resistente Chapa	f _{u,k} (MPa) Parafusos	f _{y,k} (MPa) Parafusos	f _u (MPa) Chapa	f _y (MPa) Chapa	Tipo de madeira	K90	f _{c,0,k} (MPa)	f _{t,0,k} (MPa)	f _{v,k} (MPa)	ρ ₂ (kg/m ³)	k _{mod}	γ _m	α (Graus)	t _z (mm)	t _{chapa} (mm)	t _{perna} (mm)		
																					Perna - Compressão - fio	Linha - Tração // fio
Perna - Compressão - fio	45,7	12	8,8	S275	800	640	430	275	Maciça	D30	folhosa	1,08	8	18,00	3	5,30	0,8	1,30	0	150	15	104
Linha - Tração // fio	39,3	12	8,8	S275	800	640	430	275	Maciça	C18	resinosa	1,53	2,2	11	2	320	0,8	1,30	0	150	15	104

Nome ligação	N _{Ed} (kN)	Tipo de dimensionamento	d anilha (mm)	N _{c,0,k} (N)	f _{b,0,k} (MPa)	f _{b,v,k} (MPa)	f _{b,z,k} (MPa)	M _{y,k} (N mm)	N _{k,ak} (N)	E _{p,ak} (N)	Efeito Corda Modo k (N)	Efeito Corda Modo m (N)	Modo j/ (N)	Modo k - Parcela Johansen (N)	Modo m - Parcela Johansen (N)	Modo k - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Modo m - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Resistência de 1 ligador em corte duplo (N)
Perna - Compressão - fio	45,7	Fina	48	40244	38,24	38,24	38,24	153491	72382	48632	3412	4826	34420	13650	19304	17062	24130	34125
Linha - Tração // fio	39,3	Fina	48	11067	23,09	23,09	23,09	153491	72382	48632	2652	2767	20782	10606	15000	13258	17766	26516

Nome ligação	N _{Ed} (kN)	Resistência ligação										Verificação à rotura em bloco					Disposições Construtivas											
		n parafusos por fiada	a ₁ (mm)	a ₂ (mm)	a ₃ (mm)	a ₄ (mm)	t _{ch}	Fiadas	F _{v,Rk,ligação} (kN)	F _{v,Rd,ligação} (kN)	Profundidade parafusos (mm)	t _{last} (mm)	Distância ao bordo c	A _{weat} (mm ²)	15 * A _{weat} * f _{t,0,k} (kN)	t _{last,v} (mm)	A _{weat,v} (mm ²)	0,7 * A _{weat} * f _{v,k} (kN)	F _{b,0,k} (kN)	Resistência rotura por bloco (kN)	Angulo forca-fio	B ₁ mm	B ₂ mm	B ₃	B ₄	B ₅		
Perna - Compressão - fio	45,7	3	100	50	50	50	2,41	1	82	151	150	0	50	0	0	220	66000	138,6	139	85	0	0	60	48	84	0	36	13
Linha - Tração // fio	39,3	3	150	50	50	50	2,66	1	71	143	150	0	50	0	0	320	96000	134,4	134	117	0	0	60	48	84	0	36	13

A Figura 5.18 representa o pormenor construtivo resultante do dimensionamento das novas ligações projetadas entre a linha e a perna da asna.

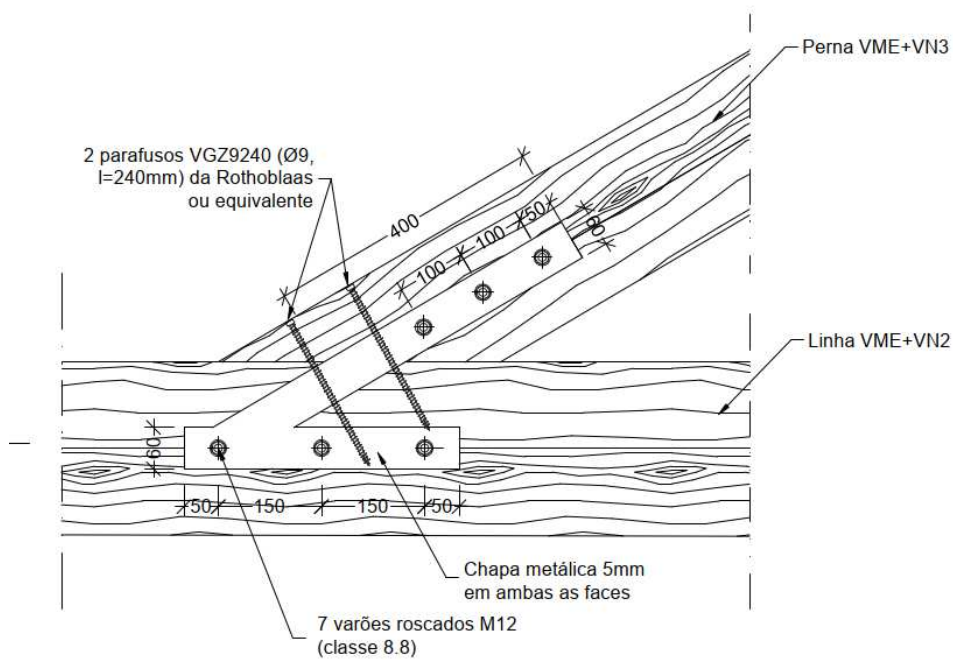


Figura 5.18 - Pormenor de ligação verificado na Tabela 5.8

No anexo III, são apresentadas as peças desenhadas do projeto de execução da cobertura, incluindo as plantas necessárias com os elementos estruturais existentes e apurados na campanha de inspeção, os reforços realizados e os pormenores construtivos desses mesmos reforços.

CAPÍTULO 6

CONSUMO DE ÁGUA NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

6.1 INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

A crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade urgente de desenvolver práticas sustentáveis em qualquer um dos setores económicos mundiais têm colocado no centro dos debates mundiais a preservação do meio ambiente, o consumo de água e a consequente procura por uma gestão dos recursos hídricos mais sustentável. As mudanças climáticas têm impactes diretos e indiretos nos ciclos hidrológicos que por consequência afetam a qualidade, disponibilidade e distribuição da água em redor de todo o mundo (Duarte, 2007).

A água doce é um recurso natural essencial à vida na terra, no entanto é amplamente relatado que as reservas mundiais de água doce estão a diminuir de forma descontrolada ao ponto de porem em risco a sobrevivência das gerações futuras (Bardhan, 2011). De acordo com *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) no comunicado “Visão 2050” é referido que até 2030 devido à degradação dos ecossistemas provocados pela escassez da água, mais de 500 milhões de pessoas nos países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) irão enfrentar condições de stress hídrico. Isto é, a procura por água excederá a disponibilidade da mesma, o que leva assim à escassez da água e à dificuldade de as pessoas terem acesso a água “limpa” suficiente para atender às necessidades básicas (World Business Council for Sustainable Development, 2021). Este comunicado do WBCSD destaca ainda a importância de adotar medidas de gestão sustentável dos recursos hídricos, de modo a promover a eficiência no uso da água, de procurar soluções inovadoras e garantias de que são tomadas e cumpridas medidas para uma abordagem integrada de modo a enfrentar os desafios relacionados com a escassez desta, não só nos países do BRIC, mas em todo mundo.

Do ponto de vista do desenvolvimento urbano, o setor da construção é conhecido por ser um grande consumidor de recursos naturais, energia e é uma das principais fontes emissoras de poluentes ambientais, o que agrava os impactes provocados pelo setor. Estima-se que, em 2017 o setor da construção seja responsável por emitir 39% dos gases de efeito de estufa (GEE) em todo o mundo (Rivero-Camacho, Martín-del-Río e Marrero-Meléndez, 2023), e responsável por 36% do consumo mundial total de energia no ano de 2018 (Marcella Ruschi *et al.* 2020).

Ao longo dos anos existe a tendência para o consumo de energia dos edifícios estar entre os 30% a 40% do consumo mundial de energia (Marcella Ruschi *et al.* 2020), no entanto, se nos focarmos no consumo de água, estes apontam para que só na Europa cerca de 40% da água consumida seja para uso industrial com foco na indústria da construção (Wärmark, 2015).

A 15 de Novembro de 2022, a população mundial atingiu os 8 bilhões, este aumento gradual de população tem se tornado uma preocupação, uma vez que este leva à necessidade de desenvolvimento dos centros urbanos, procura e produção de comida e produção de energia suficiente para todos. O aumento gradual da população leva também a um aumento gradual da pressão sobre os recursos hídricos. Por isto, o desenvolvimento das atividades económicas e a grande concentração de pessoas nos centros urbanos têm reforçado a ligação entre as cidades, saúde e ambiente (Hosseinian e Ghahari, 2021). Sendo as cidades responsáveis por 67% a 76% (Ahmad e Puppim De Oliveira, 2015; Ardente *et al.* 2011; Bai *et al.* 2012) do consumo total de energia, existe a preocupação de encontrar soluções sustentáveis no desenvolvimento e construção destas.

A crescente necessidade de avaliar e quantificar o impacte do setor da construção no consumo de água levou a comunidade científica a desenvolver algumas abordagens e métodos para essa mesma contabilização.

À medida que os estudos avançaram, surgiram conceitos como “consumo de água virtual”, (Allan, 1993). Este conceito serve para referir a quantidade de água utilizada durante todo o ciclo de vida de um produto ou processo, desde a extração de matéria-prima, à fabricação, transporte e fim do ciclo de vida. No entanto, uma dificuldade comum encontrada em vários estudos é a falta de abordagens e métodos consistentes para avaliar e quantificar o consumo e a pegada hídrica, isto envolve a falta de diretrizes e consistência na identificação das variáveis e parâmetros que devem ser tidos em conta nos estudos, (Bardhan, 2011; Heravi e Abdolvand, 2019; Hosseinian e Nezamoleslami, 2016; Nallaperuma *et al.*, 2023; Rivero-Camacho, Martín-del-Río e Marrero-Meléndez, 2023).

6.2 ESTADO DE ARTE

6.2.1 LCA da pegada hídrica da reabilitação de edifícios

Num artigo publicado por Sharma *et al.* (2011) os autores definem a análise LCA, como uma ferramenta de análise que é usada para avaliar e quantificar potenciais riscos ambientais e ainda perceber o consumo de recursos associados a um produto, processo ou atividade durante o período de tempo adequado.

A Organização Internacional de Normalização (ISO – *International Organization for Standardization*) define a metodologia na norma ISO 14040-14044, esta metodologia é amplamente aceite por investigadores e profissionais e utilizada no mundo da investigação científica (Wärmark, 2015).

De acordo com as regras preconizadas pelas duas normas principais, 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, a análise do ciclo de vida deve ser dividida em 4 fases:

- i. Definição de objetivos e finalidade;
- ii. Elaboração do inventário ciclo de vida (LCI);
- iii. Avaliação do impacto ciclo de vida;
- iv. Interpretação de resultados.

Em suma, na primeira etapa de um estudo de LCA é necessário estabelecer os objetivos do estudo, definir os casos de estudo para análise, estabelecer as fronteiras do estudo, determinar as unidades funcionais do sistema e o método de avaliação de impactos a utilizar. Numa segunda fase, o inventário do ciclo de vida (LCI – *Life cycle inventory*) é realizado através da identificação de todos os *inputs* e *outputs*, e respetivas quantidades, que compõem cada fase do ciclo de vida do produto ou processo em análise (Figura 6.1). Por último, é realizada a avaliação dos impactos ambientais de onde resulta a quantificação das emissões dos diferentes poluentes associados ao caso de estudo, posto isto resta uma correta leitura dos resultados, (Bragança e Mateus, 2012).

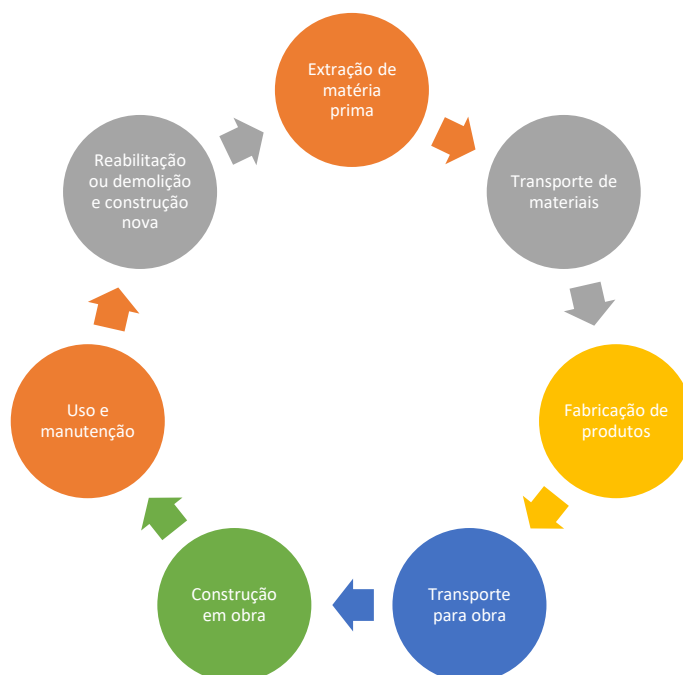


Figura 6.1 - Ciclo de vida de um edifício, adaptado de (Wärmark, 2015)

Existem várias abordagens na análise LCA que realçam diferentes fases do ciclo de vida e estabelecem limites nos *inputs* e *outputs* que devem ser considerados. Por outras palavras, após a definição do objetivo e produto a ser estudado, é feita a definição da fase do ciclo de vida desse produto que será objeto de estudo. Isto significa que a análise pode ser concentrada em uma ou mais etapas específicas do ciclo de vida, ao invés de abranger todas as etapas. Esta abordagem permite focar nos aspetos mais relevantes e identificar os principais impactes ambientais relacionados com uma fase específica do objeto de estudo (Figura 6.2).

- *Cradle to gate*: Abordagem que analisa o ciclo de vida de um produto desde a extração dos recursos naturais e a sua consequente criação/produção até ao seu ponto de “entrega”, excluindo assim o uso e a disposição final. Desta forma, o foco está nas etapas de produção e fabricação do produto.
- *Cradle to grave*: Abordagem que analisa o ciclo de vida de um produto desde a extração dos recursos naturais e a sua consequente criação/produção até à sua fase fim de vida. Isto permite uma análise mais abrangente dos impactes ambientais ao longo do tempo e ajuda a identificar oportunidades de melhorias em todas as fases do ciclo de vida.
- *Cradle to cradle*: Esta abordagem vai além do fim de vida do produto, dando ênfase à criação de novos produtos a partir da reciclagem do anterior, evita assim o conceito de lixo ou resíduo. Incentiva à reutilização e reaproveitamento de produtos ou reciclagem dos mesmos, o objetivo é projetar novos produtos de forma que os materiais utilizados possam de forma contínua ser circulados e reduzindo a dependência de matéria-prima e a criação de resíduos.

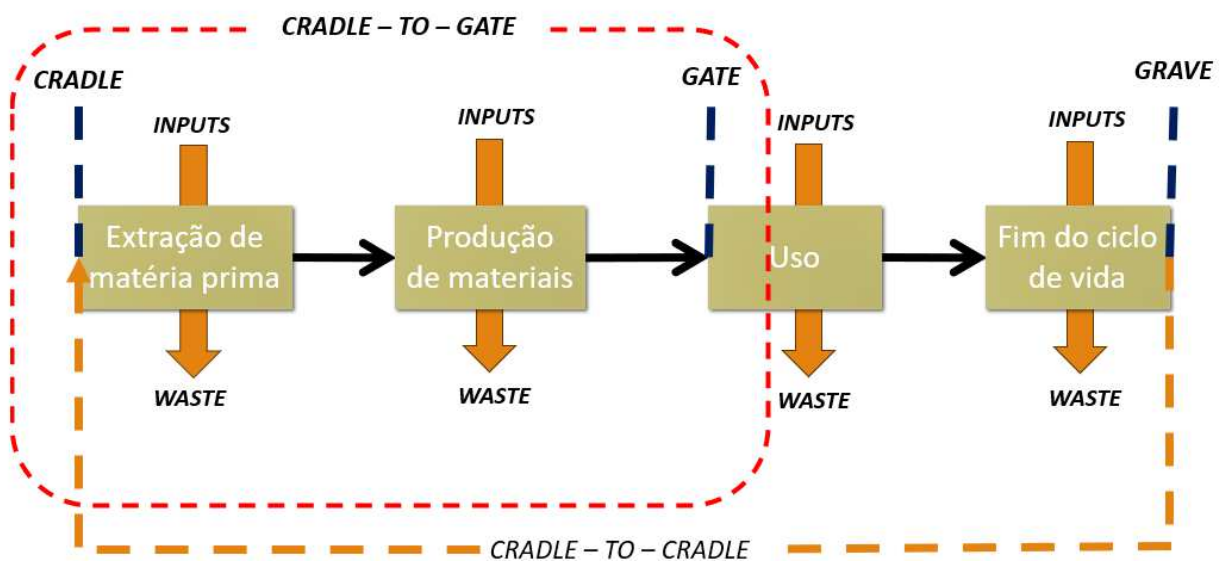


Figura 6.2 - Representação esquemática das diferentes análises das fases do ciclo de vida de uma análise LCA, adaptado de (Bragança e Mateus, 2012)

Estas três abordagens são as mais citadas e utilizadas quando o objetivo é avaliar os impactos ambientais de um empreendimento de construção civil, no entanto, existem poucos estudos e são muito poucos os autores que fazem a adaptação da análise LCA para o consumo de água (Anand e Amor, 2017; Bardhan, 2011; Buyle, Braet e Audenaert, 2013; Delnavaz *et al.*, 2022; Hosseinian e Nezamoleslami, 2016; Nallaperuma *et al.*, 2023; Sharma *et al.*, 2011).

A NP EN 15804:2012 explica e demonstra também os procedimentos orientados para o desenvolvimento de uma DAP – Declaração Ambiental de Produto. Para tal é necessário definir as etapas do ciclo de vida do produto, sendo obrigatório nos três tipos de DAP as etapas do ciclo de vida: *CRADLE TO GATE* que abrangem a extração de matérias-primas, o transporte para a produção e a produção. A Tabela 6.1 apresenta os módulos associados e quais os Estágios do Ciclo de Vida obrigatórios e opcionais na avaliação no tipo de DAP.

Tabela 6.1 - Módulos e estágios do ciclo de vida e elementos obrigatórios e opcionais (NP EN 15804:2012) (Adaptado de: Pereira Neiva (2017))

Módulo	Estágios do Ciclo de Vida	Tipo de DAP		
		Do berço ao portão ¹	Do berço ao portão, com opções ^{2,4}	Do berço ao túmulo ^{3,4}
A1-A3 - Etapa de Produto	A1 - Extração e processamento de matérias-primas	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
	A2 - Transporte para o fabricante	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
	A3 - Produção de produtos	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
A4-A5 - Etapa de Construção	A4 - Transporte para a obra	-	Opcional	Obrigatório
	A5 - Processo de Construção e Instalação	-	Opcional	Obrigatório
B - Etapa de Utilização	B1 - Utilização do produto, serviço ou equipamento	-	Opcional	Obrigatório
	B2 - Manutenção	-	Opcional	Obrigatório
	B3 - Reparação	-	Opcional	Obrigatório
	B4 - Substituição	-	Opcional	Obrigatório
	B5 - Reabilitação	-	Opcional	Obrigatório
	B6 - Consumo de energia em fase de operação	-	Opcional	Obrigatório
	B7 - Uso de água em fase de operação	-	Opcional	Obrigatório
C - Etapa de Fim de Vida	C1 - Demolição do produto ou da construção	-	Opcional	Obrigatório
	C2 - Transporte dos resíduos	-	Opcional	Obrigatório
	C3 - Tratamento de resíduos para reutilização, recuperação ou reciclagem	-	Opcional	Obrigatório
	C4 - Eliminação dos resíduos	-	Opcional	Obrigatório
D - Benefícios e Cargas ambientais para além da Fronteira do Sistema	D - Potencial de reutilização, valorização e reciclagem	-	Opcional	Obrigatório

Neste estudo em particular, considerou-se uma abordagem *CRADLE TO GATE*, à semelhança do já adotado nos estudos da empresa. Ou seja, referimo-nos a estágios do ciclo de vida do A1 até ao A4. E posteriormente contabilizamos também uma Etapa C, associada ao fim do ciclo de vida.

6.2.2 Conceito de água virtual e pegada hídrica

O conceito de “água virtual” ou *virtual water*, foi pela primeira vez inserido por Allan (1993) na comunidade científica, em que este traduzia o conceito para a quantidade de água direta e indireta necessária para a agricultura para um produto específico. Está fortemente relacionado com o conceito posteriormente introduzido por Mekonnen e Hoekstra (2011) de *water footprint (WF)*, em português pegada hídrica, em que foi definido como a água usada no processo de conceção de um produto ou serviço. Desta forma, começaram a surgir alguns estudos associados a diversos setores sobre as diferentes pegadas hídricas e consumo de água virtual, como por exemplo, a produção de chá (Aleksandrowicz *et al.*, 2017), tratamento de águas residuais (Risch *et al.*, 2014) e produção de energia hidroelétrica (Ansorge, 2021). No entanto, o consumo de água virtual associado ao setor da construção foi ainda pouco explorado (Heravi e Abdolvand, 2019), uma vez que são necessárias implementar práticas e sensibilizar as pessoas envolvidas num determinado empreendimento para a contabilização do consumo de água em obra.

Neste contexto, a água consumida ao longo de todas as fases de um empreendimento pode ser categorizada em dois grupos principais (Figura 6.3), (Heravi e Abdolvand, 2019): (i) Consumo de água direto: inclui todo o consumo de água direto necessário para realizar operações de construção e atividades na obra; (ii) Consumo de água indireto: inclui todo o consumo de água associado à produção do material que chega à obra e a toda a sua cadeia de produção e a todos os componentes e operações na obra (inclui também serviços, ex. transporte). Somados estes dois conceitos associados a um produto resulta a pegada hídrica (*water footprint, WF*) desse mesmo produto e/ou serviço.

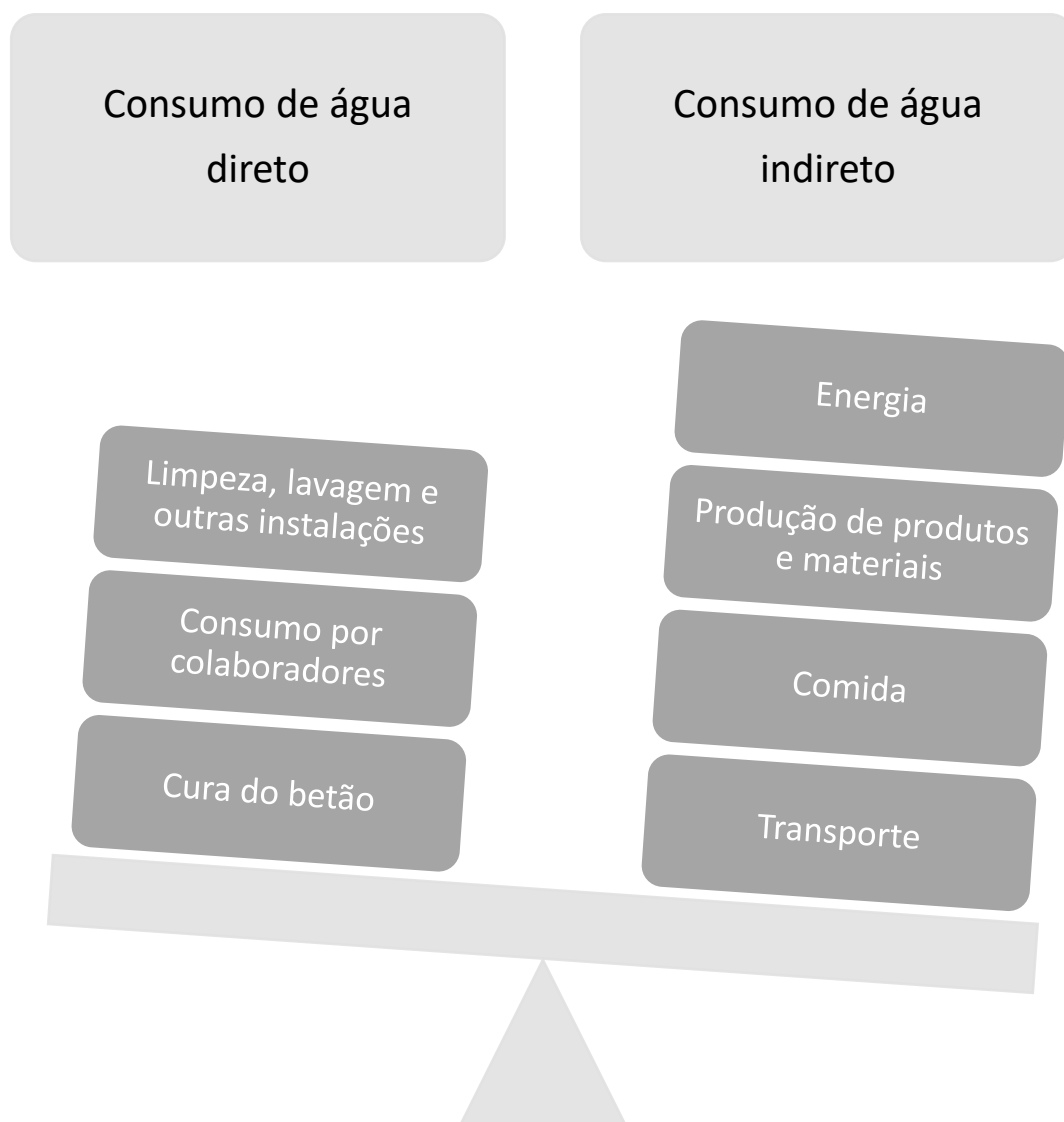


Figura 6.3 - Consumo direto e indireto de água na construção de edifícios, adaptado de (Nallaperuma *et al.*, 2023).

6.3 OBJETIVOS E ÂMBITO

O objetivo deste trabalho é o de avaliar o impacto em termos de consumo de água de duas abordagens à reabilitação de edifícios utilizando uma análise ciclo de vida (LCA – Life Cycle Assessment). Para tal, foram analisados 22 casos de estudo reais, que foram reabilitados no âmbito do trabalho do NCREP e que passaram pelas seguintes fases durante o processo de reabilitação: (i) Realização de inspeção e diagnóstico estrutural (RID) com o objetivo de caracterizar e avaliar o estado de conservação e de segurança das estruturas existentes; (ii) Análise de segurança e realização de projeto de estabilidade com base na arquitetura e resultados do RID; (iii) Realização da obra com base nos projetos de execução e das diferentes especialidades. Dos 22 casos, 7 tinham já sido alvo de uma análise de ciclo de vida com o objetivo de avaliar um conjunto de impactos relacionados com emissões e resíduos de construção,

considerando diferentes cenários de intervenção, Silva (2021); Silva *et al.* (2022), entre os quais os cenários propostos para este estudo. Os dois cenários de intervenção considerados foram o Cenário 1 - Reabilitação realizada de acordo com o projeto de execução desenvolvido pelo NCREP e o Cenário 2 - Demolição total das paredes interiores e pavimentos do edifício e reconstrução em betão armado, “fachadismo” prática comum em Portugal.

O Cenário 2 consiste na reconstrução do edifício usando uma solução em betão armado, com pavimentos em lajes aligeiradas e escadas e cobertura em lajes maciças com betão da classe C25/30. À semelhança do que foi realizado em Silva (2021); Silva *et al.* (2022), o dimensionamento da nova estrutura para o Cenário 2 dos 15 novos edifícios em análise foi padronizado com base nos vãos e considerando os critérios presentes na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Solução adotada para as novas estruturas em betão armado do Cenário 2, adaptado (Silva, 2021).

Vão (m)	Lajes aligeiradas (vigotas C30/37)	Lajes maciças em betão armado C25/30
<2	P3 – BL40x12-15	$h_{\text{laje}} = 15 \text{ cm}$
2-4	P3 – BL33x15-20	$h_{\text{laje}} = 18 \text{ cm}$
4-6	P3 – BL23x21-25	$h_{\text{laje}} = 25 \text{ cm}$

Após a definição dos cenários e da seleção dos casos de estudo, existiu a necessidade de realizar uma extensa pesquisa de estado de arte, por um lado para perceber que trabalho tem sido realizado nesta área e por outro obter a informação necessária ao cálculo e quantificação do consumo de água associado a todas as tarefas e materiais envolvidos nas intervenções. Essa informação será detalhada mais à frente neste documento e servirá de base à análise de ciclo de vida a realizar para cada um dos edifícios.

Esta análise de estado de arte permitiu concluir que de facto o trabalho realizado nesta área é escasso, não existindo muitos estudos associados aos processos em obra e consumos diretos em obra. No entanto, existem alguns associados à produção de materiais (Bardhan, 2011; Delnavaz *et al.*, 2022; Heravi e Abdolvand, 2019; Hosseinian e Ghahari, 2021; Hosseinian e Nezamoleslami, 2016; Nallaperuma *et al.*, 2023).

Tendo em conta a escassez de estudos deste tipo, este pretende criar conhecimento útil e assim contribuir para a melhoria das práticas de projeto, no sentido de reduzir a pegada hídrica das intervenções de reabilitação.

6.4 APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDOS

Nesta secção são apresentados os vários casos de estudo considerados neste estudo. Na Tabela 6.3 são identificados todos os casos de estudo, juntamente com a sua área bruta e com o nível de intrusividade da intervenção realizada no Cenário 1. Na Tabela 6.4 é apresentada uma fotografia geral de cada caso de estudo de modo a apresentar os mesmos.

Definição do nível de intrusividade: O nível de intrusividade está relacionado com o tipo de trabalhos realizados e a quantidade de material substituído na intervenção do Cenário 1 em comparação com o que seria o Cenário 2, podendo esta ser de intrusividade: baixa, intermédia ou elevada. Este foi definido já numa fase avançada do estudo, uma vez que inicialmente só era possível fazer uma análise de sensibilidade com base na quantidade de material demolido e novo, o que do ponto de vista do consumo de água poderia não ter um impacte significativo. Então, a definição dos níveis de intrusividade foi feita após os primeiros resultados obtidos para o consumo de água, onde foi feita a média do consumo em **m³ de água / m² de edifício e criado um balizamento dividindo a média do edifício do Cenário 2 pela média do edifício no Cenário 1:**

- Valores entre 0 e 1,5 indicam intrusividade elevada, uma vez que representam que o Cenário 1 consumiu mais ou a mesma quantidade de água no geral que o Cenário 2.
- Valores entre 1,5 e 3,5, indicam uma intrusividade intermédia, uma vez que representam que o Cenário 1 consumiu em média 2 vezes menos água que o Cenário 2.
- Valores acima de 3,5, indicam uma intrusividade baixa uma vez que representam que o Cenário 1 consumiu menos de 3,5 vezes menos água que o Cenário 2. Sendo que, neste cálculo está Cenários 2 que consumiram até 17 vezes mais água que o Cenário 1.

Neste estudo, foram incorporados 7 edifícios previamente avaliados em Silva *et al.* (2022). Os casos de estudo previamente avaliados correspondem aos edifícios 16 a 22.

Tabela 6.3 - Apresentação dos casos de estudo, área, nível de intrusividade no Cenário 1 e breve descrição sobre a intervenção.

01 - Edifício Rua Álvares Cabral	<u>Área:</u> 501 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Baixo
<u>Descrição:</u> Essencialmente, reforço de pavimentos através de adição de reforços ao lado das peças existentes. Cobertura nova em madeira.		
02 - Edifício Rua das Fontainhas	<u>Área:</u> 627 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Baixo

<u>Descrição:</u> Substituição de 60% (aproximadamente) dos pavimentos em madeira, execução de nova cobertura em estrutura metálica.		
03 - Edifício Rua da Torrinha	Área: 323 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Baixo
<u>Descrição:</u> Reforço dos pavimentos e da cobertura, com a introdução de elementos estruturais em madeira.		
04 - Edifício Rua General Torres	Área: 492 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Baixo
<u>Descrição:</u> Substituição integral dos pavimentos em madeira e reforço da cobertura. Execução de elementos em betão ao nível das fundações e do piso 0.		
05 - Edifício Rua do Bolama	Área: 276 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Baixo
<u>Descrição:</u> Reforço de pavimentos em madeira com elementos ao lado.		
06 - Edifício Rua Soares de Passos	Área: 378 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Intermédio
<u>Descrição:</u> Substituição de pavimentos com recurso a betão armado, mantendo-se só os pavimentos em madeira que se encontravam em bom estado de conservação.		
07 - Edifício Rua do Rosário	Área: 463 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Elevado
<u>Descrição:</u> Substituição de pavimentos em madeira com recurso a betão armado, reforço de fundações, reforço de pavimentos em madeira com elementos estruturais em madeira.		
08 - Edifício Rua Luís Cruz	Área: 329 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Elevado
<u>Descrição:</u> Reforço de fundações com recurso a betão armado, substituição dos pavimentos em madeira por lajes em betão armado, reforço dos pavimentos em madeira dos pisos elevados.		
09 - Edifício Rua António Patrício	Área: 299 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Intermédio
<u>Descrição:</u> Intervenção ao nível da fachada, reforço de fundações, manutenção de todos os pavimentos em madeira, com reforços pontuais, reforços de pavimentos em bom estado de conservação.		
10 - Edifício Rua do Bonfim 109	Área: 314 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Intermédio
<u>Descrição:</u> Execução de elementos em betão armado e substituição de elementos em madeira, em mau estado de conservação, por um sistema estrutural semelhante.		
11 - Edifício Rua Almada	Área: 493 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Elevado
<u>Descrição:</u> Reforço de fundações, substituição integral de pavimentos por lajes mistas, manutenção de poucos elementos estruturais em madeira. Execução de um pavimento novo em estrutura de madeira.		
12 - Entreparedes	Área: 1047 m ²	Nível de intrusividade Cenário 1: Elevado

<u>Descrição:</u> Execução de muitos elementos estruturais ao nível das fundações em betão armado, manutenção de alguns elementos estruturais em madeira, substituição integral do pavimento do último piso e da cobertura por um sistema estrutural equivalente em madeira e aço. Reforços pontuais da estrutura em aço.		
13 - Antero de Quental	<u>Área:</u> 372 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Elevado
<u>Descrição:</u> Poucos elementos estruturais de madeira em bom estado de conservação, execução de parte do pavimento do piso 1 em lajes aligeiradas de betão armado, substituição de pavimentos e da cobertura por sistemas estruturais equivalentes em madeira.		
14 - Casa Ricardo Severo	<u>Área:</u> 1025 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Baixo
<u>Descrição:</u> Execução de novos pavimentos térreos, manutenção dos pavimentos em madeira com reforços pontuais com recurso a sistemas estruturais equivalentes, em madeira.		
15 - Edifício Passos Manuel 156	<u>Área:</u> 371 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Elevado
<u>Descrição:</u> Reforço das fundações, substituição do pavimento do piso 0 por laje mista e execução de nova cobertura em estrutura metálica. Manutenção de todos os pavimentos em madeira com reforços pontuais.		
16 – Rua São Bento Vitória	<u>Área:</u> 700 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Elevado
<u>Descrição:</u> Reforço de fundação, reforços pontuais e manutenção dos pavimentos em madeira. Substituição de parte da laje térrea com recurso a betão armado.		
17 – Rua do Rosário	<u>Área:</u> 700 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Intermédio
<u>Descrição:</u> Reforço da fundação, manutenção de todos os pavimentos e elementos estruturais em madeira com reforços pontuais.		
18 – Rua do Pinheiro	<u>Área:</u> 300 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Baixo
<u>Descrição:</u> Execução de novas lajes térreas, substituição dos elementos estruturais dos pavimentos e da cobertura em mau estado de conservação.		
19 – Rua Barão São Cosme	<u>Área:</u> 450 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Intermédio
<u>Descrição:</u> Substituição de elementos estruturais dos pavimentos em madeira em mau estado de conservação, execução de nova laje térrea.		
20 – Praça Coronel Pacheco	<u>Área:</u> 600 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Baixo
<u>Descrição:</u> Substituição dos elementos estruturais em madeira em mau estado de conservação. Reforço dos pavimentos em madeira e da cobertura com elementos estruturais em madeira.		
21 – Rua Alexandre Braga	<u>Área:</u> 600 m ²	<u>Nível de intrusividade Cenário 1:</u> Intermédio

<p><u>Descrição:</u> Reforço de fundações, substituição integral da cobertura e de elementos dos pavimentos em madeira por sistemas estruturais equivalentes.</p>		
<p>22 – Rua do Almada</p>	<p>Área: 850 m²</p>	<p>Nível de intrusividade Cenário 1: Elevado</p>
<p><u>Descrição:</u> Reforço de fundações, execução de lajes em betão armado e paredes resistentes, substituição de pavimentos em madeira por elementos estruturais equivalentes.</p>		

Tabela 6.4 - Fotografia geral de cada caso de estudo



01 - Edifício Rua Álvares Cabral



02 - Edifício Rua das Fontainhas



03 - Edifício Rua da Torrinha



04 - Edifício Rua General Torres



05 - Edifício Rua do Bolama



06 - Edifício Rua Soares de Passos



07 - Edifício Rua do Rosário



08 - Edifício Rua Luís Cruz



09 - Edifício Rua António Patrício



10 - Edifício Rua do Bonfim 109



11 - Edifício Rua Almada



12 - Entreparedes



13 - Antero de Quental



14 - Casa Ricardo Severo



15 - Edifício Passos Manuel 156



16 – Rua São Bento Vitória



17 – Rua do Rosário



18 – Rua do Pinheiro



19 – Rua Barão São Cosme



20 – Praça Coronel Pacheco



21 – Rua Alexandre Braga



22 – Rua do Almada

6.5 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA

6.5.1 Definição da abordagem e limites

A Figura 6.4 representa de forma esquemática a abordagem adotada para a análise do consumo de água relacionado com os dois cenários mencionados anteriormente. Após ser estabelecido o objetivo e a identificação do âmbito do estudo, prosseguiu-se para a identificação dos principais materiais e atividades inerentes aos cenários de reabilitação/intervenção. A partir dessa identificação e quantificação qualitativa dos materiais e atividades, recorreu-se à pesquisa bibliográfica de artigos já publicados no âmbito do consumo de água e avaliação da pegada hídrica de materiais e atividades no setor da construção civil. Esta pesquisa desempenhou um papel fundamental para quantificar o consumo de água associado à produção de cada material, o qual exerce um impacto indireto no consumo total de água vinculado à obra, como explicado anteriormente, traduzir-se-á no consumo de água virtual.

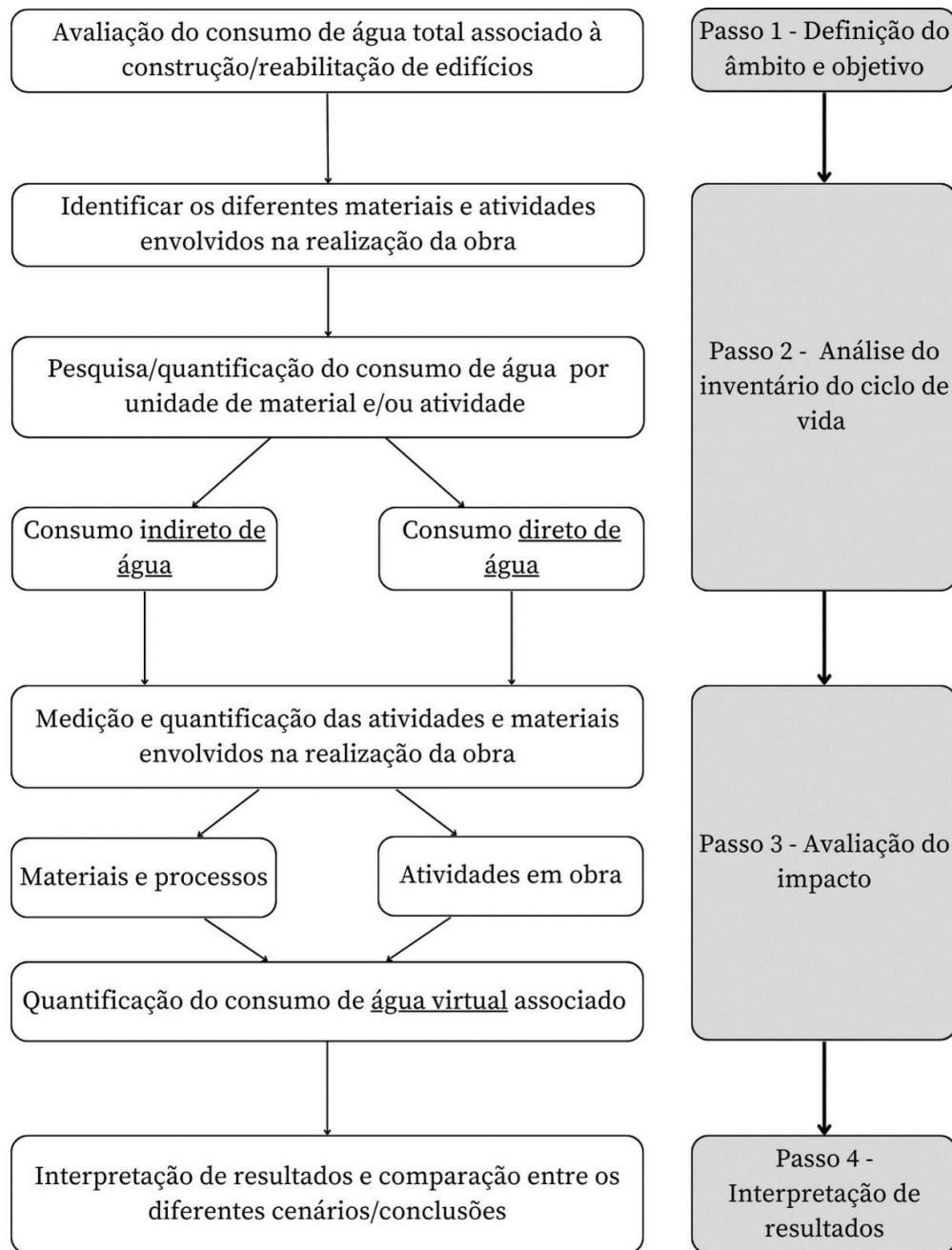


Figura 6.4 - Organograma da abordagem feita ao cálculo do consumo de água.

Uma vez que esta pesquisa se concentra exclusivamente na **intervenção estrutural** em edifícios, optou-se por se excluir qualquer tipo de consumo de água relacionado com operários e atividades relacionadas, bem como qualquer outro material que não estivesse diretamente ligado com a intervenção estrutural, como por exemplo o caso do vidro, alumínio ou tijolo de preenchimento de paredes (elementos arquitetónicos ou de outras especialidades). Esta decisão foi tomada após uma análise dos principais componentes e materiais utilizados nas intervenções dos casos de estudo e das principais atividades envolvidas. Serve ainda para justificar este balizamento que o consumo de água associado aos operários teria peso nos dois lados da balança, o que seria consumido em termos de valor unitário por operário

seria o mesmo, a variável estaria associada à duração da empreitada. Não existem dados nem informação sobre a duração das empreitadas de reabilitação.

Na Figura 6.5 são apresentados os processos considerados na análise, devidamente divididos por tipo de consumo.

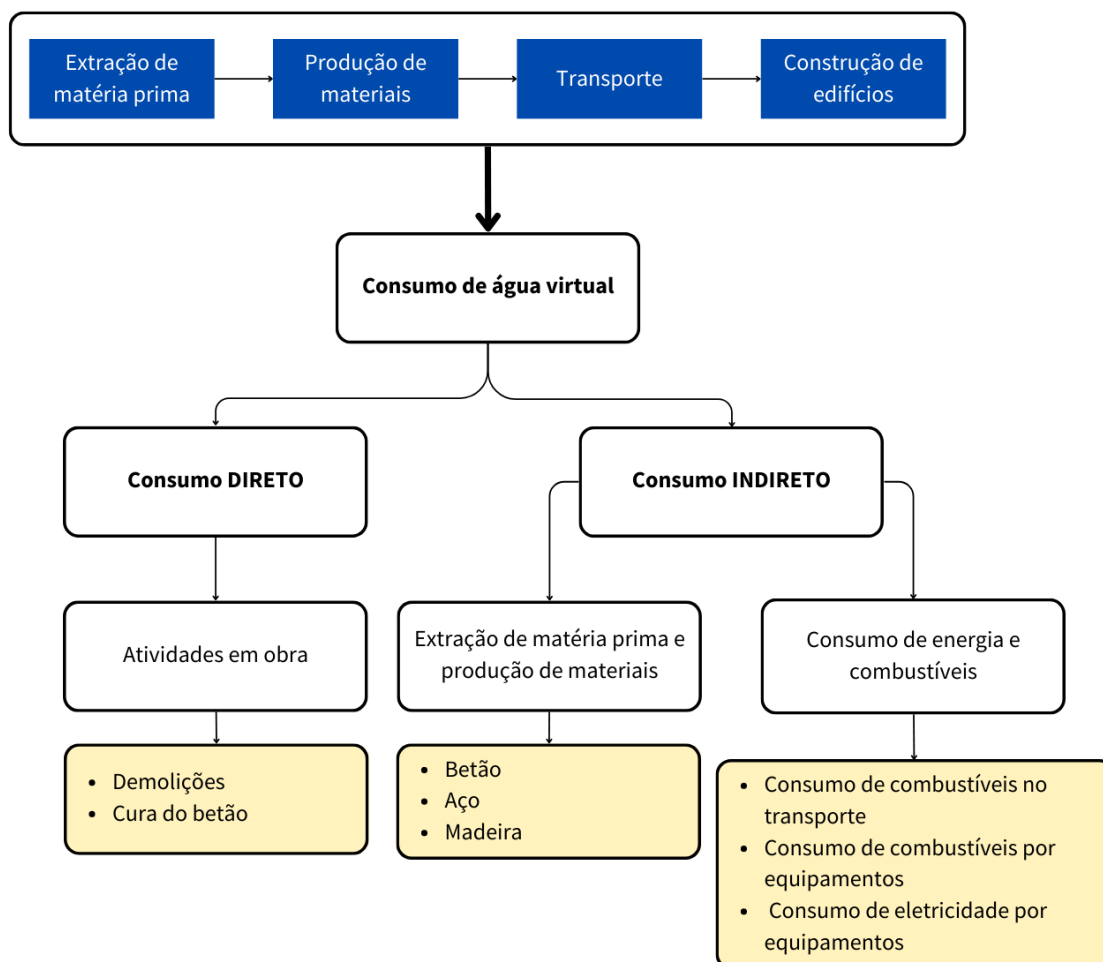


Figura 6.5 - Representação esquemática dos parâmetros da pesquisa académica, adaptado de (Heravi e Abdolvand, 2019).

6.5.2 Definição dos valores de consumo de água

Nesta secção são apresentados os valores de consumo de água recolhidos durante a pesquisa bibliográfica e posteriormente utilizados nas análises. É também apresentado o seu enquadramento em termos de estado de arte e/ou cálculo através de uma análise LCA.

Um estudo realizado por Heravi e Abdolvand (2019) foi conduzido com o objetivo de avaliar o consumo de água virtual durante a extração e produção de materiais, em projetos residenciais no Irão. O estudo, visou ainda comparar esses resultados com outros países e avaliar os impactes da sustentabilidade do

consumo a nível interno, a nível nacional no Irão. O estudo realizado apurou um consumo de 20,8 m³ de água por edifício.

O âmbito do estudo anterior concentra-se essencialmente nos impactes *cradle-to-gate*, mineração e extração de materiais, produção e o transporte até ao local da construção. Para estimar o consumo indireto de água durante a fase de produção de materiais foram realizadas entrevistas com os fabricantes dos mesmos ao contrário do consumo direto de água que foi calculado e obtido através de tabelas de referência, *Commentary of National Building Price List*, que fornece informação sobre atividades *in-situ* no setor da construção.

Os autores do estudo anterior evidenciam ainda que o consumo de água virtual em projetos residenciais no Irão representa, aproximadamente, cerca de 20% do consumo per capita de água potável no país.

Já um outro estudo realizado por Hosseinian e Ghahari (2021) relaciona a pegada hídrica de edifícios residenciais com os parâmetros estruturais destes, como por exemplo a área, a altura, o tipo de materiais na construção da estrutura, o vão, entre outros. A abordagem do estudo prende-se essencialmente na metodologia LCA, no entanto foram abordadas outras, mas que não apresentaram resultados consistentes.

Com uma abordagem *cradle-to-gate*, em que está incluído o processo de extração, produção, transporte e construção, o estudo analisa 45 casos de estudo situados no Irão. Os casos de estudo variaram entre edifícios de três a oito andares, com áreas entre os 665 m² e os 2703 m² estado localizados numa região de levado risco de sismicidade.

No consumo indireto de água os autores consideram que o consumo está essencialmente relacionado com a produção de energia para a obra, extração e produção de matéria-prima, transporte, alimentação das pessoas, máquinas e equipamentos, sendo alguns dos valores considerados no estudo foram:

- Eletricidade: 0.72-1.8 m³ de água/MWh;
- Transporte a gasóleo: 0.16-0.33 L/km;
- Gasóleo (maquinaria): 2.81-5.62L/L.
- Refeições pessoais: 4756.88 L/refeição pessoal.

As principais conclusões foram:

- Edifícios em betão tem um melhor desempenho que edifícios em estrutura de aço do ponto de vista da pegada hídrica associada. Em média, a substituição de uma estrutura de aço por uma estrutura de betão resultou numa redução de até 22% da pegada hídrica;
- Quanto maior o número de andares maior a pegada hídrica associada;

- A classificação do solo influencia a pegada hídrica do edifício. Solos arenosos tendem a ter uma pegada hídrica menor do que solos argilosos;
- Uma solução mista para as lajes geralmente tem melhor desempenho que pavimentos em aço ou lajes aligeiradas em betão armado;
- A escolha dos mecanismos de resistência antissísmica tem uma influência reduzida na pegada hídrica quando comparado com os outros parâmetros estruturais;
- As estruturas de aço mostraram-se mais sensíveis às mudanças dos parâmetros estruturais em comparação às estruturas de betão.

No que diz respeito à produção de madeira, (Puettmann e Wilson, 2005) realizaram pesquisas junto de fabricantes de madeira de lamelada colada e de lamela cruzada, em duas regiões dos Estados Unidos (Noroeste Pacífico e Sudeste). A pesquisa consistiu na recolha de informações do consumo de energia, uso de matérias-primas, emissões para o solo, consumo de água entre outros indicadores de impactes ambientais associados à produção de 1 m³ de madeira. Do estudo, os fabricantes de lamelada colada são responsáveis pelo fabrico de 70% na região do Noroeste Pacífico e 43% do Sudeste.

Os resultados indicam que a secagem da madeira e a fabricação de colas têm impactes ambientais significativos no processo de produção de lamelada colada. A produção de madeira difere nas duas regiões, no entanto, o estudo refere que a produção de energia quer por combustíveis fósseis quer de energias renováveis representaram o maior peso nos impactes ambientais. O estudo estabelece uma comparação direta entre as duas regiões evidenciando as características e as condições das mesmas, no entanto, não faz uma análise global.

A implementação de uma economia circular no setor da construção tem também o objetivo de reduzir o impacto ambiental associado ao desperdício/criação de resíduos, quer em fase de construção, quer em fase de demolição. Na maioria dos estudos de análises LCA ao setor da construção é difícil de encontrar resultados para a fase do fim de vida dos edifícios, em específico para a fase da demolição, uma vez que se assume que existe apenas uma influência marginal e pouco relevante nos impactes ambientais do ciclo de vida de um edifício (Ivanica *et al.*, 2022).

Com o objetivo de desenvolver uma base de dados para o inventário do ciclo de vida (LCI, *Life cycle inventory*) para a fase de demolição de edifícios, Ivanica *et al.* (2022) conduziu um estudo em foram observados os processos de demolição de cinco edifícios residenciais na Alemanha. Os autores fizeram ainda uma análise LCA dos impactes ambientais causados pela demolição dos edifícios onde destacam um especial foco ao consumo de água. O método utilizado para a recolha de dados foi através de uma:

- análise qualitativa – documentar a situação geral da demolição, condições da obra, informações do uso de água, entre outros;
- análise quantitativa – medição de dados quantitativos específicos relacionados com o LCI, desde a medição direta do volume de água até ao tempo de funcionamento de máquinas.

O estudo identificou que:

- o uso de escavadoras, o consumo direto de água para a diminuição de partículas e poeiras e a gestão de resíduos como os principais fatores que influenciam os impactes ambientais na demolição de edifícios;
- o sistemas estruturais dos edifícios (betão ou madeira) influenciam tanto o processo de demolição como os impactes ambientais associados. Quanto maior em altura for o edifício e maior variação de materiais no sistema estrutural do edifício maior o tempo de demolição;
- a tipologia construtiva atual e os métodos de construção precisam de ser reavaliados para alcançar uma construção mais monolítica e simplificada, de modo a favorecer a economia circular e o as fases de construção e demolição de edifícios, bem como a gestão de resíduos. Todos estes fatores influenciam diretamente a sustentabilidade na indústria da construção.

Embora o estudo faça referência a outros indicadores ambientais (esgotamento dos combustíveis fósseis, por exemplo), os mesmos não se encontram aqui descritos uma vez que o objetivo deste documento e em específico do capítulo 6 prende-se na avaliação do consumo de água.

As Tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 apresentam um resumo dos valores obtidos na pesquisa bibliográfica relativos ao consumo de água por unidade de material.

Tabela 6.5 - Consumo direto de água em m³ para a redução de partículas e poeira por m² de edifício demolido (Ivanica *et al.*, 2022).

Edifícios em madeira	Paredes acima do solo	0,050	m ³ /m ²
	Pavimentos acima do solo	0,030	m ³ /m ²
Edifícios com betão armado	Paredes acima do solo	0,080	m ³ /m ²
	Pavimentos acima do solo	0,050	m ³ /m ²

Tabela 6.6 - Consumo de água por unidade de material, diversos autores.

Materiais de construção		84	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
	Aço	10,650	m ³ /1t	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)
		2,353	m ³ /kg	(Wärmark, 2015)
	Cimento	0,315	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
		2,126	m ³ /m ³	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)
	Agregados	0,350	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
		0,584	m ³ /m ³	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)
	Abobadilha	0,760	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
	Alvenaria	0,050	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
		0,410	m ³ /1t	(Heravi e Abdolvand, 2019)
	Betão C25/30	2,3	m ³ /m ³	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)
		0,192	m ³ /kg	(Wärmark, 2015)
	Madeira Maciça	1,405	m ³ /m ³	(Puettmann e Wilson, 2005)
	Cura Betão	35,000	L/m ² /7 dias	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)

Tabela 6.7 - Consumo de água por unidade de energia consumida

Energia	Eletricidade	0,72-1,8	m ³ /Mwh	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)
	Gasóleo	2,68 – 5,26	L/L	(Hosseinian e Nezamoleslami, 2016)

Neste estudo, para além da pesquisa bibliográfica foram ainda tidos em conta valores da base de dados pública *Agribalyse*, desenvolvida pelo Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, INRAE, em conjunto com outras organizações. A *Agribalyse* fornece informações sobre impactes ambientais de diferentes processos de produção agrícola, no entanto, são diversos os processos comuns à construção civil que fazem parte da base de dados.

Para tal, a avaliação dos consumos foi feita com recurso ao *software openLCA* - versão 1.11.0, utilizando a base de dados *Agribalyse* (Tabela 6.8) aplicando o método *LCI results, additional*.

Tabela 6.8 - Base de dados *Agrybalyse*.

Energia	Eletricidade	0,00551	(m ³ /kWh)
	Gasolina transporte	6,56E-07	(m ³ /kg*km)
	Gasolina consumo maquinaria demolições	0,00017	(m ³ /kg*km)
	Oxigénio líquido	0,03107	(m ³ /kg)
Materiais novos	Betão Armado 25/30	4,38	(m ³ /m ³)
	Betão de Enchimento Aligeirada C25/30	3,47	(m ³ /m ³)
	Betão Leve	3,3	(m ³ /m ³)
	Betão – <i>High Requirements</i> (C30/37)	3,65	(m ³ /m ³)
	Alvenaria - Blocos de betão	0,00163	(m ³ /kg)
	Abobadilhas	0,00076	(m ³ /kg)
	Aço - Perfis Metálicos	0,01521	(m ³ /kg)
	Aço - Armadura	0,01214	(m ³ /kg)
	Medeira Lamelada Colada	0,8605	(m ³ /m ³)
	Madeira Maciça	0,55645	(m ³ /m ³)

Para a realização deste estudo, foi feita uma ponderação com base nos pressupostos em que estes foram obtidos. Desta forma, como resultado a maior parte dos valores adotados no cálculo do consumo de água nos cenários de reabilitação pertencem à base de dados da *Agrybalyse*, que quando comparado a outros autores mencionados, possuem algumas vantagens significativas, nomeadamente:

- Atualizada regularmente, incorpora pesquisas recentes e considera diferentes aspetos das cadeias de produção, proporcionando uma abordagem mais abrangente dos impactes;
- Metodologia da obtenção de dados padronizada, o que garante consistência e critério nos resultados obtidos e consequentemente permitirá melhor interpretação de resultados;
- Compatibilidade com *softwares* utilizados no NCREP, sendo que existe assim a possibilidade de dar continuidade a estudos semelhantes facilitando a comparação entre resultados obtidos;
- O contexto em que os resultados dos consumos foram obtidos têm maior semelhança com o contexto dos casos de estudo, nomeadamente a localização e clima. Todos os casos de estudo estão localizados na região do grande Porto e os processos escolhidos têm como base a localização na Europa, quando o mesmo não é possível têm por base os processos no resto do

mundo. Ao contrário do resultado da pesquisa científica que tem por base países como a Índia e Irão, por exemplo, onde a disponibilidade da água na região, clima e processos de construção são demasiado específicos e diferentes do contexto do Porto.

Para efeitos de cálculo, foram considerados os seguintes valores de consumo de água em m³ por unidade de material/energia ou m² de edifício.

Tabela 6.9 - Valores utilizados no cálculo do consumo total do de água em m³ de água por unidade de material ou m² de edifício.

Madeira	Paredes acima do solo	0,05	(m ³ /m ²)
	Pavimentos acima do solo	0,03	(m ³ /m ²)
Betão Armado	Paredes acima do solo	0,08	(m ³ /m ²)
	Pavimentos acima do solo	0,05	(m ³ /m ²)
Consumo Médio	Paredes	0,045	(m ³ /m ²)
	Pavimentos	0,025	(m ³ /m ²)
Energia	Eletricidade	0,00551	(m ³ /kWh)
	Gasolina Transporte	6,56E-07	(m ³ /kg*km)
	Oxigénio Líquido	0,03107	(m ³ /kg)
	Gasolina Maquinaria	0,00017	(m ³ /kg)
NOVA CONSTRUÇÃO			
Recursos	Betão Armado 25/30	4,38	(m ³ /m ³)
	Betão de Enchimento Aligeirada C25/30	3,47	(m ³ /m ³)
	Betão Leve	3,3	(m ³ /m ³)
	Betão <i>High Requirements</i> (C30/37)	3,65	(m ³ /m ³)
	Alvenaria - Blocos de betão	0,00163	(m ³ /kg)
	Abobadilhas	0,00076	(m ³ /kg)
	Aço - Perfis Metálicos	0,01521	(m ³ /kg)
	Aço - Armadura	0,01214	(m ³ /kg)
	Cura do Betão	0,035	(m ³ /m ² /7dias)
	Medeira Lamelada Colada	0,8605	(m ³ /m ³)

Madeira Maciça	0,55645	(m ³ /m ³)
----------------	---------	-----------------------------------

6.5.3 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, que apresentam, para todos os casos de estudo, o volume (em m³) e a massa (em kg), por m² de edifício, de todos os materiais novos e demolidos em cada cenário.

A Figura 6.6 e Figura 6.7 resumem este inventário, apresentando para cada caso de estudo o volume total de materiais a demolir e a introduzir, por m² de edifício.

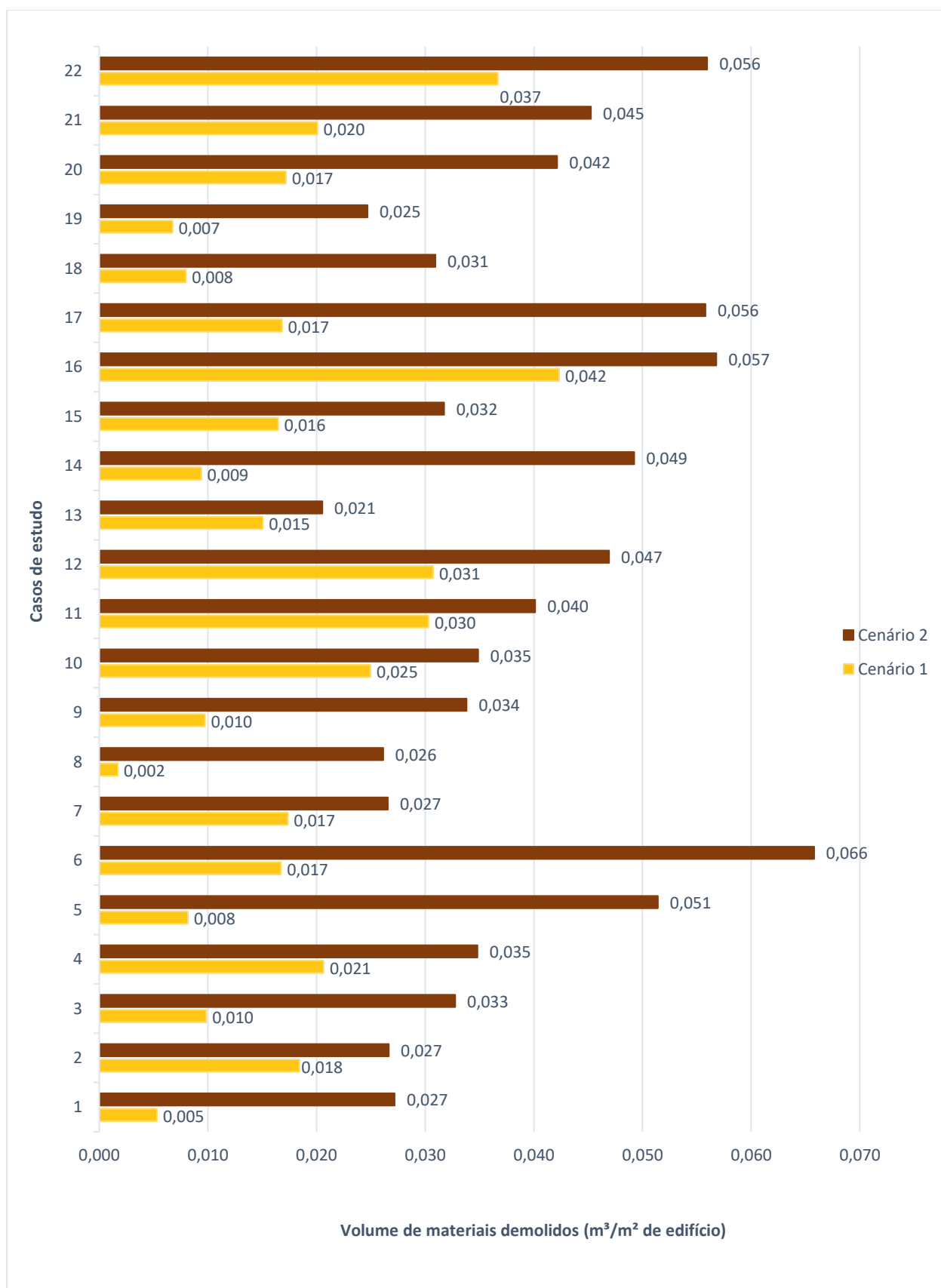


Figura 6.6 - Volume total de materiais demolidos por m² de edifício

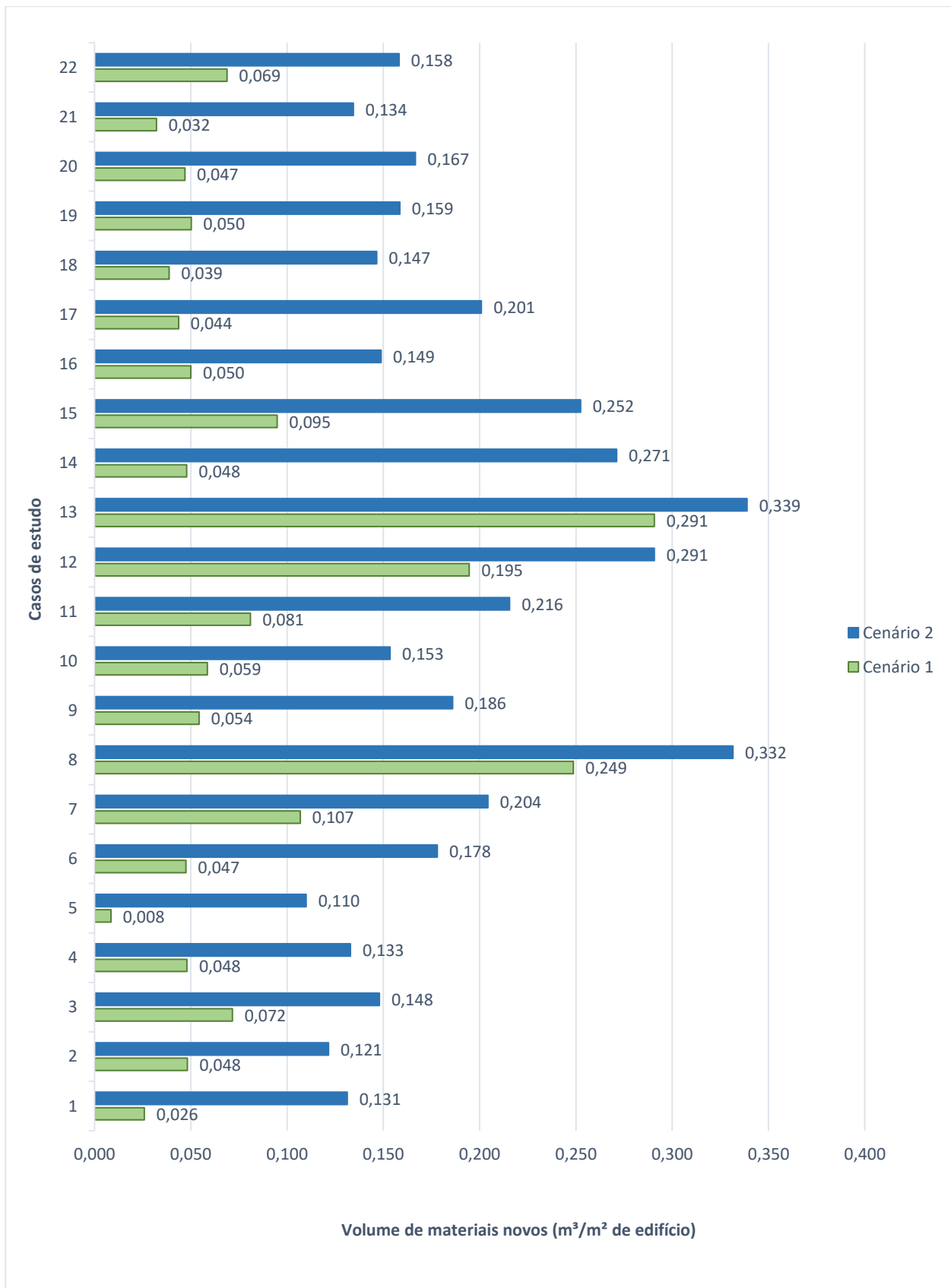


Figura 6.7 - Volume total de materiais novos por m² de edifício.

É importante realçar que os volumes de materiais demolidos e novos podem variar de forma não linear entre os diversos casos de estudos. Esta variação depende essencialmente dos materiais existentes no edifício, bem como o grau da intrusividade da intervenção realizada, como é o caso do edifício 14 e do edifício 12, que apesar de uma área bruta na mesma ordem de grandeza, devido a intervenção de reabilitação feita no Cenário 1, possuem volumes de materiais demolidos por m² bastante diferentes.

Em média, optar pelo Cenário 1 resultou numa redução de material demolido de aproximadamente 54% em comparação ao Cenário 2. Além disso, em termos de material novo introduzido, o Cenário 1 consumiu, em média, 58% menos do volume de materiais novos em comparação com o Cenário 2.

Neste estudo, foram considerados os transportes de materiais, tendo em conta as considerações feitas em estudos anteriores realizados na empresa, Silva (2021), assim como o rendimento dos equipamentos utilizados, nesses mesmos estudos. Para o transporte, foram consideradas as distâncias do centro do porto, aos fornecedores mais próximos, 10. No que diz respeito aos consumos energéticos, Tabela 6.111, existe na base de dados da empresa levantamentos dos equipamentos utilizados em obra e rendimentos destes, fornecidos por empreiteiros.

Tabela 6.10 - Distâncias consideradas (Silva, 2021).

Distâncias de transporte (km)	
Resíduos de demolição	9
Estruturas de madeira maciça	14
Estruturas de madeira lamelada colada	21
Estruturas metálicas	8
Lajes aligeiradas	27

Tabela 6.11 - Consumos considerados por m³ de material(Silva, 2021).

Atividade	Equipamento	Rendimento	Energia por m³ de material
Demolição de estruturas de madeira	Motosserra	3,50 h/m ³	3,50 L gasolina/m ³
	Rebarbadora	3,50 h/m ³	7,00 kWh/m ³
Demolição de estruturas em betão armado	Martelo elétrico	2,67 h/m ³	4,67 kWh/m ³
	Rebarbadora	2,67 h/m ³	5,34 kWh/m ³
	Rebarbadora	2,68 h/m ³	5,36 kWh/m ³

Demolição de estruturas em aço	Maçarico com oxicorte	2,68 h/m ³	1621,4 L oxigénio/m ³
--------------------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------------------

O cálculo do consumo de água foi realizado, considerando os valores anteriormente apresentados e recorrendo a uma folha de cálculo desenvolvida em Excel e apresentada no Anexo V. Esta folha permite considerar os consumos de água diretos e indiretos, de onde fazem parte as seguintes variáveis:

- Área bruta do edifício;

Demolições:

- Volume de madeira demolido;
- Volume de betão demolido;
- Quantidade de aço demolido em kg;
- Volume de alvenaria demolida;
- Área de pavimentos e cobertura demolidos;

Materiais novos:

- Volume de madeira maciça;
- Volume de madeira lamelada colada;
- Volume de betão armado C25/30;
- Volume de betão de limpeza;
- Quantidade de blocos maciços de betão em kg;
- Quantidade de abobadilhas em kg (lajes aligeiradas);
- Volume de vigotas P3 (lajes aligeiradas);
- Volume de betão de enchimento (lajes aligeiradas);
- Quantidade de aço dos perfis metálicos em kg;
- Área superficial de betão armado, para a contabilização da água consumida no processo de cura do betão;
- Área de laje aligeirada, para a contabilização de armadura de distribuição.

Para além destes, ainda é contabilizado, através de cálculo automático, os seguintes:

- Eletricidade total consumida proveniente dos equipamentos de demolição;

- Combustível total (gasolina) consumido proveniente dos equipamentos de demolição;
- Oxigénio líquido consumido pelo maçarico com oxicorte nas demolições;
- Volume de betão C30/37 (proveniente das vigotas P3);
- Quantidade de aço das vigotas e a armadura de distribuição da laje aligeirada.

6.6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Uma vez que os resultados obtidos estão em função de cada caso de estudo, foi feito, para cada cenário, um tratamento de dados para se relacionar o consumo de água em m^3 / m^2 de edifício.

O Figura 6.8 e o Figura 6.9, apresentam o consumo de água em m^3 / m^2 de edifício, com a contribuição de cada categoria, estabelecendo assim uma comparação direta entre o Cenário 1 e o Cenário 2 das intervenções realizadas nos casos de estudo.

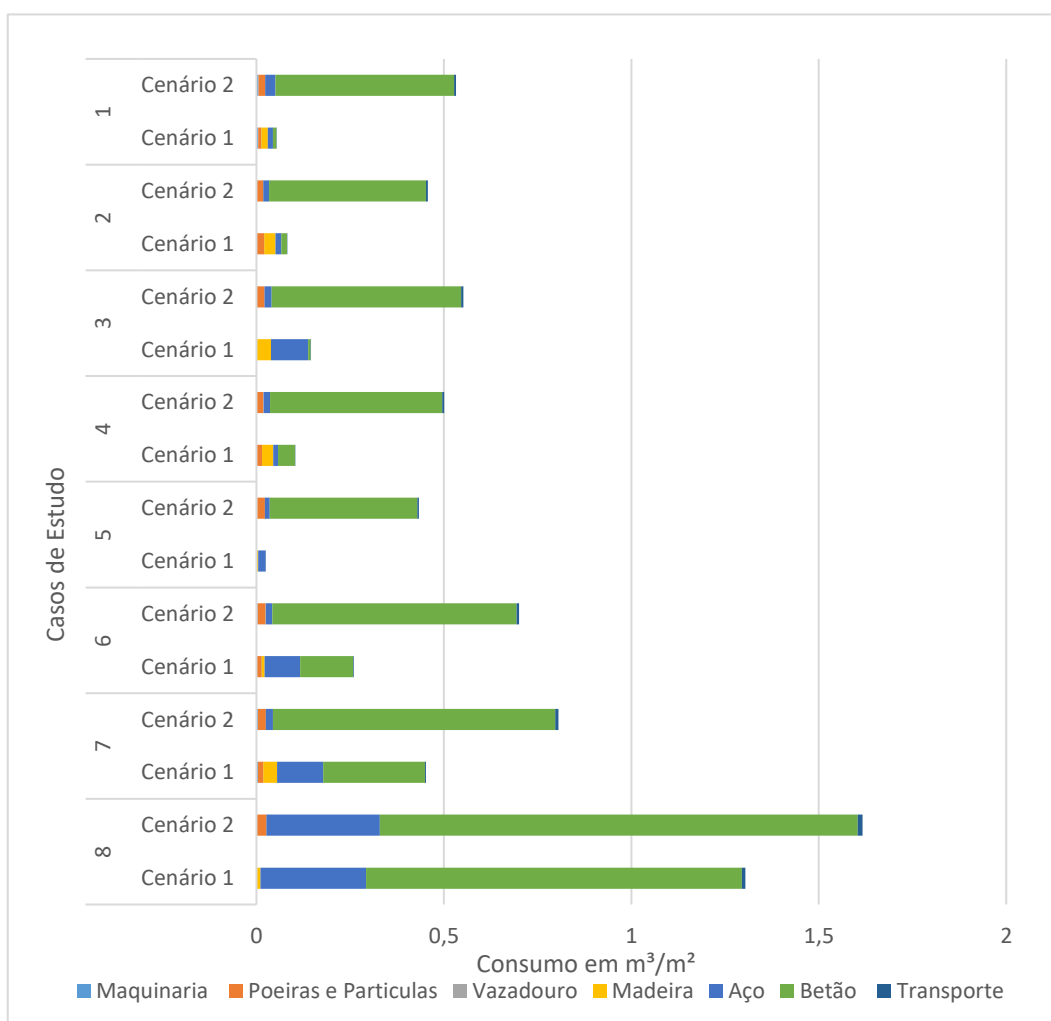


Figura 6.8 - Consumo de água do cenário 1 e cenário 2, em m^3/m^2 , dos casos de estudo 1 a 8.

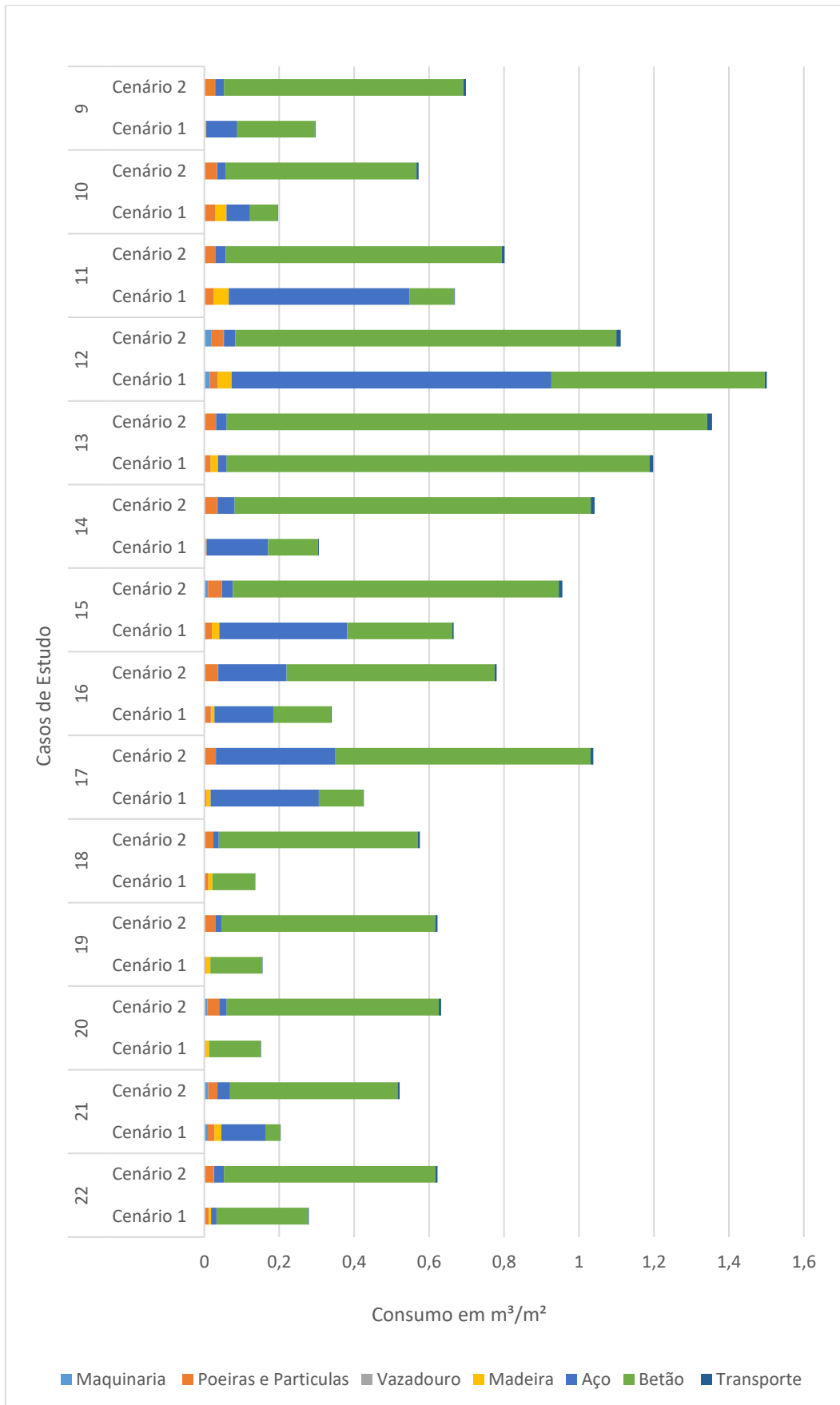


Figura 6.9 - Consumo de água do cenário 1 e cenário 2, em m³/m², dos casos de estudo 9 a 22.

Com base nos resultados apresentados no Figura 6.8 e 6.9, é possível evidenciar a predominância de impacte associado ao uso de betão armado e de aço em qualquer um dos cenários. Isto acontece porque ainda que em pouca quantidade, o consumo de água associado a 1m^3 de aço ou de betão é muito superior ao consumo de água associado a 1m^3 de madeira. Como se pode verificar, por exemplo, no caso do edifício 11, que apesar de apresentar no Cenário 1 um volume de elementos estruturais em madeira novos (24.35 m^3), bastante superiores ao volume de betão (13.58 m^3) e volume de aço (2.0 m^3), é evidente a predominância do consumo de água associado ao uso aço e betão.

Nos Figura 6.8 e 6.9, é possível concluir que o Cenário 1, que representa a metodologia adotada pelo NCREP na abordagem de reabilitação de edifícios existentes, revela-se o melhor cenário em termos de consumo de água, apresentando menor consumo que o Cenário 2 em todos os casos de estudo à exceção do caso de estudo 12. O edifício 12 sofreu uma intervenção com um nível de intrusividade elevado, nomeadamente ao nível das fundações e da substituição da cobertura por um sistema estrutural em aço e madeira. Ainda que a quantidade de aço novo ($7,5\text{ m}^3$) seja bastante inferior à quantidade de betão novo (142 m^3) e madeira nova ($53,68\text{ m}^3$), o consumo unitário associado ao uso de cada um deles é muito diferente, o que faz ter um resultado no Cenário 1 mais gravoso do que no cenário 2, essencialmente pela utilização de aço. Verifica-se que realizar intervenções extensas com recurso a elementos de aço tem um grande impacte em termos de consumo de água.

De seguida, são apresentadas as médias totais de consumo de água nos diferentes cenários. Inicialmente, apresentam-se comparações diretas entre o Cenário 1 e o Cenário 2, (Figura 6.10), seguidas por comparações diretas entre as fases de demolição e reabilitação/reconstrução, (Figura 6.11). Por fim, são ainda apresentadas comparações entre as diversas contribuições de cada categoria para o Cenário 1 e o Cenário 2.

Os resultados são apresentados em função das médias totais de consumo por m^2 de edifício, sempre para os dois cenários.

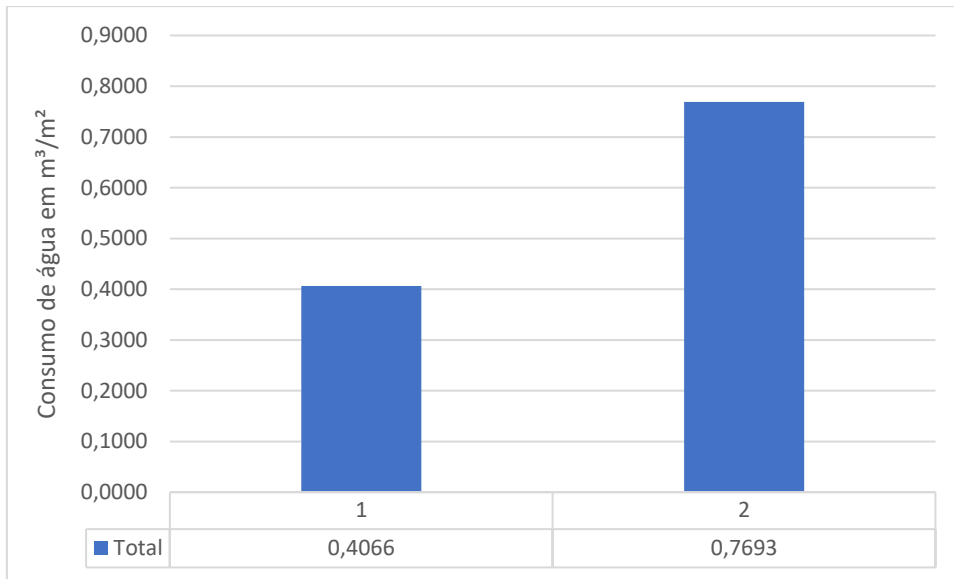


Figura 6.10 - Média do consumo total de água do Cenário 1 e do Cenário 2, em m³/m² de edifício.

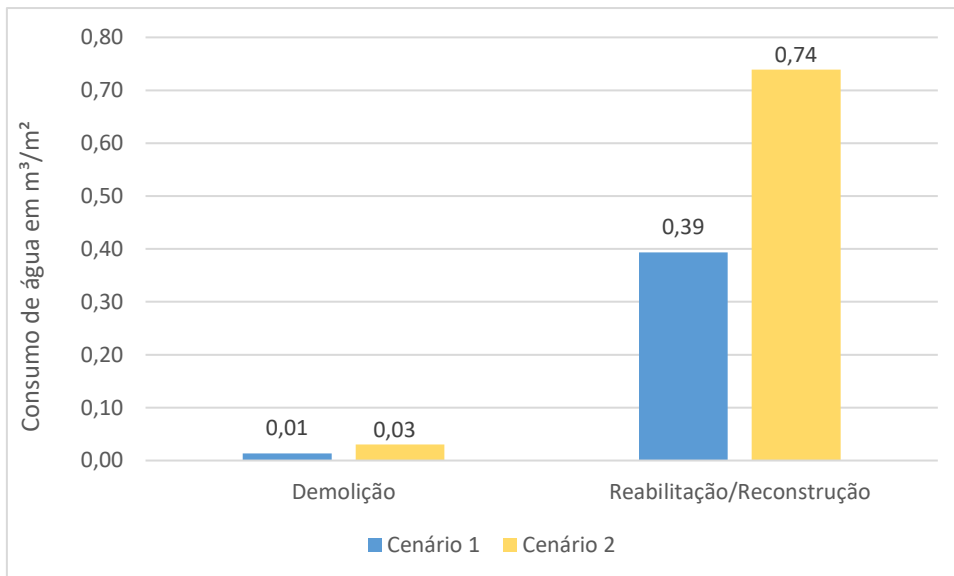


Figura 6.11 - Comparação direta do consumo médio do Cenário 1 e do Cenário 2 por fase de demolição e por fase de reabilitação/reconstrução.

A análise do Figura 6.10, permite corroborar o que anteriormente foi dito e constatar que, em média, uma solução de intervenção que passe pela demolição integral e pela execução de estruturas novas em betão armado, um cenário comum em Portugal, representa em média quase 2 vezes mais consumo de água quando comparado ao Cenário 1, uma reabilitação baseada no estado de conservação da estrutura, ou seja, um acréscimo médio do consumo de água em aproximadamente 89%.

Numa tentativa de perceber quais as fases de obra onde se pode ter maior impacto e influência na redução do consumo de água, a Figura 6.11, apresenta o consumo médio de água por fase de demolição e reabilitação/reconstrução. Desta forma, é possível perceber que em fase de demolição o consumo médio varia em 20 litros por m^2 (um acréscimo de 200% do Cenário 1 para o Cenário 2), quando comparado à fase de reabilitação/reconstrução que tem um acréscimo de 350 litros por m^2 (uma variação de 90% do Cenário 1 para o Cenário 2). Ainda que estas fases tenham variações de acréscimo muito diferentes, em termos de consumos totais, a fase de reabilitação/reconstrução mostra-se mais relevante, uma vez que se compararmos entre as fases de cada cenário percebe-se que as demolições representam uma pequena percentagem do consumo total. Estes resultados permitem também concluir que o consumo de água mais significativo, está relacionado com a adição de materiais novos, seja madeira, betão ou aço ainda que com pesos diferentes na contabilização.

Nesta fase, importa perceber de que forma é que se pode ter influência e através de que medidas. Posto isto, em termos de pegada hídrica de materiais, quando usados na mesma quantidade, o aço lidera com um consumo de 95-119 m^3/m^3 , de seguida está o betão com um consumo de 3,3-4,38 m^3/m^3 e por fim a madeira com um consumo de 0,55-0,86 m^3/m^3 .

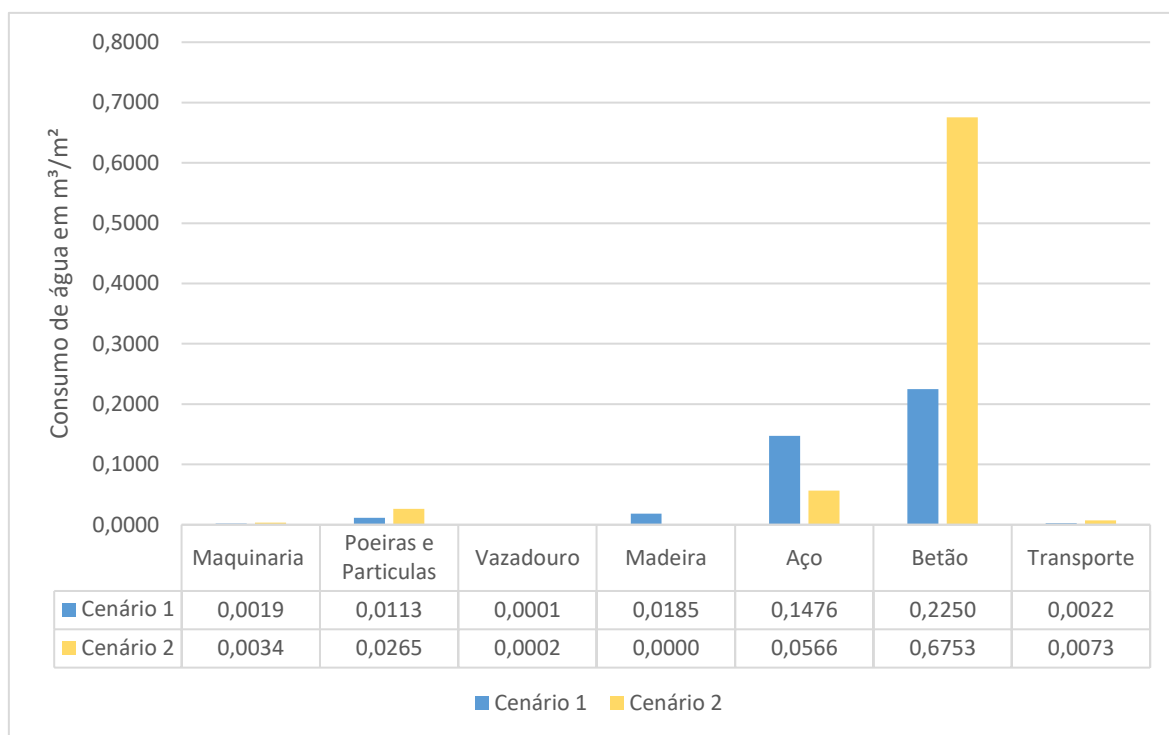


Figura 6.12 - Média de consumo de água das categorias em m^3 / m^2 de edifício para o cenário 1 e cenário 2.

A Figura 6.12, vem pormenorizar o que foi dito até aqui, mostra que ainda que exista um maior consumo de água associado ao aço no Cenário 1, especialmente pela elevada pegada hídrica deste, somando as contribuições totais das categorias de reabilitação do Cenário 1 os valores são muito inferiores aos totais do Cenário 2. Ou seja, mesmo que exista uma demolição integral do interior do edifício, no caso dos cenários de reabilitação com maior intrusividade, a escolha de materiais e sistemas construtivos alternativos às técnicas correntes de sistemas estruturais em betão armado, pode representar, do ponto de vista da pegada hídrica e do consumo de água virtual uma redução quando comparado às práticas mais usadas na atualidade.

Por fim, foi feita uma desconstrução do valor médio do consumo total de água das intervenções de reabilitação, para um valor médio do nível de intrusividade das intervenções. Esta desconstrução foi obtida a partir do agrupamento das intervenções por graus de intrusividade presentes na Tabela 6.3 na apresentação dos casos de estudo. Após a média obtida por graus de intrusividade foi estabelecida a comparação com o valor médio do consumo total de água do cenário 2.

A Figura 6.13 e Figura 6.14 apresenta as médias de consumo de água em m^3 por m^2 de edifício, com base no cenário 2 e nos graus de intrusividade do cenário 1:

- **C1 – Baixo** – representa o cenário 1 com reabilitações de intrusividade baixa;

- **C1 – Intermédio** – representa o cenário 1 com reabilitações de intrusividade intermédia;
- **C1 – Elevado** – representa o cenário 1 com reabilitações de intrusividade elevada;
- **C2** – Representa o cenário 2.

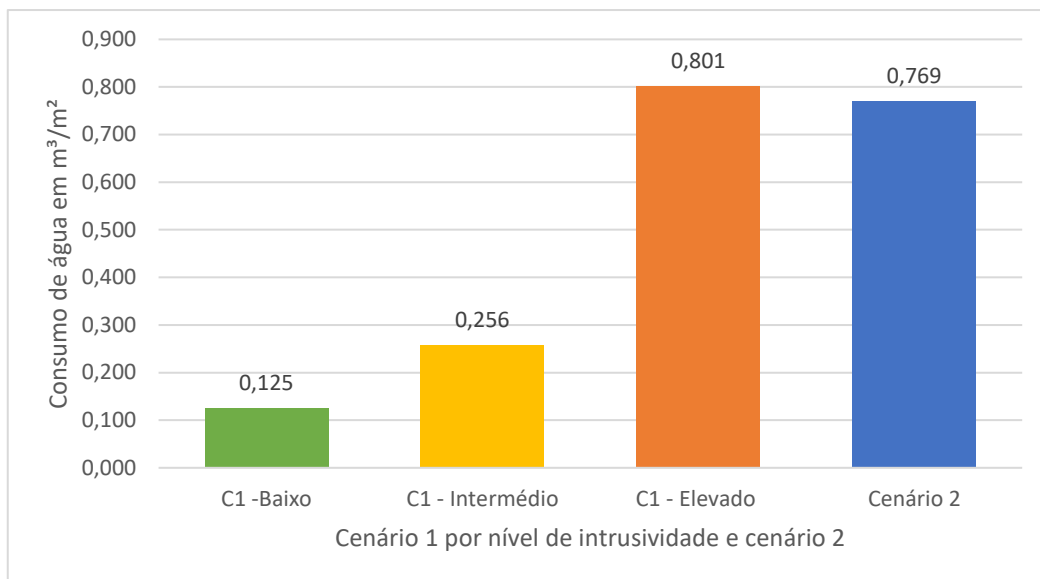


Figura 6.13 - Consumos médios totais do cenário 1 por nível de intrusividade em comparação com o consumo médio total do cenário 2.

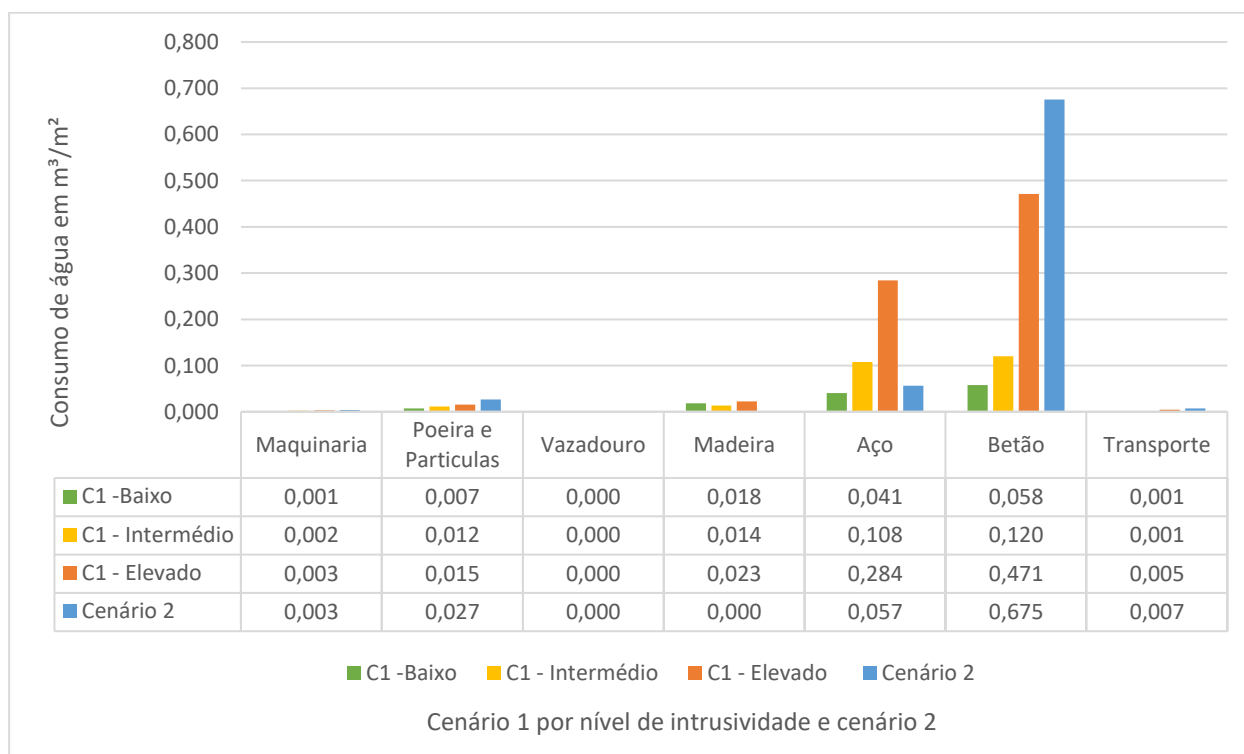


Figura 6.14 - Consumos médios totais do cenário 1 por categoria e nível de intrusividade do cenário 1 em comparação com o consumo médio por categorias do cenário 2

Em média, as intervenções de reabilitação do Cenário 1 quando comparadas com o Cenário 2, do ponto de vista do consumo de água representam:

- Nível de intrusividade – C1 Baixo – O Cenário 1 representa 16,27% do consumo médio do Cenário 2, o que representa uma redução no consumo de água ao optar por reabilitar com base na inspeção e diagnóstico estrutural de 83,75%.
- Nível de intrusividade – C1 Intermédio – O Cenário 1 representa 33,33% do consumo médio do Cenário 2, o que representa uma redução no consumo de água ao optar por reabilitar com base na inspeção e diagnóstico estrutural de 66,67%.
- Nível de intrusividade – C1 Elevado – O consumo médio é neste caso muito semelhante ao obtido no Cenário 2.

Através da análise da Figura 6.14 é possível verificar que o aumento significativo do consumo de água das intervenções com um grau de intrusividade mais alto se deve ao uso de aço, uma vez que a pegada hídrica deste é muito superior à pegada hídrica do betão armado.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

Este trabalho, prendeu-se no objetivo de apresentar as principais atividades desenvolvidas, em contexto de estágio curricular, no NCREP. O principal foco recaiu sobre as atividades de inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural, com uma avaliação de sustentabilidade (do ponto de vista hídrico) das mesmas.

De forma a aprofundar conhecimentos sobre o tema, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que resultou num estado de arte sobre a reabilitação estrutural e a sua importância, apresentando assim casos práticos, nomeadamente de verificações de segurança e de dimensionamento estrutural. Para se atingir os objetivos inicialmente propostos, foi realizado um estudo de como as abordagens da empresa, em cenários de reabilitação, contribuem para a redução da pegada hídrica, promovendo assim a sustentabilidade.

Ao longo do estágio, foi possível explorar as diferentes etapas de inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural, compreendendo a necessidade de abordagens que visem e promovam a sustentabilidade e preservação do património edificado.

No que diz respeito aos trabalhos de inspeção, diagnóstico e avaliação de segurança da Casa Leça da Palmeira, os mesmos foram bastante enriquecedores, uma vez que possibilitou um melhor conhecimento e avaliação de estruturas tradicionais e o contacto entre diversos intervenientes num projeto de engenharia, uma vez que existiu sempre um contacto próximo entre o cliente (dono de obra) e o gabinete de arquitetura. Mais, permitiu pôr em prática o uso de equipamentos para a realização de ensaios não destrutivos e a forma como estes são importantes e contribuem para as tomadas de decisão informadas em fase de projeto.

No que diz respeito à avaliação estrutural da casa Leça da Palmeira, o edifício apresenta um estado de conservação bom, não apresentando anomalias ou dano que necessitem de um elevado nível de intrusividade na intervenção.

Por outro lado, a inspeção da cobertura da Casa Bairros, para além de contribuir para a consolidação dos conhecimentos até aqui, permitiu o contacto mais direto com uma fase de projeto e dimensionamento

estrutural, onde eram várias as anomalias existentes na cobertura, no entanto, ao nível da intervenção eram várias as condicionantes a ter em conta, nomeadamente a manutenção dos materiais existentes e as exigências do dono de obra, nomeadamente um projeto de reabilitação que não obrigasse à desocupação do edifício, nem a substituição da cobertura por um sistema estrutural novo.

No dimensionamento das soluções estruturais da Casa Bairros, foi ainda desenvolvido um modelo numérico em *RSTAB*, no entanto, o mesmo não é aqui apresentado visto que não traduzia o comportamento global da estrutura, havendo dificuldades em “afinar” o modelo numérico e representar exatamente o que existe e acontece na realidade da cobertura.

Por fim, este relatório apresenta o estudo realizado na avaliação da pegada hídrica de intervenções de reabilitação projetadas pelo NCREP, quando comparadas a cenários de “fachadismo”. Este estudo, concentrou-se em 22 casos de estudo. Através deste, foi possível conhecer melhor os métodos de trabalho da empresa, a partir da análise dos diversos relatórios de inspeção e diagnóstico estrutural e projetos de execução desenvolvidos. Permitiu ainda, a aprendizagem sobre a metodologia LCA, ferramenta já utilizada em estudos anteriores na empresa com uma grande utilidade para o estudo da pegada ambiental de qualquer produto ou processo, neste caso em específico, adaptado ao consumo de água na reabilitação de edifícios.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a abordagem de reabilitação baseada em inspeção e diagnóstico possui vantagens diretas para o consumo de água da intervenção. Mostra ainda que, o tipo de sistema estrutural escolhido em qualquer fase do projeto tem um impacto direto na pegada hídrica do edifício, quer na demolição, quer na fase de reabilitação/reconstrução. Mostra ainda que, não deve existir um “fanatismo” por um sistema estrutural específico, mas sim encontrar um equilíbrio entre estes, de forma a usar soluções ponderadas e que promovam um desenvolvimento sustentável. Assim como não é sustentável reconstruir tudo em betão armado, não é sustentável também reconstruir tudo em madeira, é preciso entender que os recursos são limitados e a disponibilidade destes varia de região para região.

Pela análise da Figura 6.13 e da Figura 6.14 podemos concluir que, comparativamente ao Cenário 2, uma abordagem realizando um trabalho de inspeção e diagnóstico prévio (Cenário 1) é claramente vantajosa, em termos de consumo de água, quando lidamos com edifícios que apresentam um estado de conservação bom (C1 baixo) a médio (C1 Intermédio). No limite, nos casos em que os edifícios apresentam um mau estado de conservação e/ou sofrem pequenas alterações, o consumo de água é semelhante ao de reconstrução (Cenário 2), o que se deve essencialmente ao facto de no Cenário 1 se ter utilizado uma maior quantidade de aço. Comparativamente com o Cenário 2 (utilização de betão armado), a utilização do aço em centros urbanos como a cidade do Porto pode ter vantagens práticas de obra, não quantificadas neste trabalho, relacionadas com o espaço em estaleiro e na via pública, e daí ter aparecido como solução global de projeto mais vantajosa.

O maior consumo de água no C1 – Elevado deve-se ao uso de aço pelas vantagens construtivas que este oferece, desde a compatibilidade com soluções estruturais em edifícios antigos, como o benefício que este oferece em termos de volume/propriedades mecânicas o que o torna um material de eleição na reabilitação de edifícios.

A maior vantagem da abordagem do NCREP aquando das intervenções de reabilitação é zelar por uma fonte de recursos que está no património já edificado, uma vez que através da análise de resultados é possível ver que quanto menor forem as demolições menores serão as quantidades de material novo e por consequência menor será o consumo de água da intervenção, por outras palavras, o facto de evitarem a demolição ou substituição de elementos estruturais quando não existe justificação para tal leva aos melhores resultados do ponto de vista ambiental.

O planeamento e as medidas de ação para um desenvolvimento sustentável, devem começar pela preservação, manutenção e recuperação do existente. Sendo que, numa intervenção de reabilitação, nos dias de hoje é fundamental ter em conta, para além dos indicadores económicos, estes indicadores ambientais que vão para além do consumo de água apenas. No NCREP, como dito anteriormente existem outros estudos que mostram a necessidade de ponderar as reabilitações com base na inspeção e diagnóstico de edifícios.

Embora a madeira se tenha mostrado do ponto de vista do consumo de água o material com menor pegada hídrica e mais sustentável, na tomada de decisão para soluções de reabilitação não devem ser descartados outros fatores ambientais e avaliações como a emissão de gases poluentes, por exemplo. Só depois de uma análise global e ponderada se poderá dizer qual a melhor opção e solução. Assim como o aço se mostrou o material com pior desempenho no consumo de água, este permite reduzir significativamente a quantidade de material demolido e por consequência material novo, o que só por si representam vantagens ambientais e construtivas.

Finalmente, conclui-se que um trabalho de inspeção e diagnóstico, que visa intervir em edifícios antigos respeitando os sistemas estruturais e as técnicas construtivas existentes, tem um impacto positivo e significativo, não apenas na conservação do património construído, mas também na redução da pegada hídrica da intervenção realizada quando comparada com outros cenários.

7.2 PRINCIPAIS DIFICULDADES

Na área da construção civil, começa-se a desenvolver um maior interesse pela abordagem LCA para avaliar os impactos ambientais dos materiais e processos utilizados. No entanto, muitos desses estudos, ou pelo menos dos estudos encontrados, têm um maior foco principalmente nos aspetos ambientais, como a emissão de gases de efeito de estufa, consumo de energia e geração de resíduos. Nota-se, assim, alguma

negligência no que diz respeito à avaliação do consumo de água, tendo esta recebido menos atenção até agora quando comparado com outros impactes.

Ao longo do estudo, encontram-se ainda várias razões para os estudos de análises LCA focarem menos nos impactes relacionados com o consumo de água. Uma delas, é a complexidade de avaliar e quantificar o uso da água ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício, desde a extração à construção, manutenção e eventual demolição. O uso de água está presente em várias etapas do processo, incluindo a produção de materiais, limpeza de equipamentos e até mesmo o uso diário por trabalhadores, que neste caso não foi considerado de modo a não influenciar negativamente os dados por especulação.

Além disso, a falta de dados confiáveis e métodos padronizados para avaliar o consumo de água na construção civil também pode contribuir para a falta de foco nesse sentido. Como é possível ver neste estudo, em duas regiões similares, os valores obtidos para a produção de materiais de construção foi completamente distinta como é o caso dos estudos realizados por Hosseinian e Nezamoleslami (2016) e Heravi e Abdolvand (2019), no Irão. Isto torna mais difícil realizar comparações consistentes entre diferentes estudos e estabelecer diretrizes claras para reduzir o impacte da água na construção.

Portanto, é necessário um esforço conjunto da comunidade académica, indústria e órgãos reguladores para desenvolver métodos robustos de avaliação da pegada hídrica.

7.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Uma vez que já existem bases de dados na empresa com outros indicadores ambientais é possível agora agrupar todos e criar uma ferramenta que permita de o ponto de vista ambiental dizer qual a melhor solução construtiva. Através desta ferramenta poderia ser possível tentar encontrar uma relação benéfica e adequada entre a madeira, aço e betão armado apresentando a relação entre materiais com menor pegada ambiental e por consequência mais benéfica ou menos prejudicial para o meio ambiente.

Mais, é interessante do ponto de vista deste estudo relacionar no caso das intervenções do cenário 1 com maior grau de intrusividade a quantidade de aço usada e a quantidade de material demolido e material que se optou por manter. O aço representou do ponto de vista do consumo de água o material com maior pegada hídrica, no entanto a pegada ambiental foi apenas analisada com a quantidade de aço utilizada, sem olhar para os benefícios que este apresenta. Em inúmeras intervenções por ter sido usado aço foi possível manter uma série de recursos naturais já existentes, foi possível usar soluções mistas e em casos mais específicos foi possível tirar partido da flexibilidade ou intervalo de soluções que este permite utilizar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LNEC, CT 115 - **Eurocódigo 5: Projecto de estruturas de madeira**

AHMAD, Sohail; PUPPIM DE OLIVEIRA, Jose A. - Fuel switching in slum and non-slum households in urban India. **Journal of Cleaner Production**. . ISSN 09596526. 94:2015) 130–136. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.072.

ALBA-RODRÍGUEZ, M^a Desirée *et al.* - Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review**. . ISSN 01959255. 66:June (2017) 115–126. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.002.

ALEKSANDROWICZ, Marta *et al.* - Restoration of the response of the middle cerebral artery of the rat to acidosis in hyposmotic hyponatremia by the opener of large-conductance calcium sensitive potassium channels (BKCa). **Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism**. . ISSN 15597016. 37:9 (2017) 3219–3230. doi: 10.1177/0271678X16685575.

ALLAN, Tony - Proceedings of the Conference. **International Review of the Red Cross**. . ISSN 0020-8604. 33:296 (1993) 368–376. doi: 10.1017/s0020860400081924.

ALMEIDA, C. *et al.* - Caracterização Geométrica E Mecânica De Paredes Em. 2010) 1–44.

ANAND, Chirjiv Kaur; AMOR, Ben - Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 18790690. 67:2017) 408–416. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.058.

ANSORGE, Libor - Net consumption method does not provide helpful insights regarding the blue water footprint of hydroelectricity. **Ecological Indicators**. . ISSN 1470160X. 126:April (2021) 107681. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107681.

ANTÓNIO ARÊDE; ANÍBAL COSTA - INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL DE CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS Algumas contribuições da FEUP ANTÓNIO ARÊDE. 2012) 55–88.

APPLETON, João - **Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção**. 1^a Edição ed. [S.l.] : Edições ORION, 2003

ARDENTE, Fulvio *et al.* - Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit

actions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 13640321. 15:1 (2011) 460–470. doi: 10.1016/j.rser.2010.09.022.

BAI, Xuemei *et al.* - Health and wellbeing in the changing urban environment: Complex challenges, scientific responses, and the way forward. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. . ISSN 18773435. 4:4 (2012) 465–472. doi: 10.1016/j.cosust.2012.09.009.

BARDHAN, S. - Assessment of water resource consumption in building construction in India. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**. . ISSN 17433541. 144:2011) 93–101. doi: 10.2495/ECO110081.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, Ricardo - **Life-cycle analysis of buildings: environmental impact of building elements**. ISBN 978-989-96543-3-4.

BUYLE, Matthias; BRAET, Johan; AUDENAERT, Amaryllis - Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 13640321. 26:2013) 379–388. doi: 10.1016/j.rser.2013.05.001.

COSTA, Alexandre A. - Estruturas de Madeira e Alvenaria Parte 1 – Estruturas de Madeira (Apontamentos de apoio 2015/2016). **Apontamentos de apoio 2015/2016**. 2015) 1–60.

COSTA, Aníbal; ARÊDE, António - Inspeção e Avaliação Estrutural De Construções Históricas- Algumas Contribuições da FEUP. **Seminário Segurança e Reabilitação das Pontes em Portugal**. 2009) 55–88.

DELNAVAZ, Mohammad *et al.* - Production of concrete using reclaimed water from a ready-mix concrete batching plant: Life cycle assessment (LCA), mechanical and durability properties. **Journal of Building Engineering**. . ISSN 23527102. 45:September 2021 (2022) 103560. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103560.

DUARTE, A. - Impacto das alterações climáticas na gestão da água. **Revista águas e resíduos**. III:2 (2007) 58–73.

FERNANDES, João - Manual de reabilitação, um instrumento de salvaguarda do património urbano. **Universidade de Coimbra**. Coimbra, Portugal (2013) 1–160.

HERAVI, Gholamreza; ABDOLVAND, Mohammad Mehdi - Assessment of water consumption during production of material and construction phases of residential building projects. **Sustainable Cities and Society**. . ISSN 22106707. 51:July (2019) 101785. doi: 10.1016/j.scs.2019.101785.

HOSSEINIAN, S. Mahdi; GHAHARI, S. Mozhdah - The relationship between structural parameters and water footprint of residential buildings. **Journal of Cleaner Production**. . ISSN 09596526. 279:2021) 123562. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123562.

HOSSEINIAN, S. Mahdi; NEZAMOLESLAMI, Reza - Water footprint and virtual water assessment in

cement industry: A case study in Iran. **Journal of Cleaner Production**. . ISSN 09596526. 172:2016) 2454–2463. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.164.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, IP-Portugal - Produtos de divulgação dos Resultados Definitivos dos Censos 2021. 2022).

IVANICA, Raphaela *et al.* - Development of a life cycle inventory database and life cycle impact assessment of the building demolition stage: A case study in Germany. **Journal of Cleaner Production**. . ISSN 09596526. 338:August 2021 (2022) 130631. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130631.

MARCELLA RUSCHI, S. *et al.* - Operational and embodied impact assessment as retrofit decision-making support in a changing climate. **11th Windsor Conference on Thermal Comfort****11th Windsor Conference on Thermal Comfort**. May (2020) 936–948.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. - National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. . ISSN 18122116. 8:1 (2011) 763–809.

MIRANDA, João - Reabilitação Estrutural de um Edifício Antigo. 2014).

NALLAPERUMA, Bhagya *et al.* - Sustainable Water Consumption in Building Industry: A Review Focusing on Building Water Footprint. **Lecture Notes in Civil Engineering**. . ISSN 23662565. 266:2023) 799–810. doi: 10.1007/978-981-19-2886-4_56.

NCREP - Memória Descritiva e Condições Técnicas, 2023.

NP EN 1990: 2009 - Norma Portuguesa - Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas. **Instituto Português da Qualidade**. 1999:2009) 88.

NP EN 1991-1-1 - Eurocódigo 1 – Ações em estruturas – Parte 1-1: Ações gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifício. **Library**. 2001:2009) 1–71.

PEIXOTO DE FREITAS, Vasco *et al.* - **Manual de apoio ao projeto de reabilitação de edifícios antigos**. Ordem dos ed. Porto : [s.n.]

PEREIRA NEIVA, Hugo Filipe - Hugo Filipe Neiva Pereira Desenvolvimento da Declaração Ambiental do Produto (DAP) do Bloco de Terra Comprimida (BTC) Universidade do Minho Escola de Engenharia. 2017).

PUETTMANN, Maureen E.; WILSON, James B. - Gate-to-gate life-cycle inventory of glued-laminated timbers production. **Wood and Fiber Science**. . ISSN 07356161. 37:Corrim 2001 (2005) 99–113.

RISCH, Eva *et al.* - How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment?: Application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. **Water Research**. . ISSN 18792448. 57:2014) 20–30. doi: 10.1016/j.watres.2014.03.023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RIVERO-CAMACHO, Cristina; MARTÍN-DEL-RÍO, Juan Jesús; MARRERO-MELÉNDEZ, Madelyn - Evolution of the life cycle of residential buildings in Andalusia: Economic and environmental evaluation of their direct and indirect impacts. **Sustainable Cities and Society**. . ISSN 22106707. 93:March (2023) 104507. doi: 10.1016/j.scs.2023.104507.

SAMPAIO, Luís - A sustentabilidade na reabilitação de um edifício habitacional – caso de estudo. 2017).

SHARMA, Aashish *et al.* - Life cycle assessment of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 13640321. 15:1 (2011) 871–875. doi: 10.1016/j.rser.2010.09.008.

SILVA, Renata - **Inspeção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural**

SILVA, Renata *et al.* - Advantages of structural inspection and diagnosis for traditional buildings' refurbishment: A Life Cycle Assessment perspective. **Building and Environment**. Porto. . ISSN 03601323. 223:2022). doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109485.

SILVA SOARES, Jorge Miguel - Inspeção, Diagnóstico e Projeto no Âmbito da Reabilitação Estrutural. 2016).

SOUSA, Inês Filipa Nunes De - Princípios da Reabilitação de Edifícios. Aplicação a casos de estudo. **Instituto Superior de Engenharia de Lisboa**. 2016) 94–99. doi: 10.14257/astl.2016.134.16.

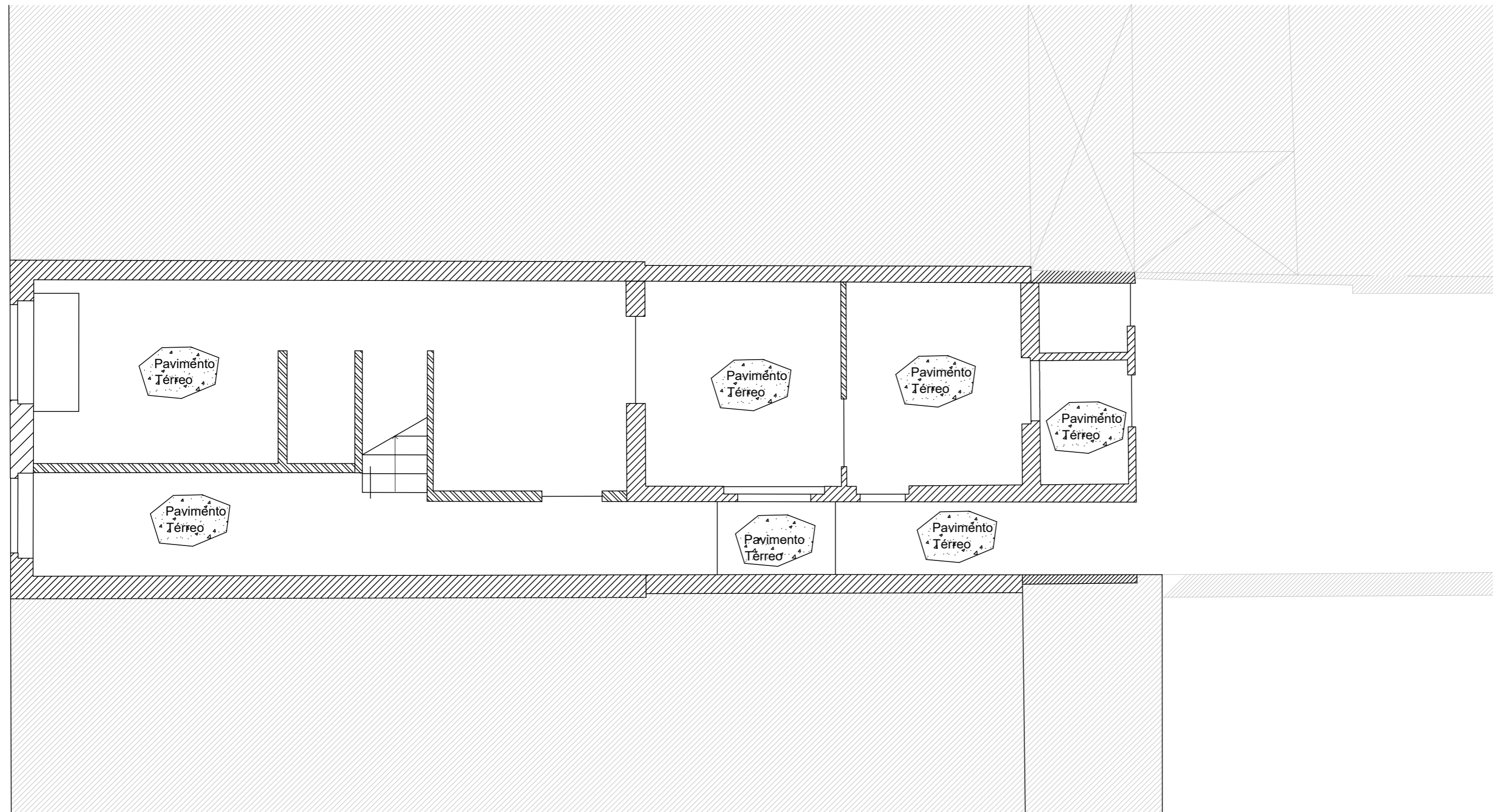
WÄRMARK, Katarina - Assessment of water footprint for civil construction projects Analys av vattenavtryck i anläggningsprojekt. 2015).

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - Time to Transform: Vision 2050. 2021) 1–118.

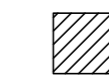




ANEXO I – CASA LEÇA DA PALMEIRA – PEÇAS DESENHADAS RID

Planta estrutural do Piso 0

Esc. 1:50



Legenda

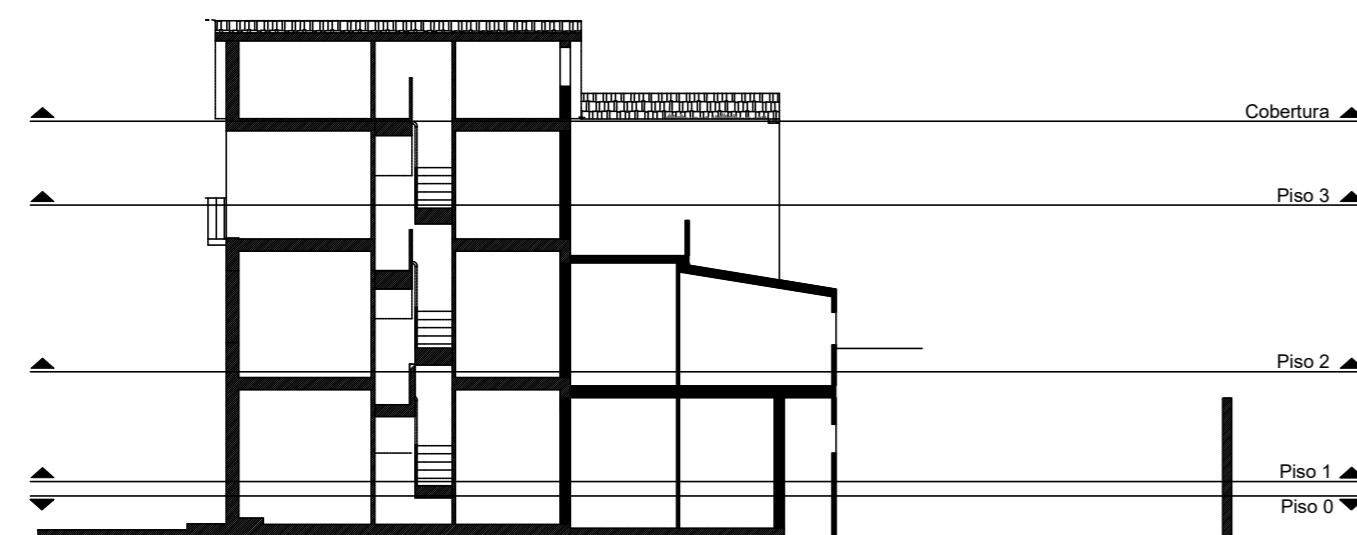
-  Parede de alvenaria de pedra
-  Parede de tabique
-  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
-  Elemento confirmado
-  Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



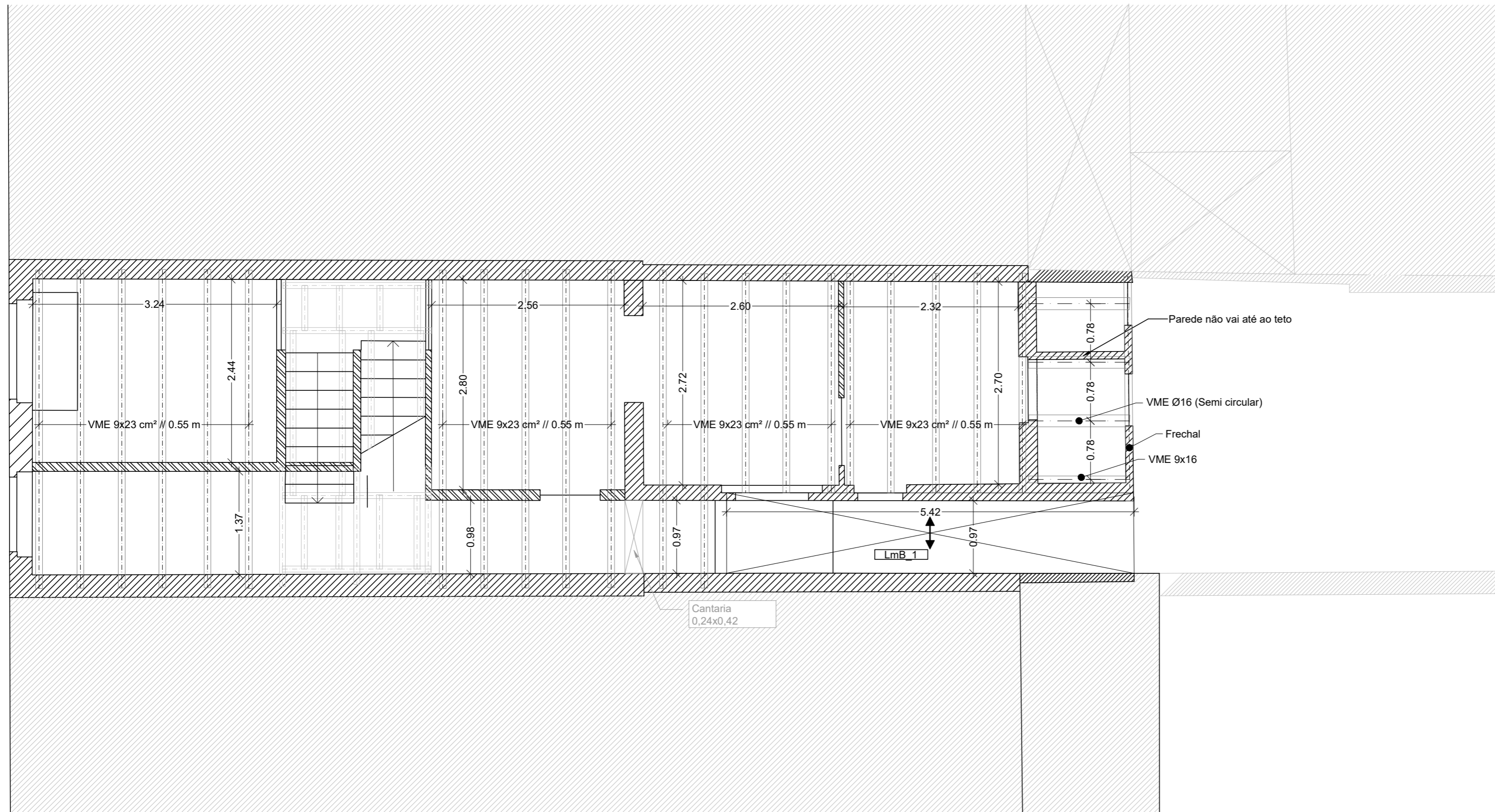
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023	RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Levantamento estrutural Planta estrutural do Piso 0	NCREP_2042P0222	1:50	01	-
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU	CONSULTORIA
-	FA	JMG	JMG	EM REABILITAÇÃO DO BIFRANCO E PATRIMÓNIO

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Planta estrutural do Piso 1

Esc. 1:50



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

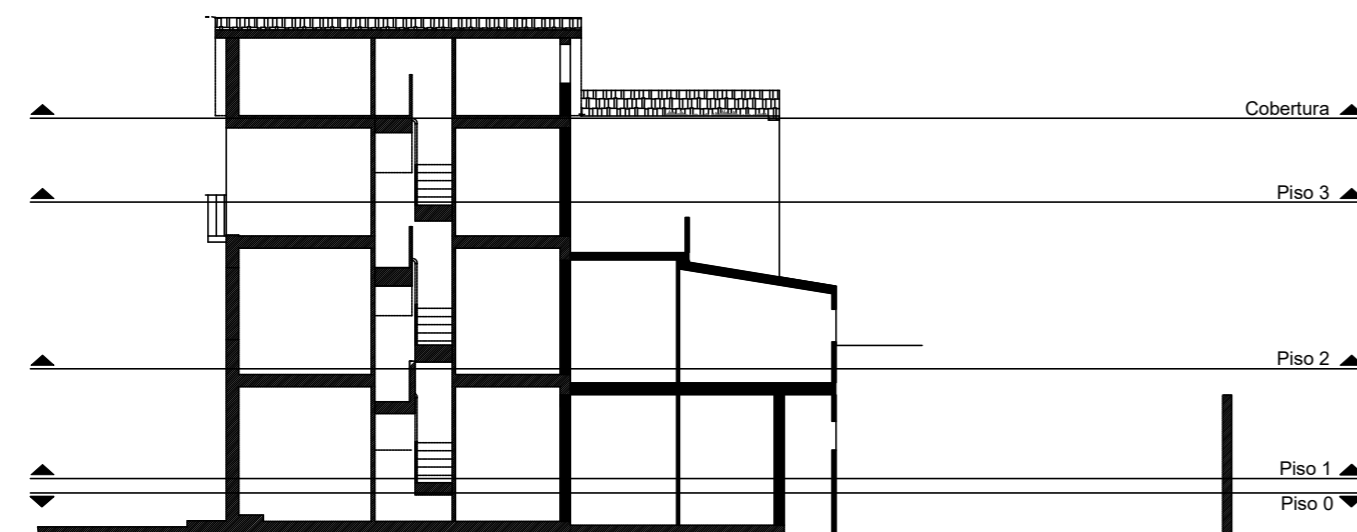
ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VB - Viga em betão armado existente

- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



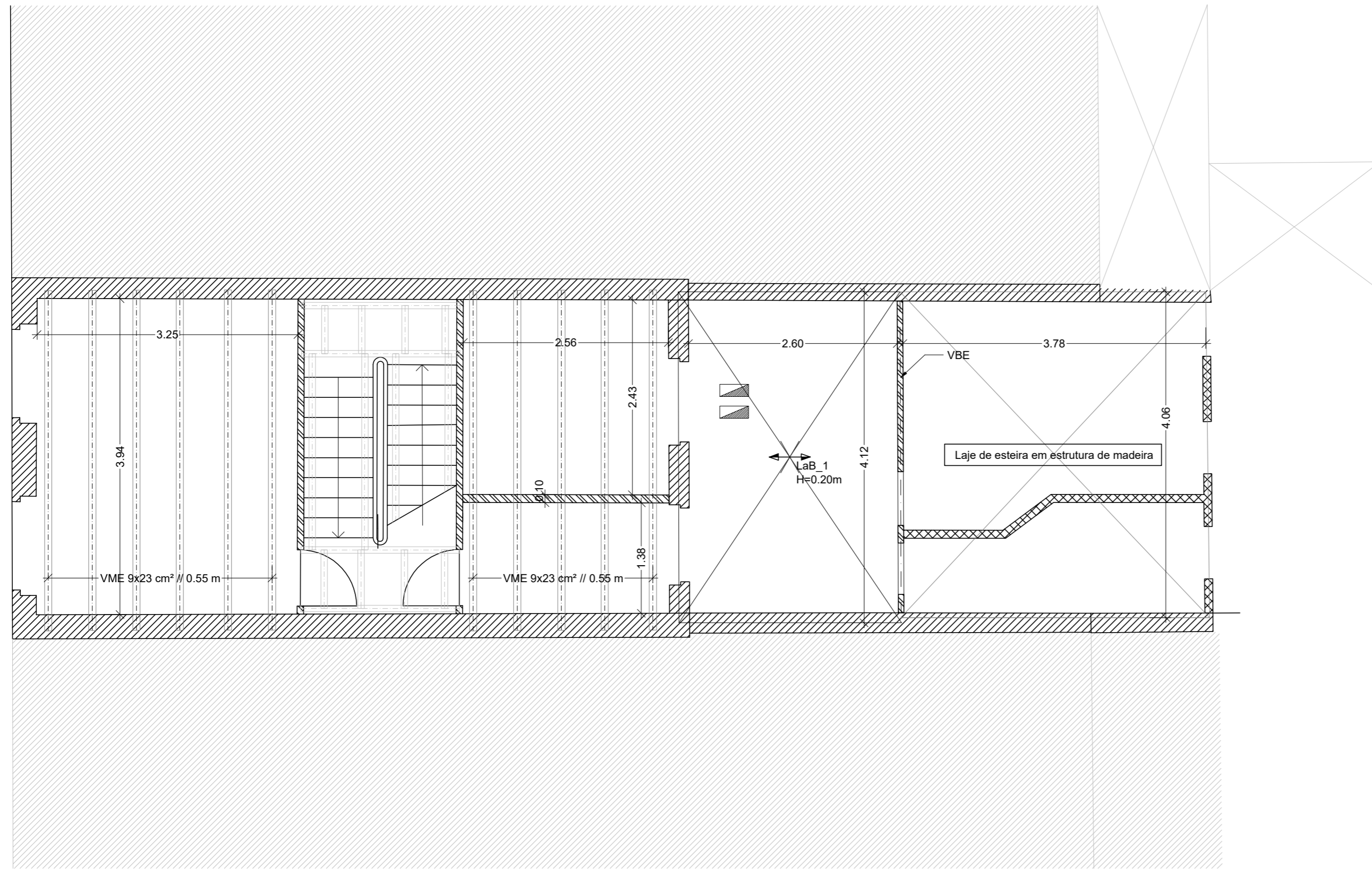
OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO Levantamento estrutural Planta estrutural do Piso 1	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 02	REV. N.º -
PROJECTO -	DESENHO FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Planta estrutural do Piso 2

Esc. 1:50

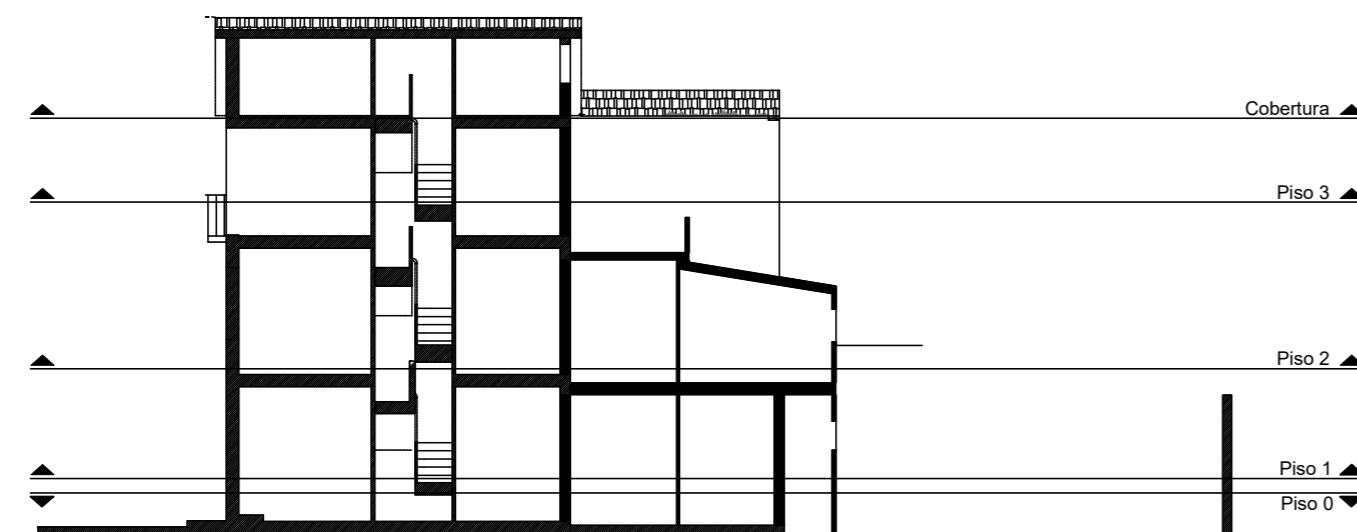


Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
 - Parede de tabique
 - Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
 - Elemento confirmado
 - Elemento não confirmado
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:**
 VM - Viga de madeira
 VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
 LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



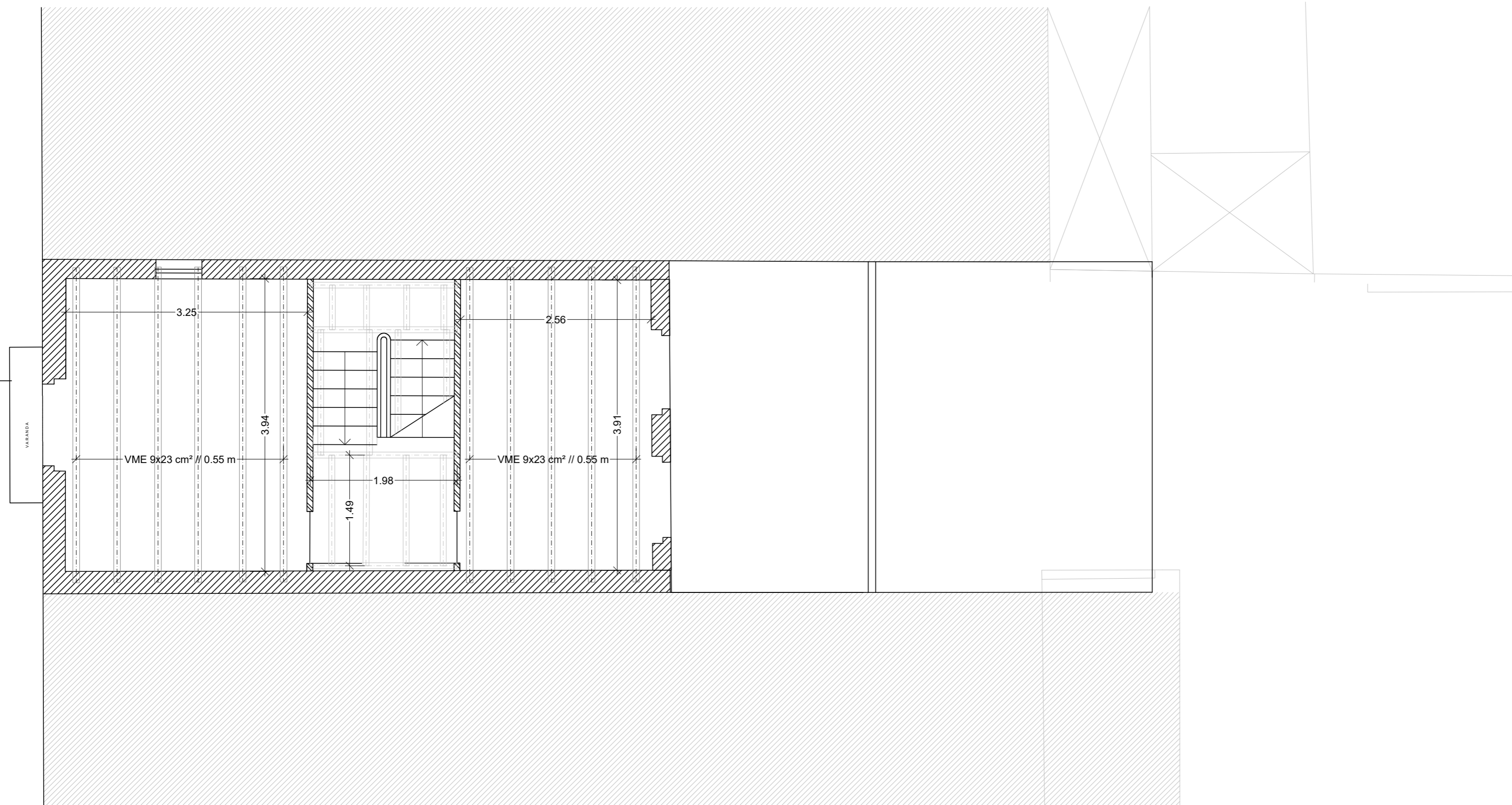
OBRA		DATA		FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023		RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural					
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º	
Levantamento estrutural Planta estrutural do Piso 2	NCREP_2042P0222	1:50	03	-	
PROJECTO	DESENHO	APROVOU	VERIFICOU		
-	FA	JMG	JMG		

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Planta estrutural do Piso 3

Esc. 1:50



Legenda

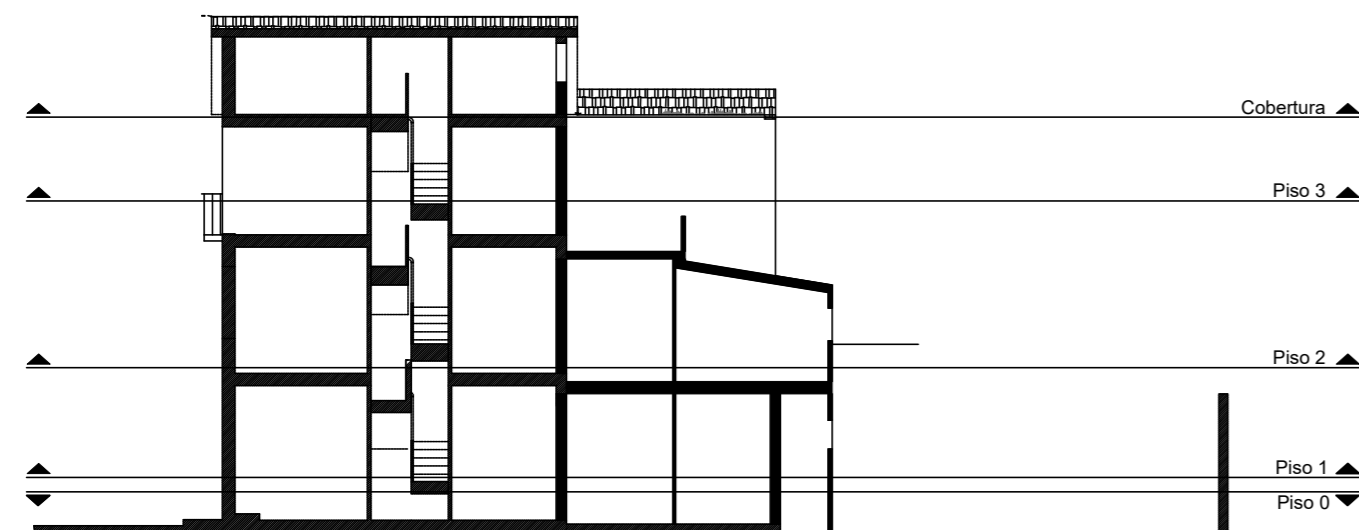
- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala

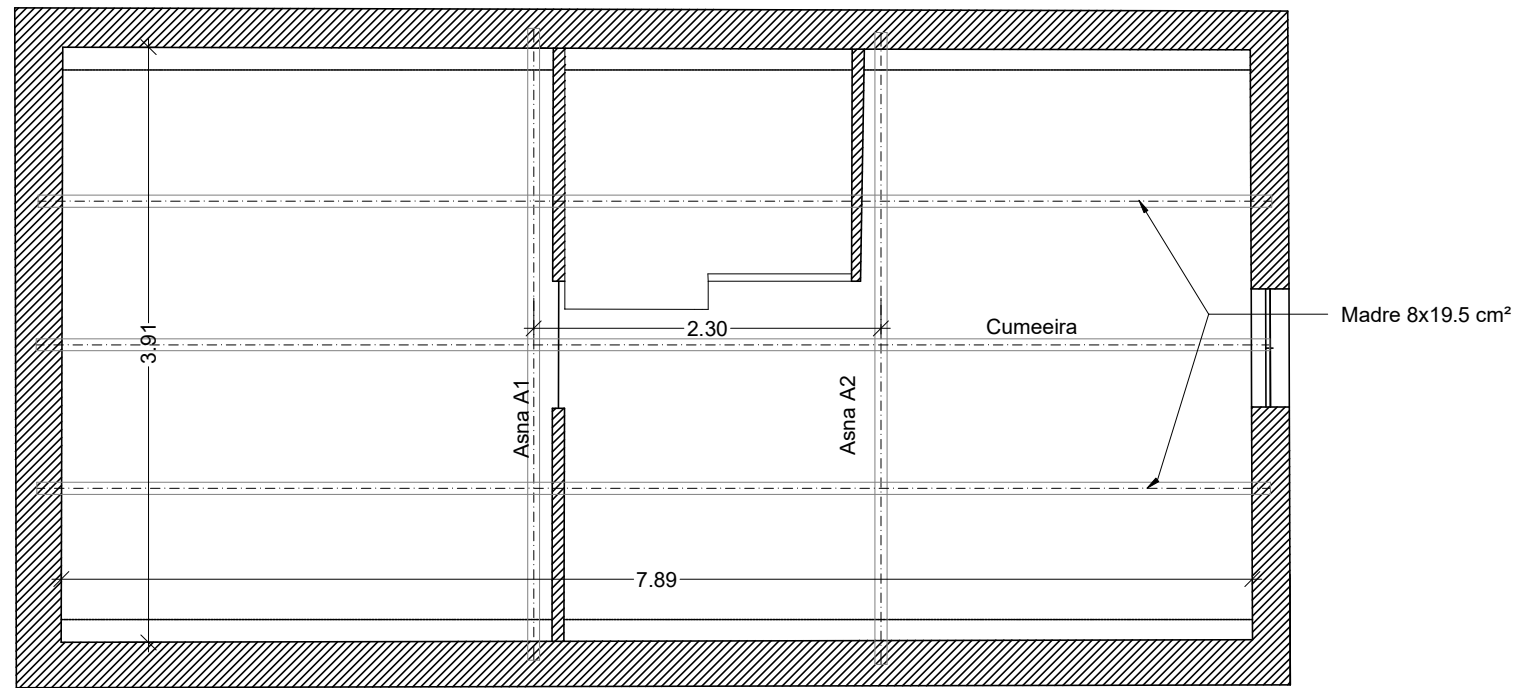


OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 04
DESIGNAÇÃO Levantamento estrutural Planta estrutural do Piso 3	DESENHOU FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	REV. N.º -
PROJECTO -	DESENHOU FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO BIFRANCO E PATRIMÓNIO NCREP






Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.

Planta estrutural da Cobertura

Esc. 1:50



Legenda

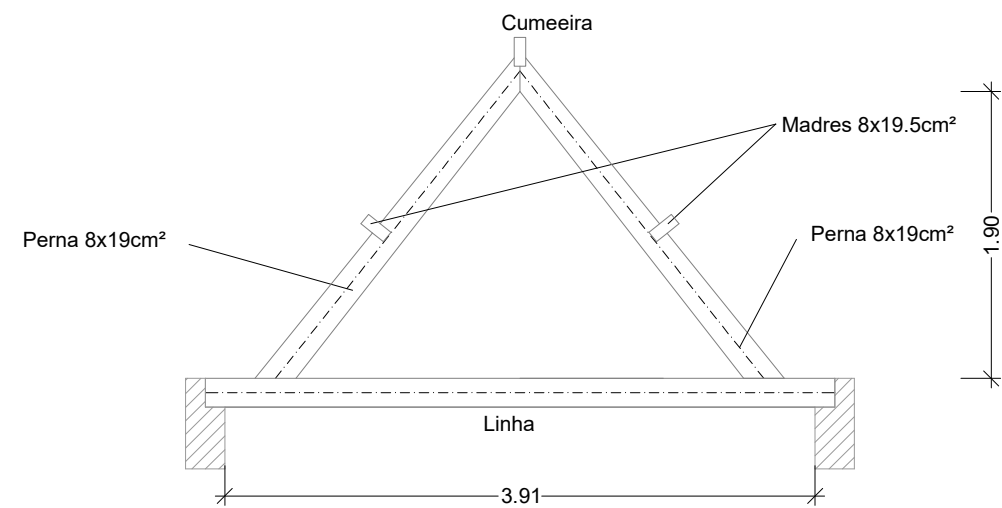
-  Parede de alvenaria de pedra
-  Parede de tabique
-  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
-  Elemento confirmado
-  Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

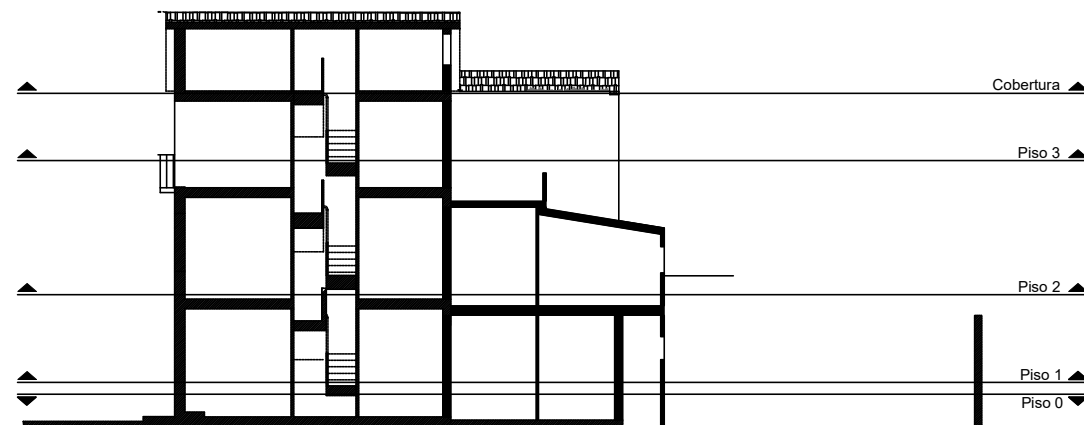
Alçado Asnas A1 e A2

Esc. 1:50



Nível de corte das plantas estruturais

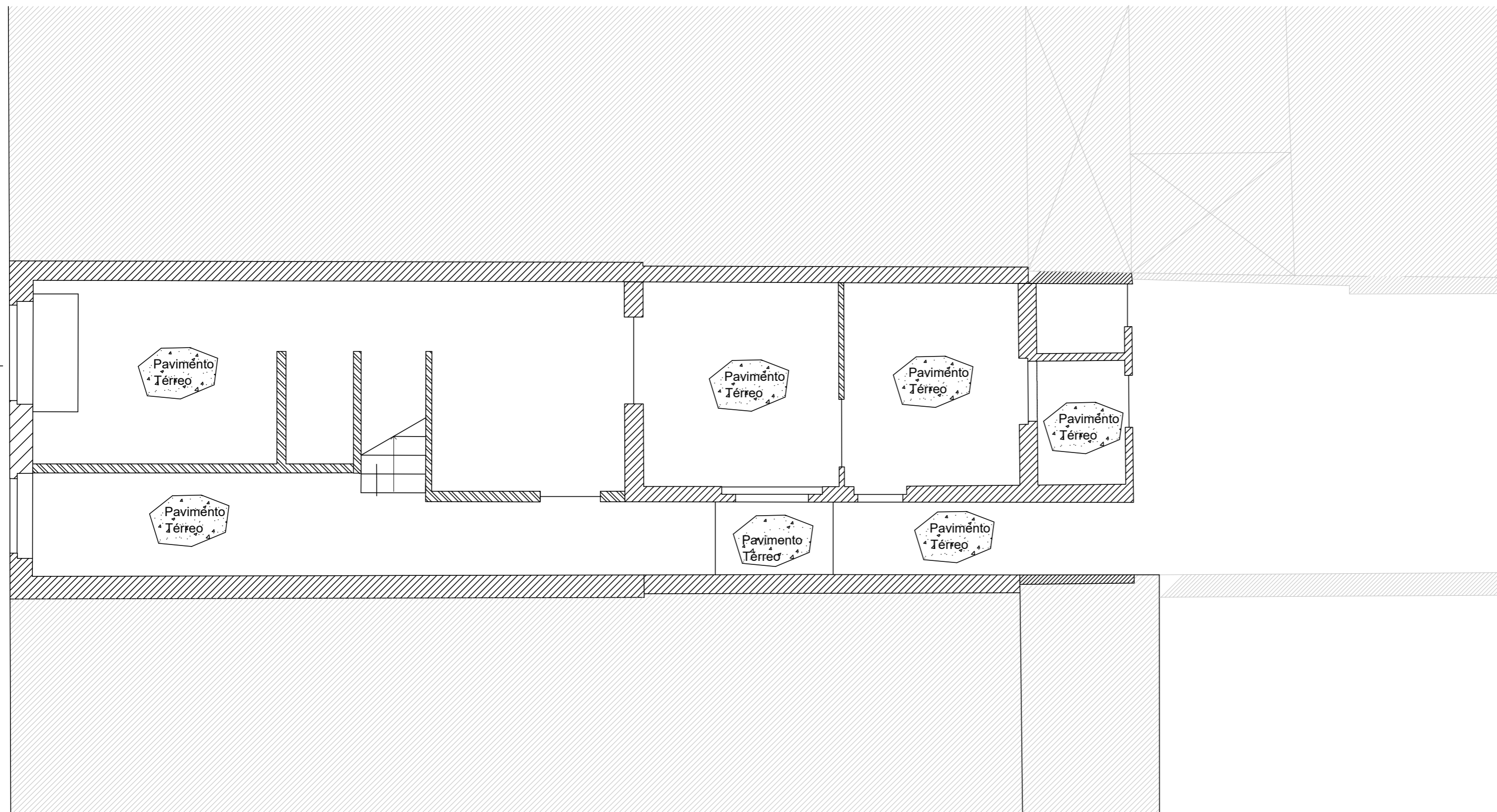
Sem escala



OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023	RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Levantamento estrutural Cobertura	NCREP_2042P0222	1:50	05	
PROJECTOU	DESENHO	APROVOU	VERIFICOU	
-	FA	JMG	JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.







Legenda

-  Parede de alvenaria de pedra
-  Parede de tabique
-  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
-  Elemento confirmado
-  Elemento não confirmado



ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VBi - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Legenda dos ensaios *in-situ*:

-  ERI - Ensaio com o Resistógrafo
-  JSI - Janela de Sonadagem

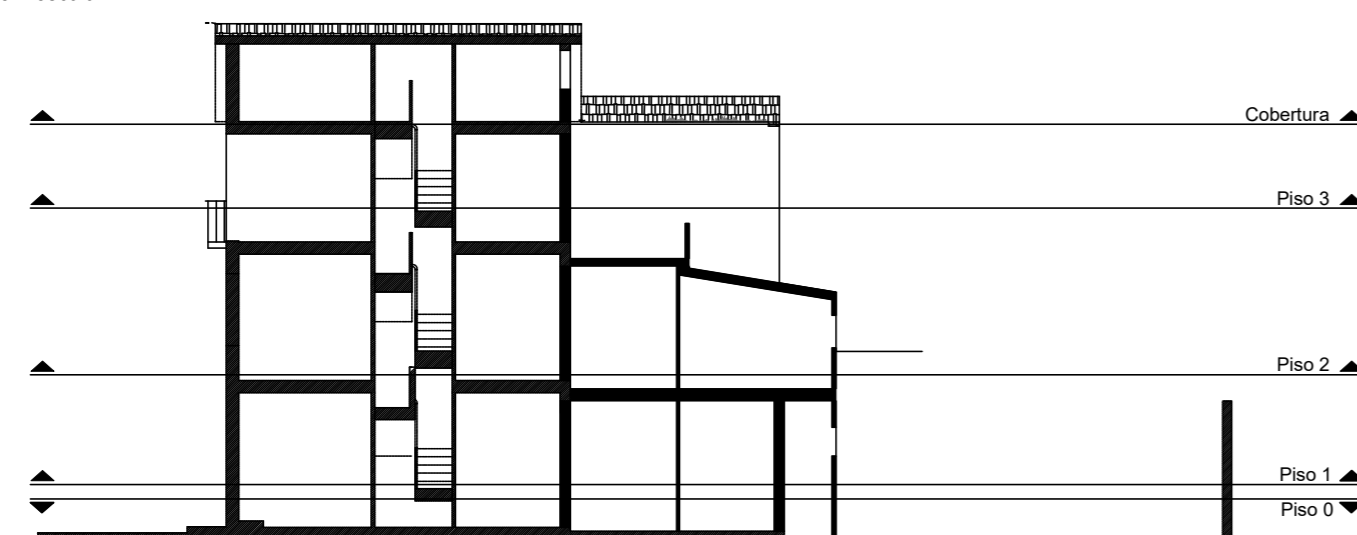
Legenda

-  Danos em elementos verticais
-  Danos em elementos horizontais e inclinados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Humidade (Face Inferior)	B1

Nível de corte das plantas estruturais

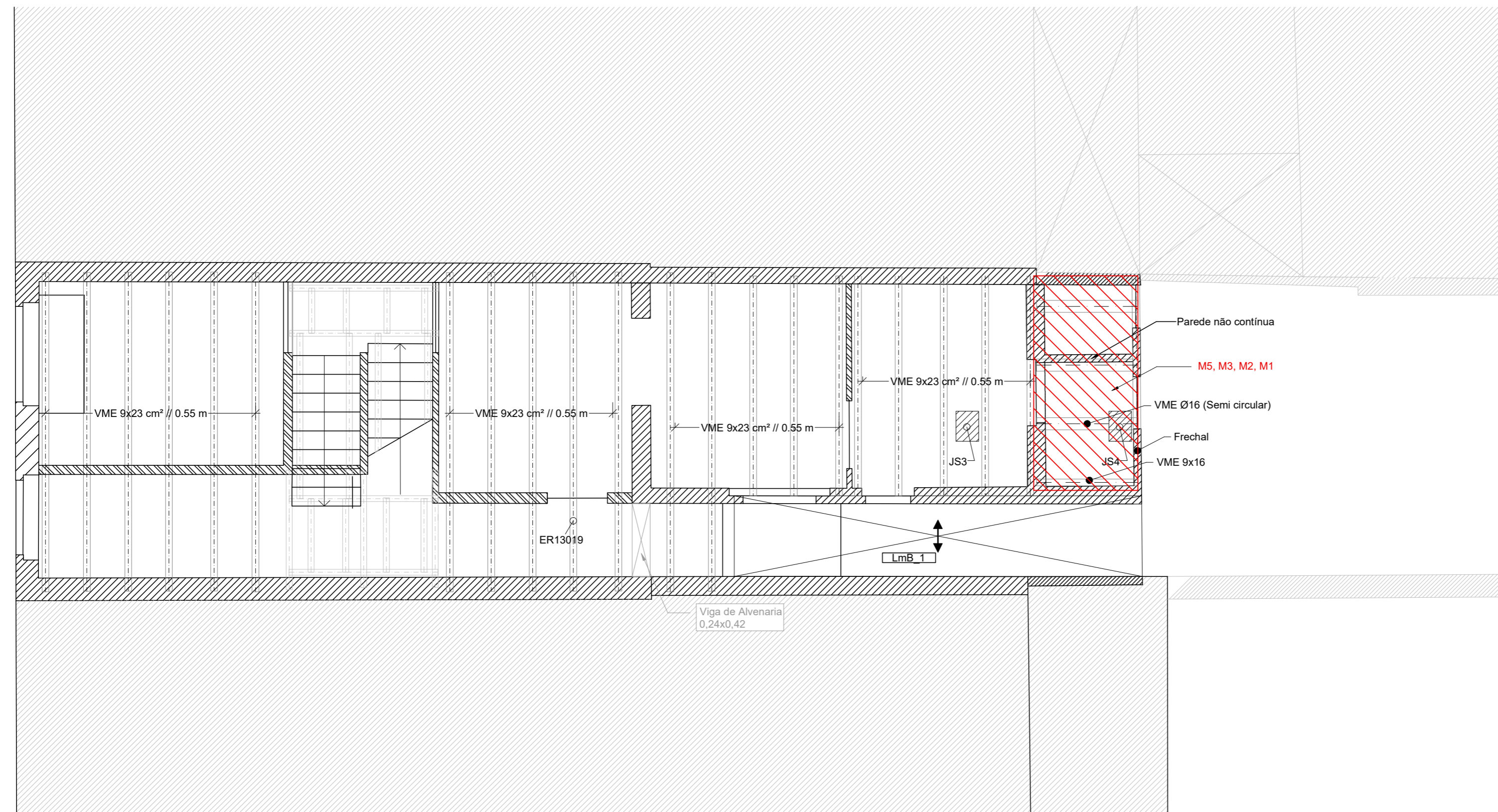
Sem escala



OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
DESIGNAÇÃO Mapeamento de danos Planta estrutural Piso 0	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 06	REV. N.º
PROJECTOU -	DESENHOU FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.





Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VM - Viga de madeira
- VBi - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Legenda dos ensaios *in-situ*:

- ERI - Ensaio com o Resistógrafo
- JSi - Janela de Sonadagem

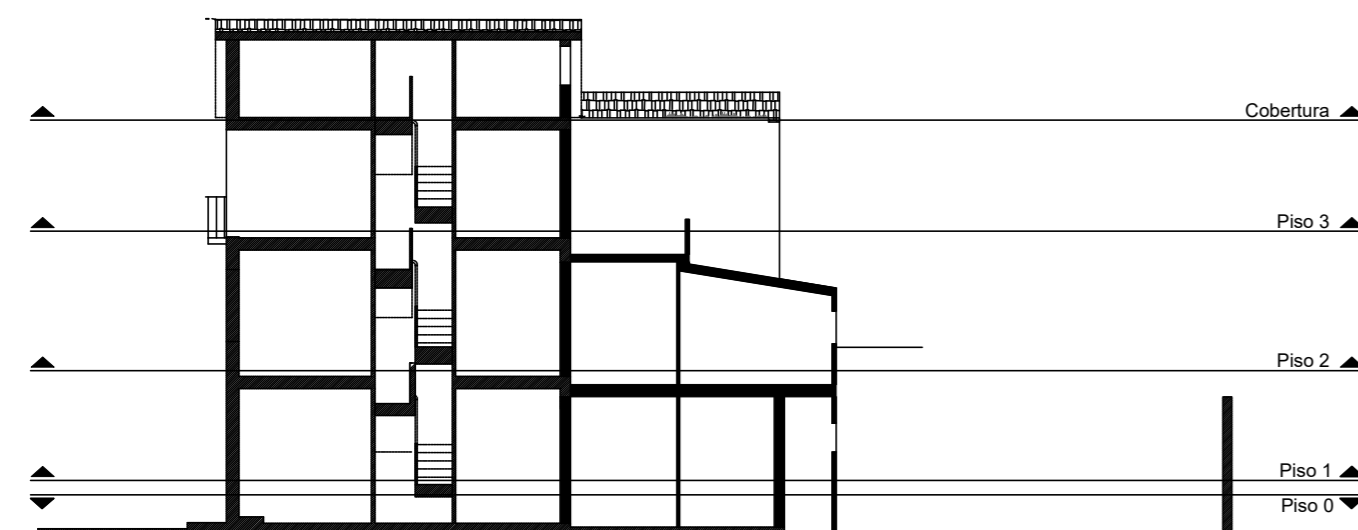
Legenda

- Danos em elementos verticais
- Danos em elementos horizontais e inclinados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Humidade (Face Inferior)	B1

Nível de corte das plantas estruturais

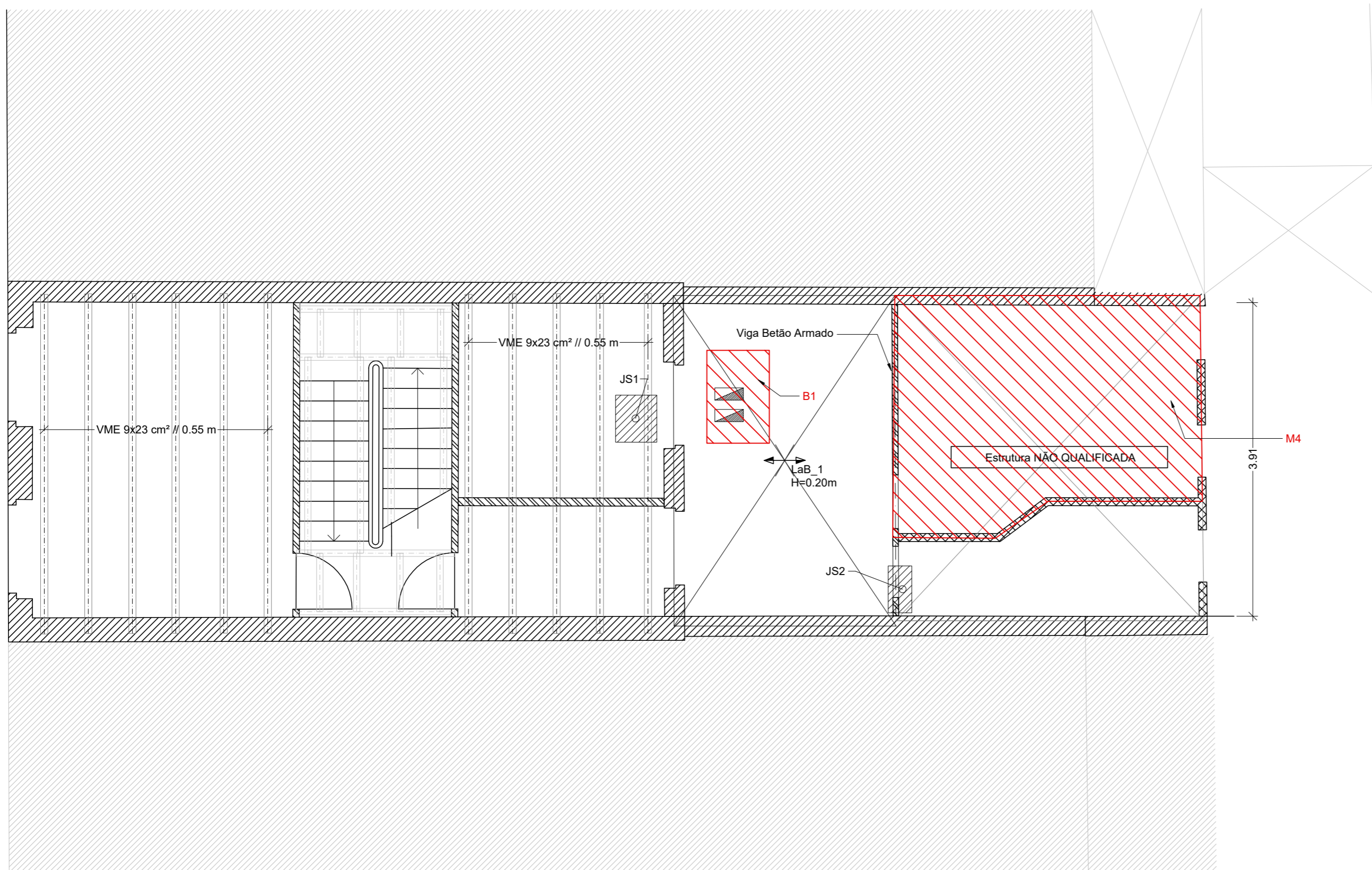
Sem escala



OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
DESIGNAÇÃO Mapeamento de danos Planta estrutural Piso 1	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 07	REV. N.º
PROJECTOU -	DESENHOU FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.





Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
 VM - Viga de madeira
 VB_i - Viga em betão armado existente

LmB_i - Laje maciça em betão armado
 LaB_i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Legenda dos ensaios *in-situ*:

- ER_i - Ensaios com o Resistógrafo
- JS_i - Janela de Sonadagem

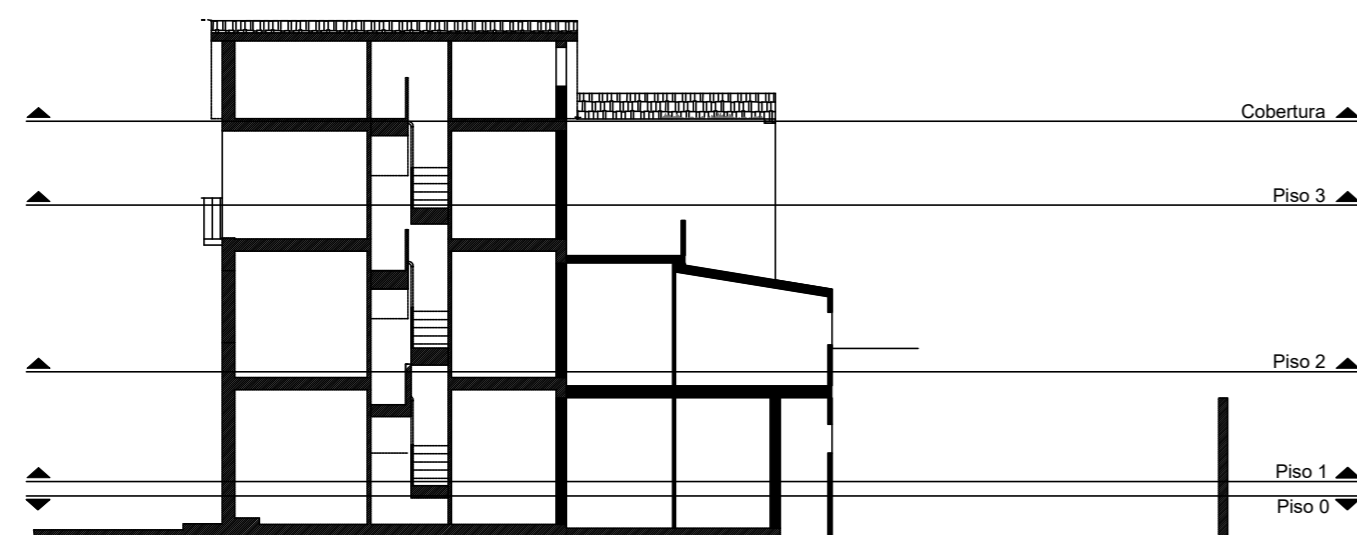
Legenda

- Danos em elementos verticais
- Danos em elementos horizontais e inclinados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Húmidade (Face Inferior)	B1

Nível de corte das plantas estruturais

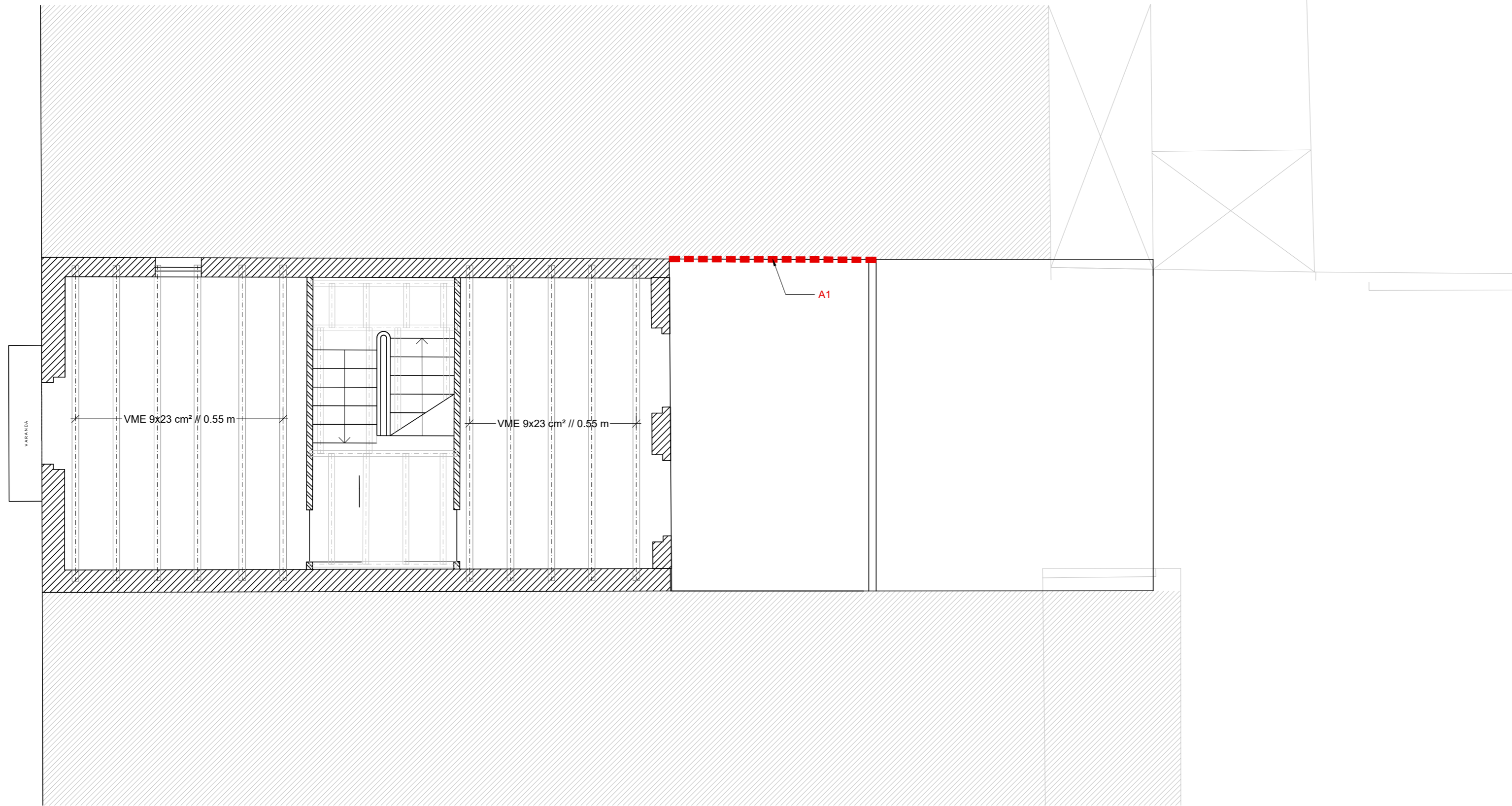
Sem escala



OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID
DESIGNAÇÃO Mapeamento de danos Planta estrutural Piso 2	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 08
PROJECTO -	DESENHO FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.





Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VMi - Viga de madeira
- VBi - Viga em betão armado existente

- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Legenda dos ensaios *in-situ*:

- ERI - Ensaio com o Resistógrafo
- JSi - Janela de Sonadagem

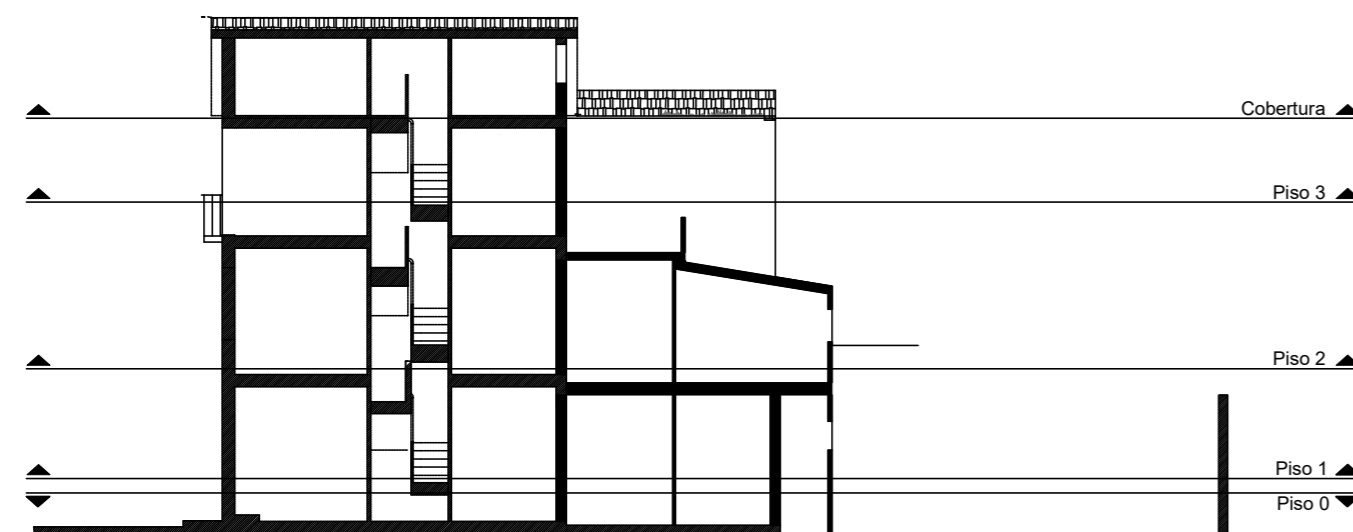
Legenda

- Danos em elementos verticais
- Danos em elementos horizontais e inclinados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Húmidade (Face Inferior)	B1

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



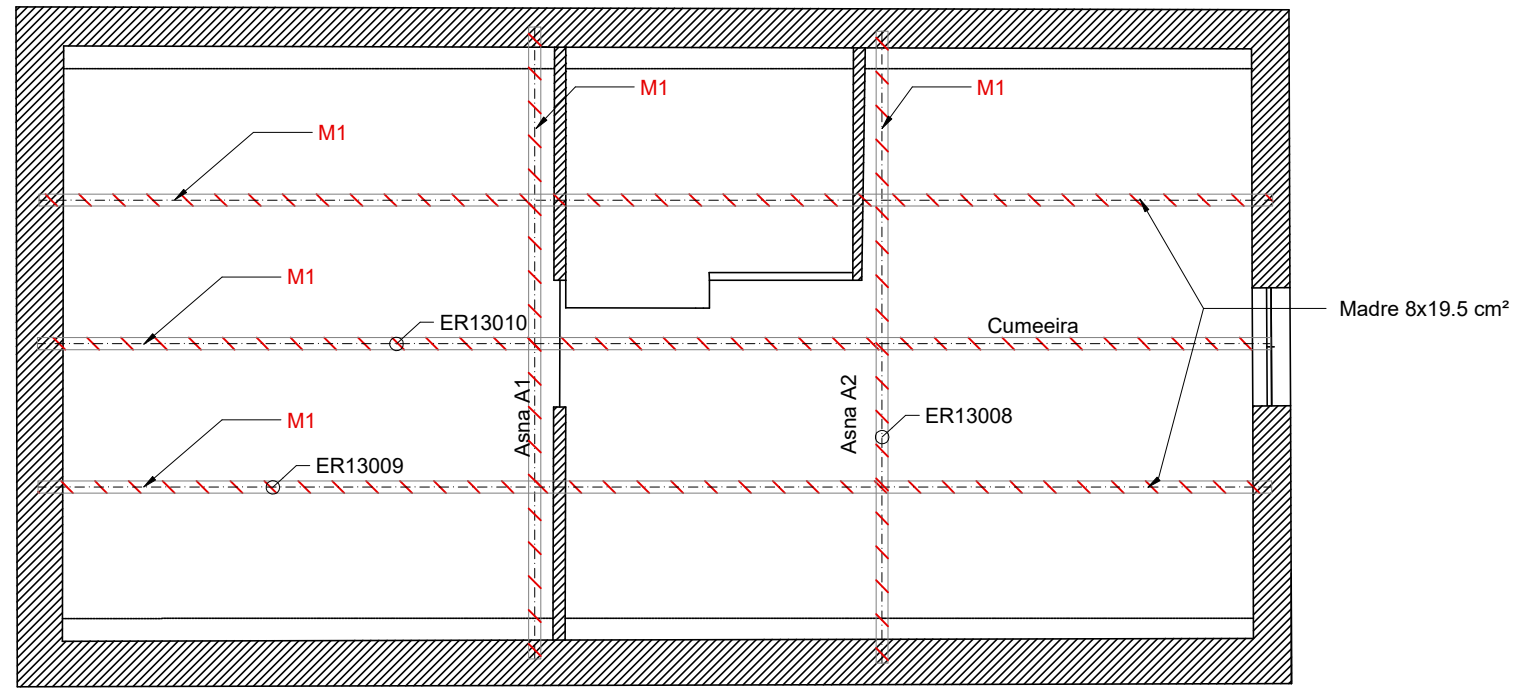
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023	RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapeamento de danos Planta estrutural Piso 3	NCREP_2042P0222	1:50		09
PROJECTO	DESENHO	APROVOU	VERIFICOU	
-	FA	JMG	JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Inspeção e Diagnóstico | Cobertura

Esc. 1:50



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Parede de tabique
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

VM - Viga de madeira

VBi - Viga em betão armado existente

LmB i - Laje maciça em betão armado

LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

Legenda dos ensaios *in-situ*:

ERI - Ensaio com o Resistógrafo

JSi - Janela de Sonadagem

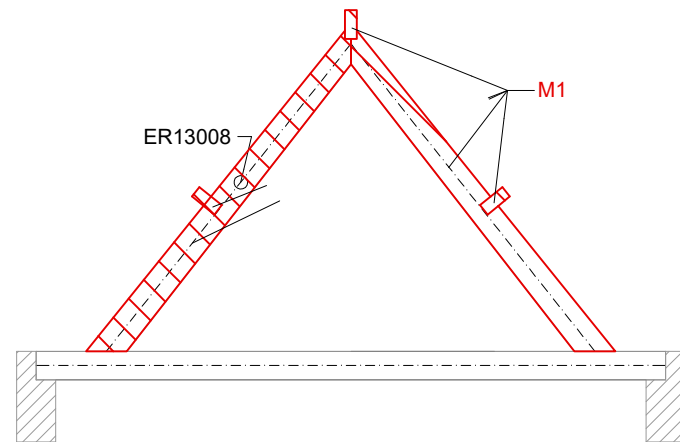
Legenda

- Danos em elementos verticais
- Danos em elementos horizontais e inclinados

ELEMENTOS DE ALVENARIA	
Degradação com fissuração do reboco de revestimento	A1
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Degradação por ataque de insectos xilófagos (Caruncho)	M1
Degradação por ataque de insectos sociais (Térmitas)	M2
Humidade	M3
Deformação do teto/pavimento	M4
Rotura de elemento estrutural	M5
ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO	
Húmidade (Face Inferior)	B1

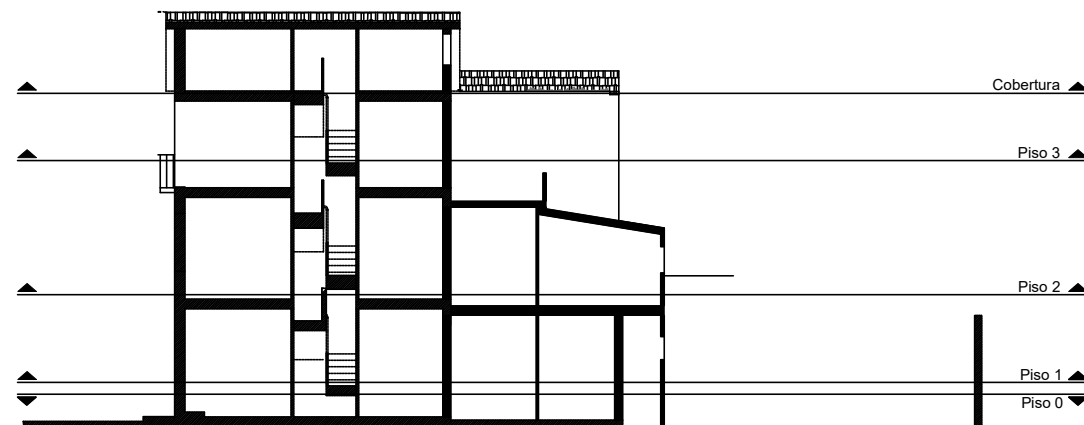
Inspeção e Diagnóstico | Asna A2

Esc. 1:50



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



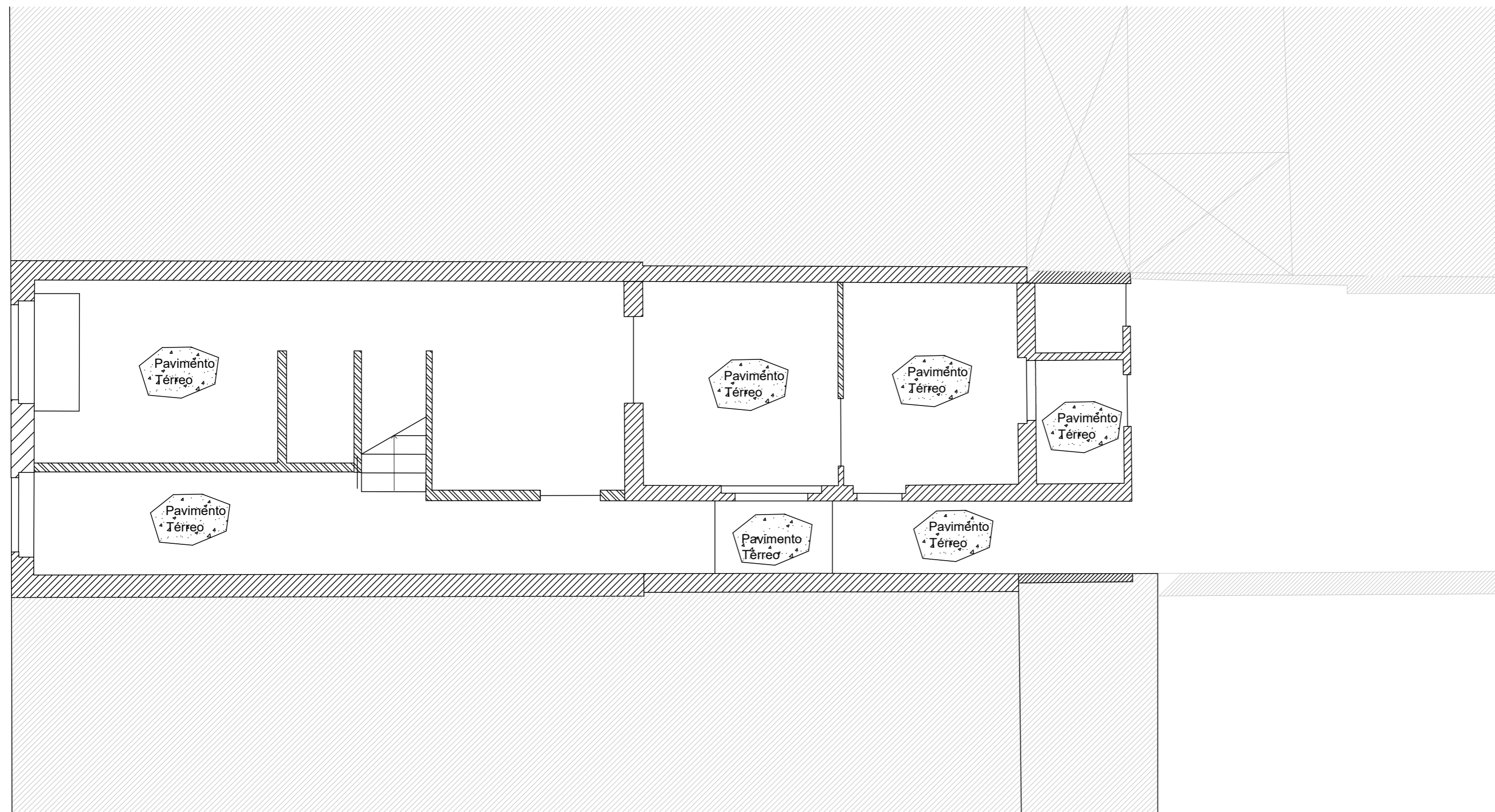
OBRA		DATA		FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023		RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural					
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º	
Mapeamento de danos Planta estrutural da Cobertura	NCREP_2042P0222	1:50	10		
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU		
-	FA	JMG	JMG		

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.











Sugestão de intervenção | Piso 0

Esc. 1:50



Legenda

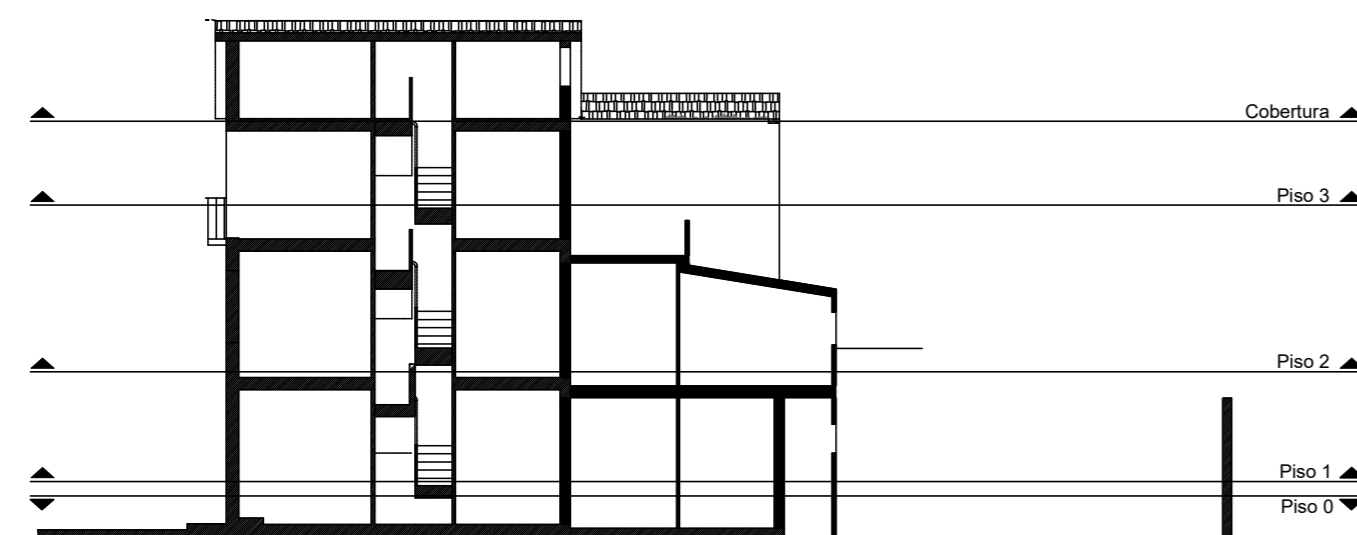
-  Parede de alvenaria de pedra
 -  Parede de tabique
 -  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
 -  Elemento confirmado
 -  Elemento não confirmado
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
 VM - Viga de madeira
 VB/- Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
 LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
	Manter elementos estruturais
	Substituição dos elementos de revestimento
	Substituição integral do(s) elemento(s) estruturais

Nota geral: Todos os elementos de madeira devem sofrer uma intervenção de proteção contra agentes bióticos

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



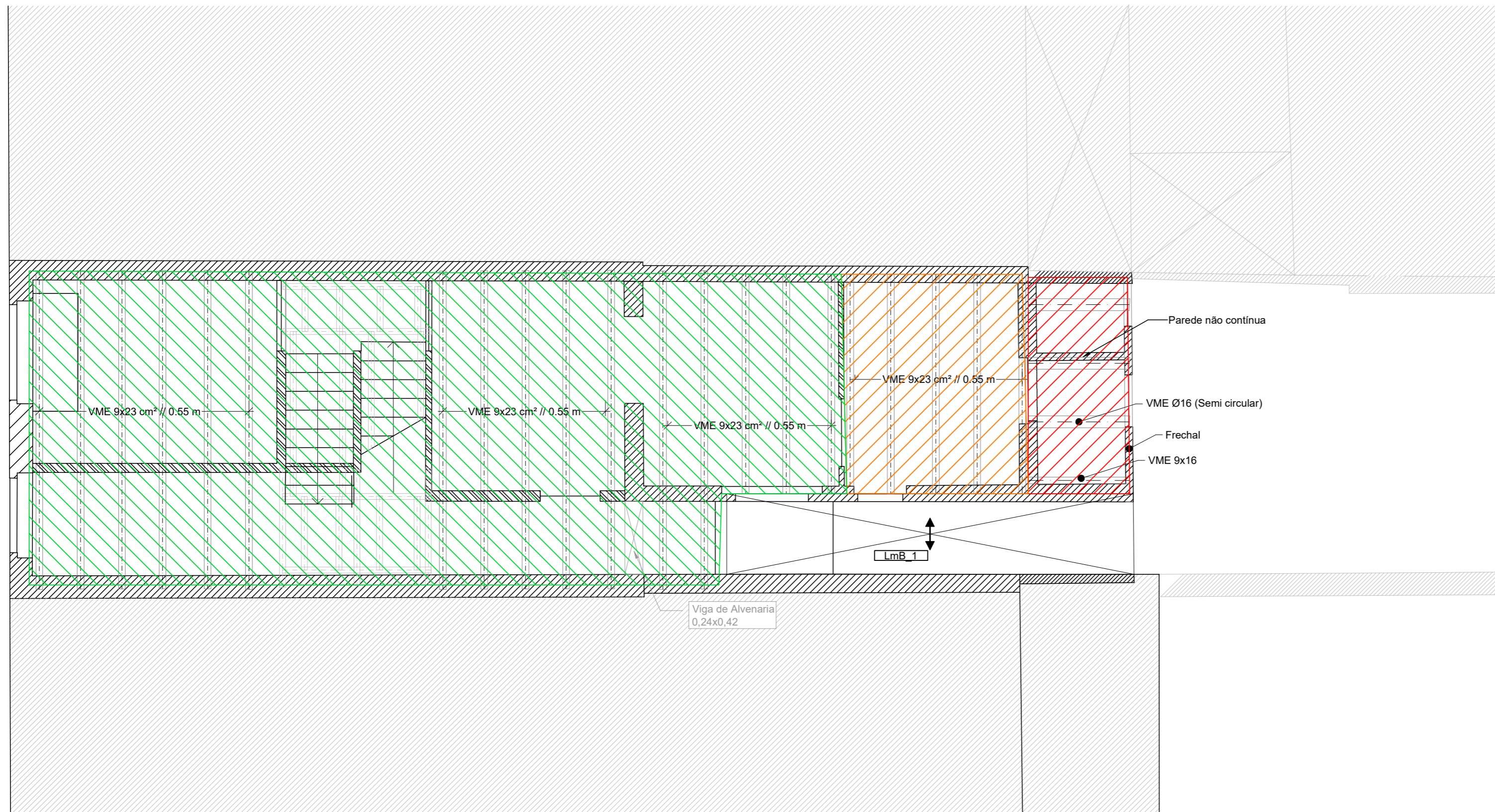
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023	RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural				
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Sugestão de intervenção Planta estrutural Piso 0	NCREP_2042P0222	1:50		11
PROJECTO	DESENHO	APROVOU	VERIFICOU	
-	FA	JMG	JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Sugestão de intervenção | Piso 1

Esc. 1:50



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
 - Parede de tabique
 - Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
 - Elemento confirmado
 - Elemento não confirmado
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:**
 VM - Viga de madeira
 VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
 LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

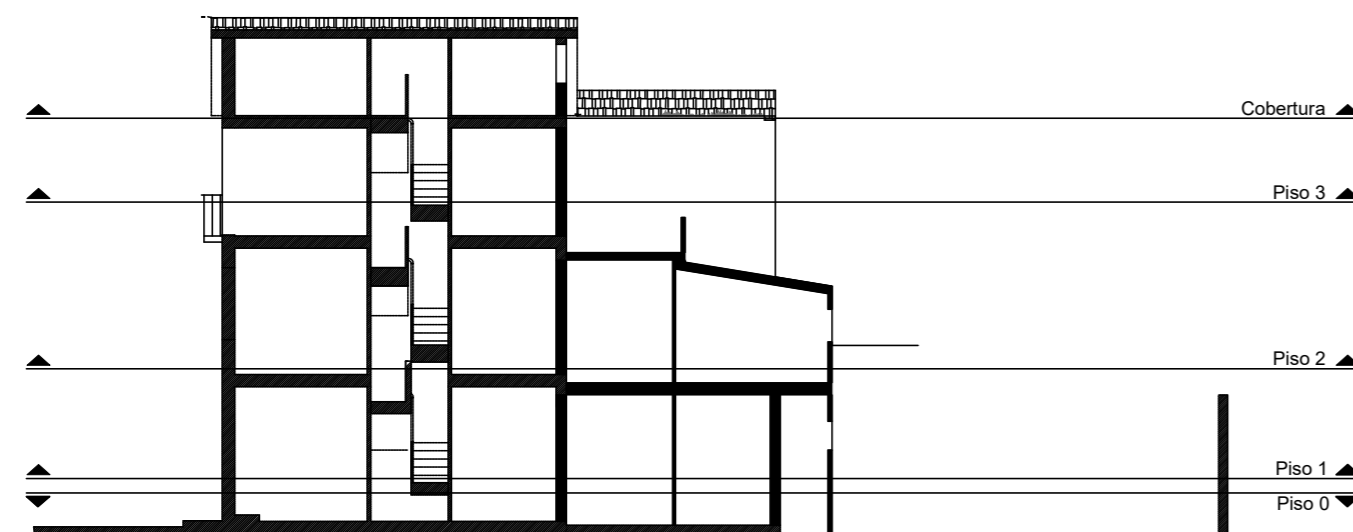
SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

- Manter elementos estruturais
- Substituição dos elementos de revestimento
- Substituição integral do(s) elemento(s) estruturais

Nota geral: Todos os elementos de madeira devem sofrer uma intervenção de proteção contra agentes bióticos

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



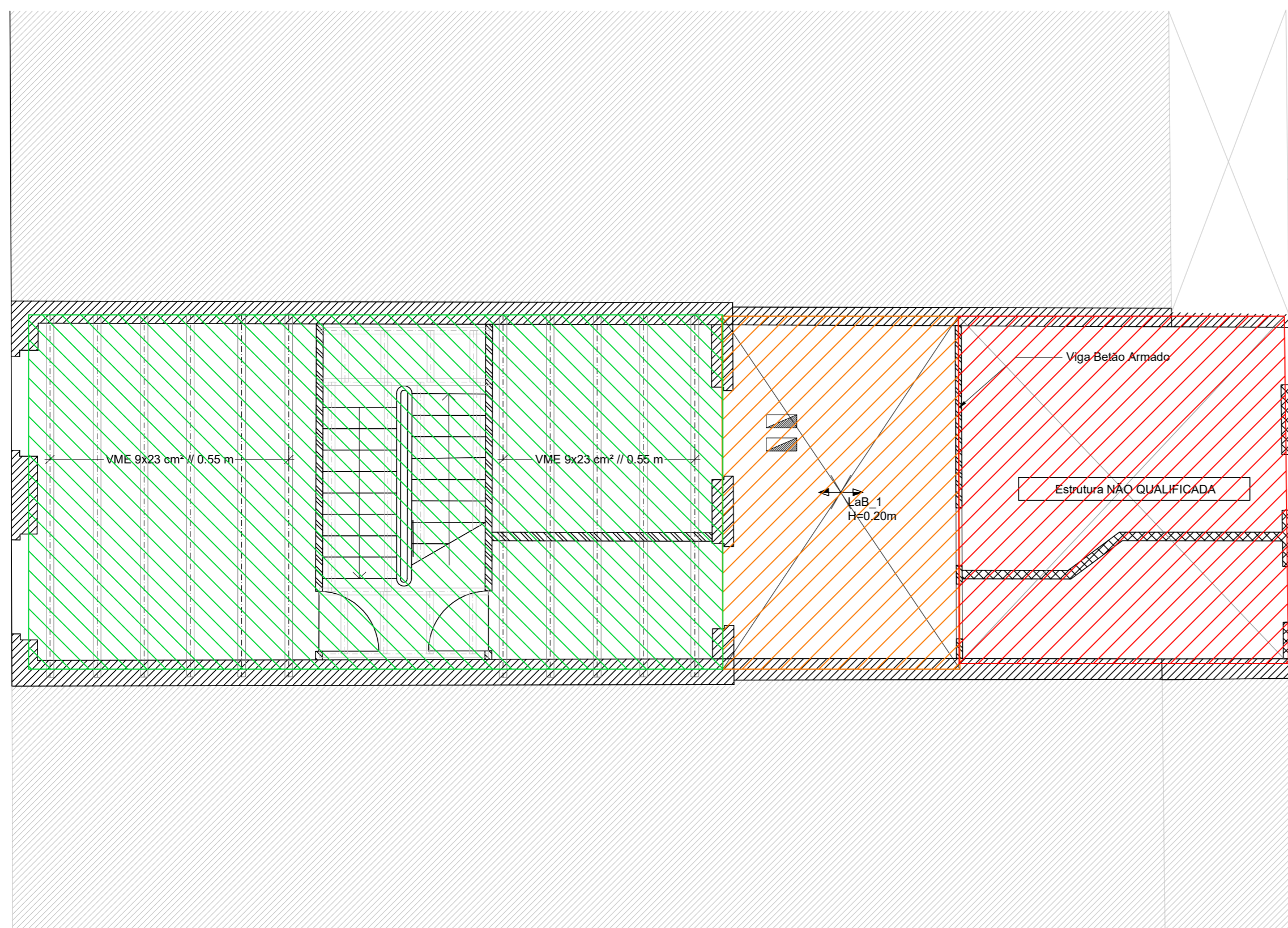
OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID
DESIGNAÇÃO Sugestão de intervenção Planta estrutural Piso 1	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 12
PROJECTO -	DESENHO FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG

Este documento é propriedade de 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.











Sugestão de intervenção | Piso 2

Esc. 1:50



Legenda

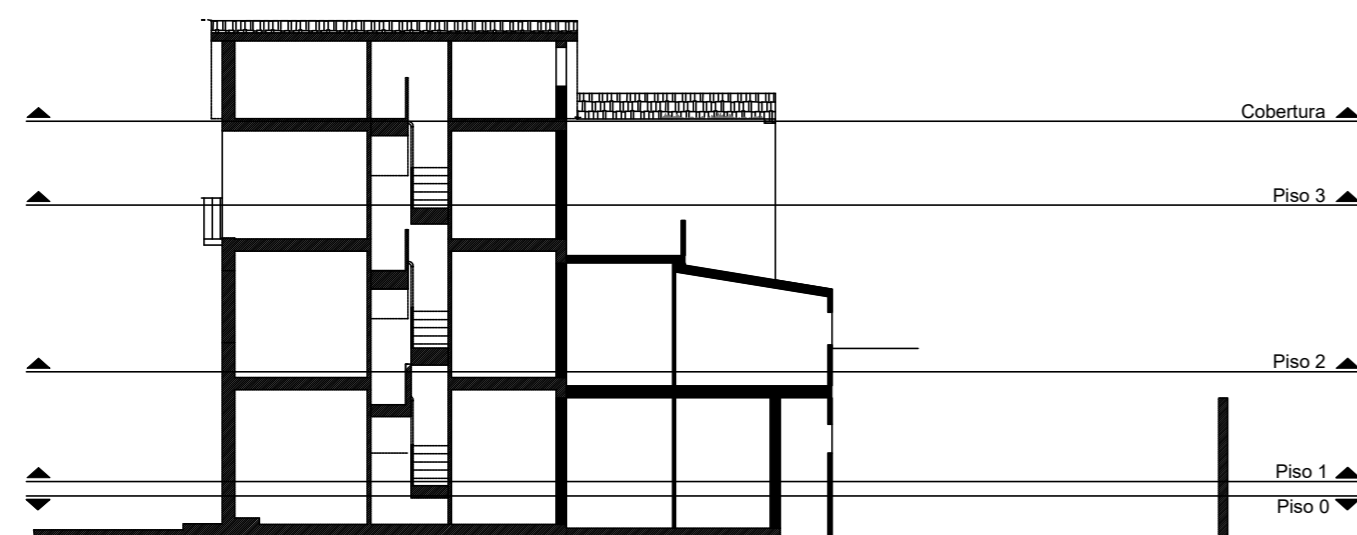
-  Parede de alvenaria de pedra
 -  Parede de tabique
 -  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
 -  Elemento confirmado
 -  Elemento não confirmado
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
 VM - Viga de madeira
 VB - Viga em betão armado existente
- LmB i - Laje maciça em betão armado
 LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
	Manter elementos estruturais
	Substituição dos elementos de revestimento
	Substituição integral do(s) elemento(s) estruturais

Nota geral: Todos os elementos de madeira devem sofrer uma intervenção de proteção contra agentes bióticos

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



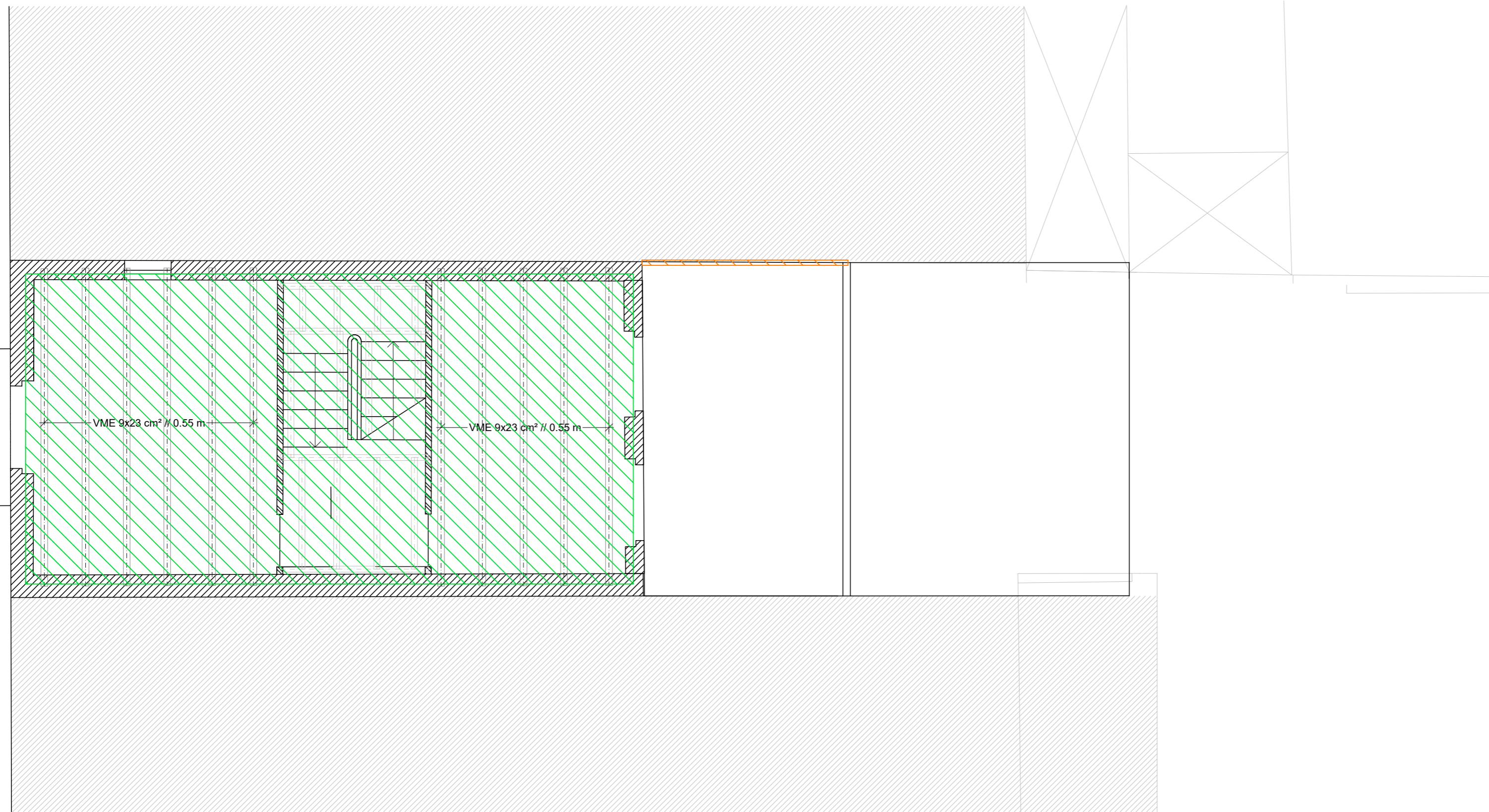
OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
DESIGNAÇÃO Sugestão de intervenção Planta estrutural Piso 2	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 13	REV. N.º
PROJECTOU -	DESENHOU FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.



Sugestão de intervenção | Piso 3

Esc. 1:50



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra
- Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
- Parede de tabique
- Elemento confirmado
- Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
 VM - Viga de madeira
 VB - Viga em betão armado existente

LmB i - Laje maciça em betão armado
 LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

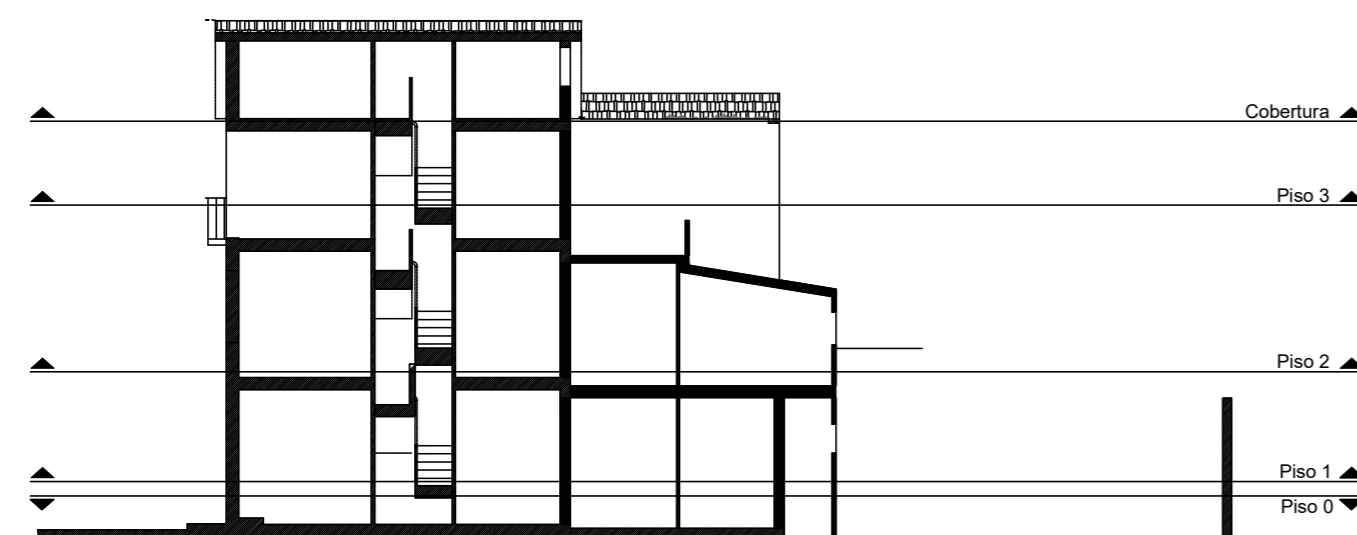
SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

- Manter elementos estruturais
- Substituição dos elementos de revestimento
- Substituição integral do(s) elemento(s) estruturais

Nota geral: Todos os elementos de madeira devem sofrer uma intervenção de proteção contra agentes bióticos

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



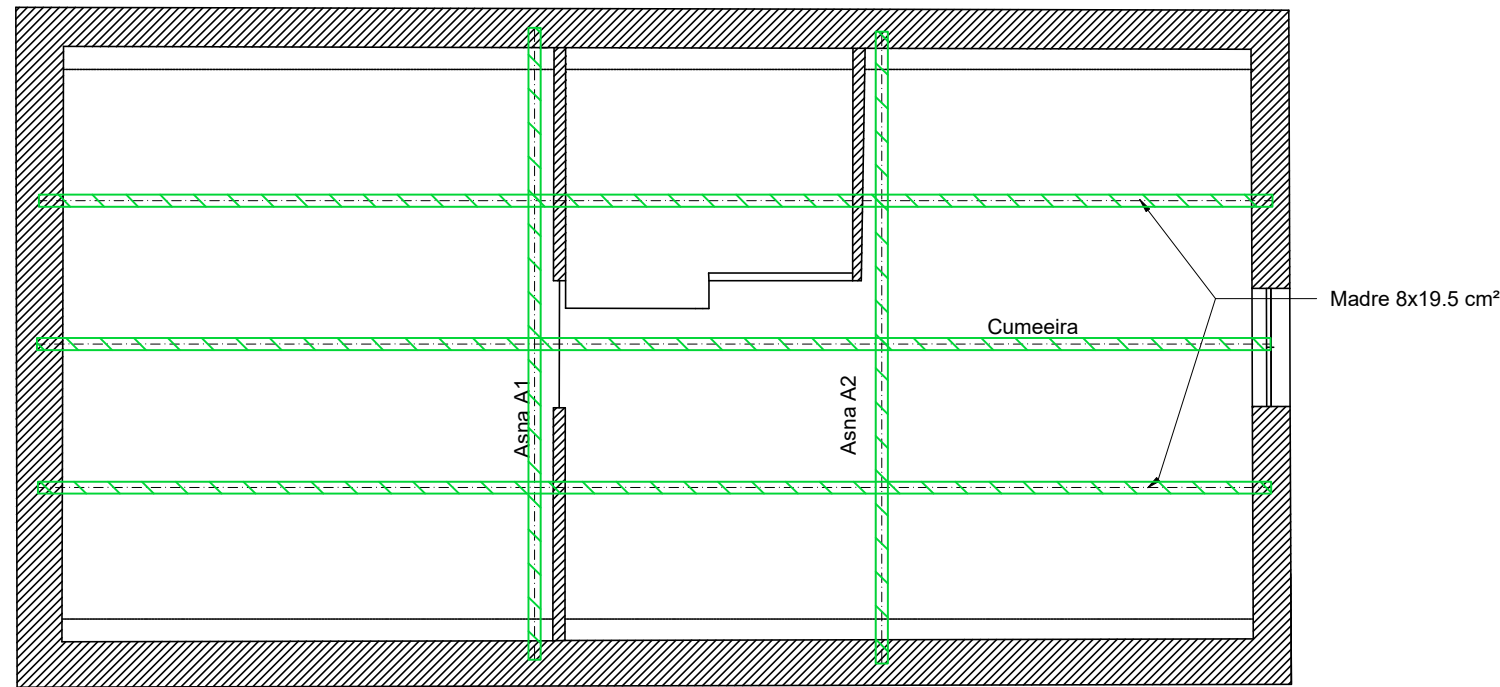
OBRA Casa Leça da Palmeira, Matosinhos Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural		DATA 03/2023	FASE DO PROJECTO RID	
DESIGNAÇÃO Sugestão de intervenção Planta estrutural Piso 3	PROCESSO NCREP_2042P0222	ESCALA 1:50	DESENHO N.º 14	REV. N.º
PROJECTO -	DESENHO FA	APROVOU JMG	VERIFICOU JMG	

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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.





Sugestão de intervenção | Cobertura

Esc. 1:50



Legenda




-  Parede de alvenaria de pedra
-  Parede de tabique
-  Outras paredes (alvenaria de cerâmica)
-  Elemento confirmado
-  Elemento não confirmado

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

- VMi - Viga de madeira
- VBi - Viga em betão armado existente

- LmB i - Laje maciça em betão armado
- LaB i - Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

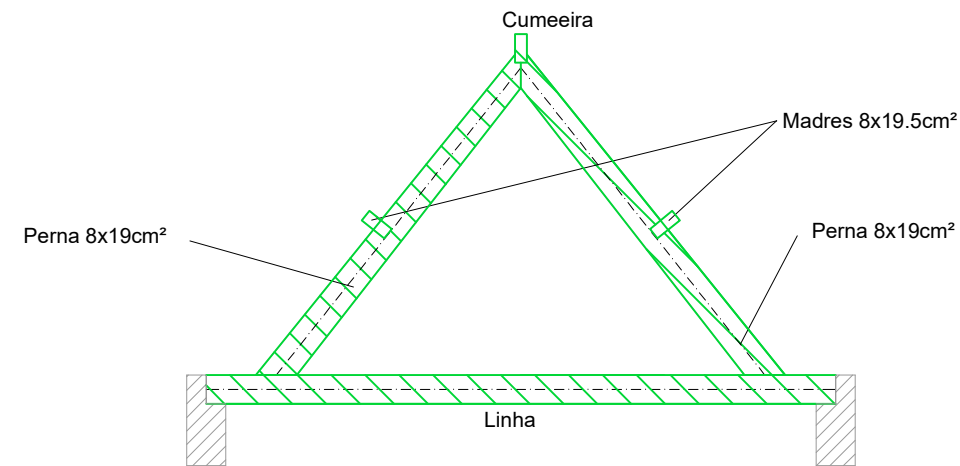
SUGESTÕES DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

-  Manter elementos estruturais
-  Substituição dos elementos de revestimento
-  Substituição integral do(s) elemento(s) estruturais

Nota geral: Todos os elementos de madeira devem sofrer uma intervenção de proteção contra agentes bióticos

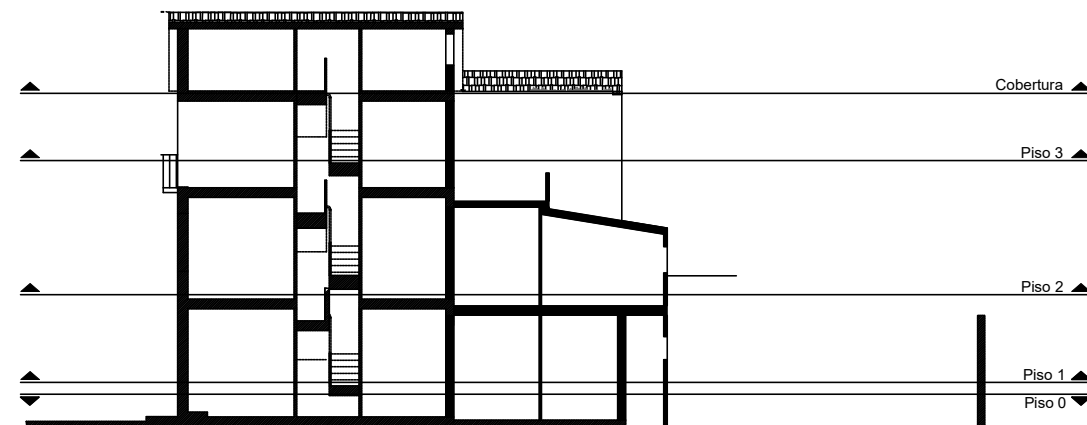
Alçado Asnas A1 e A2

Esc. 1:50



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



OBRA		DATA		FASE DO PROJECTO	
Casa Leça da Palmeira, Matosinhos		03/2023		RID	
Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural					
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º	
Sugestão de intervenção Planta estrutural Cobertura	NCREP_2042P0222	1:50	15		
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU		
-	FA	JMG	JMG		

Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado 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 II – CASA LEÇA DA PALMEIRA – RESULTADO DE ENSAIOS COM O
RESISTOGRAPH[®]**

Tabela A04 1 - - Resultado dos ensaios experimentais realizados nos elementos de madeira

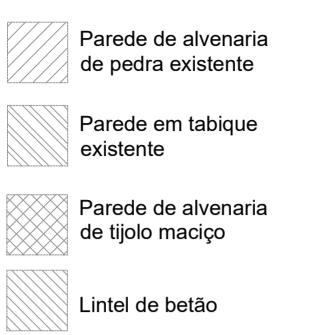
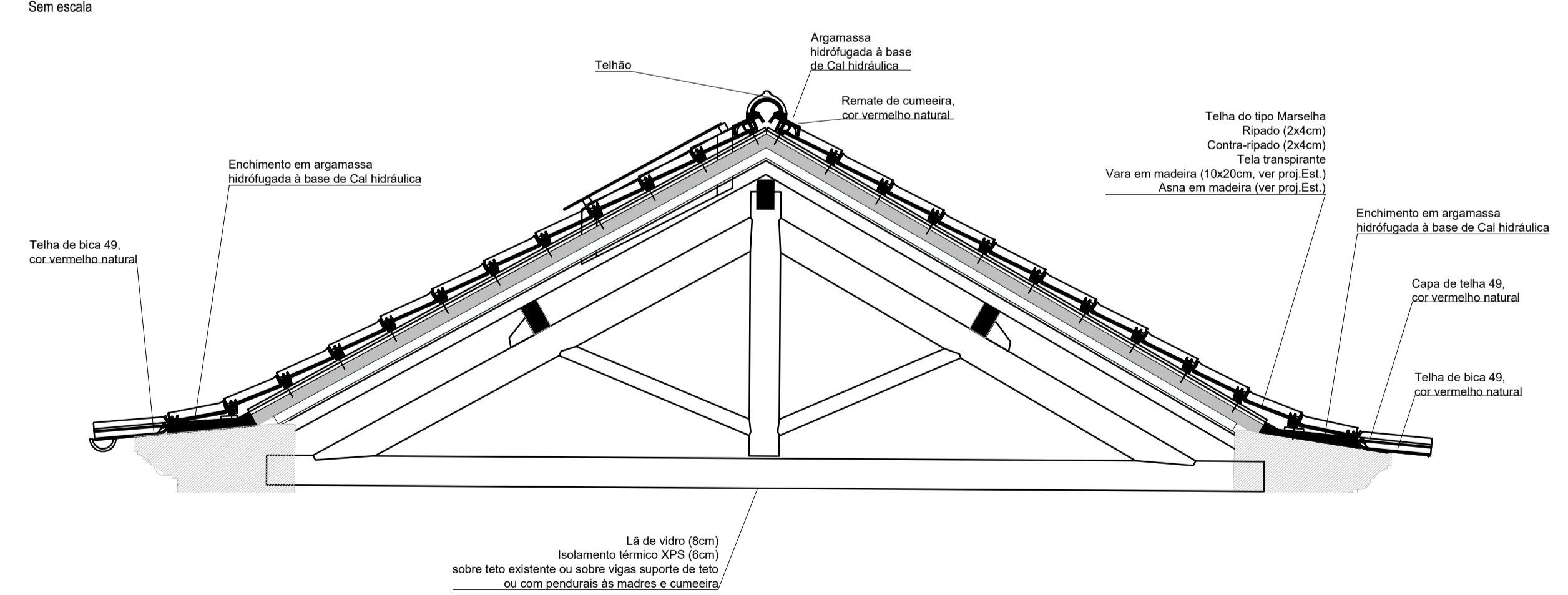
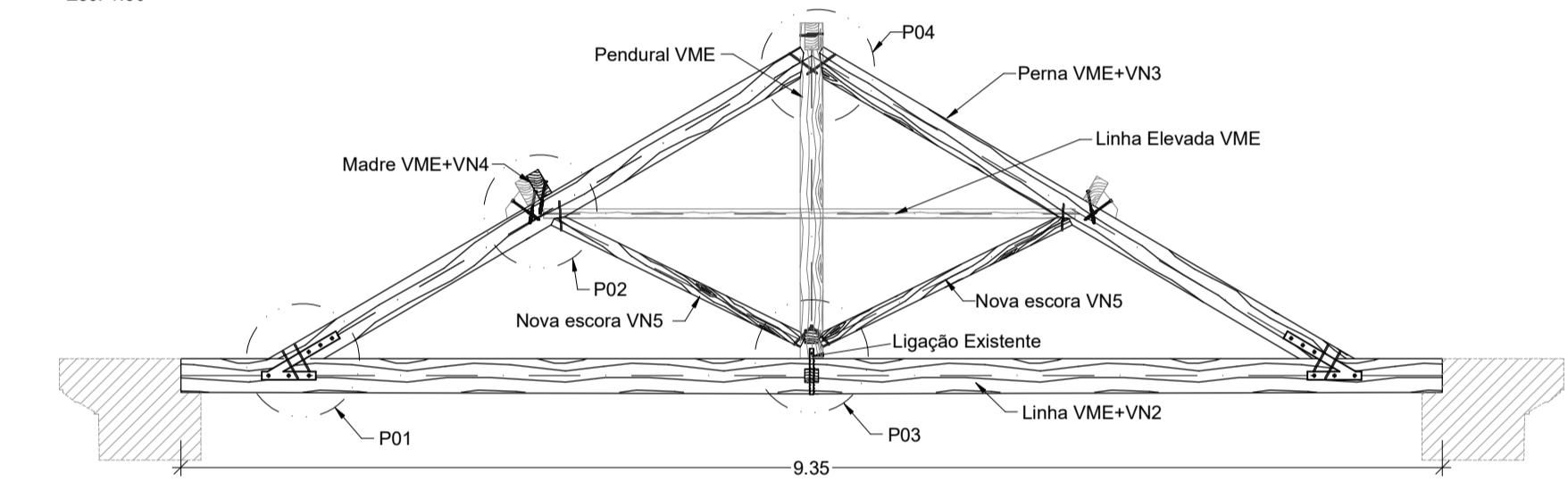
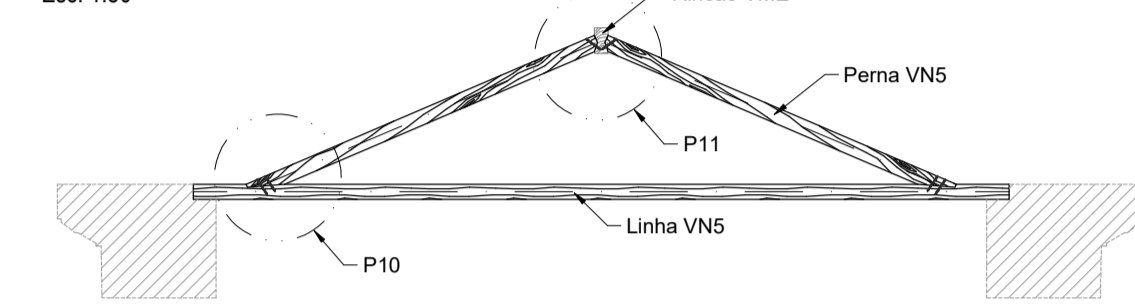
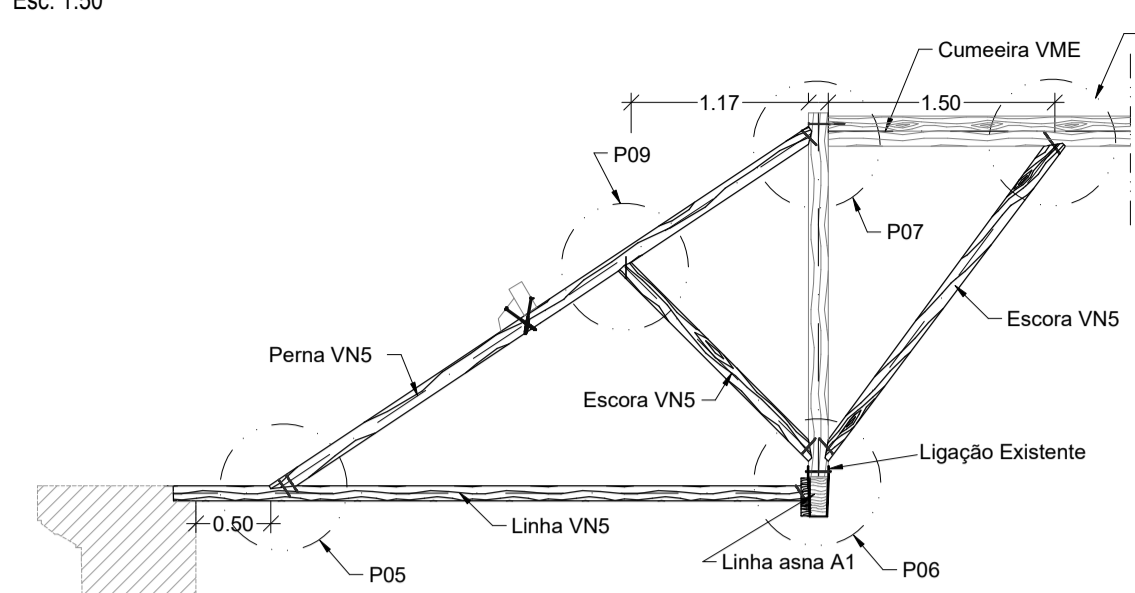
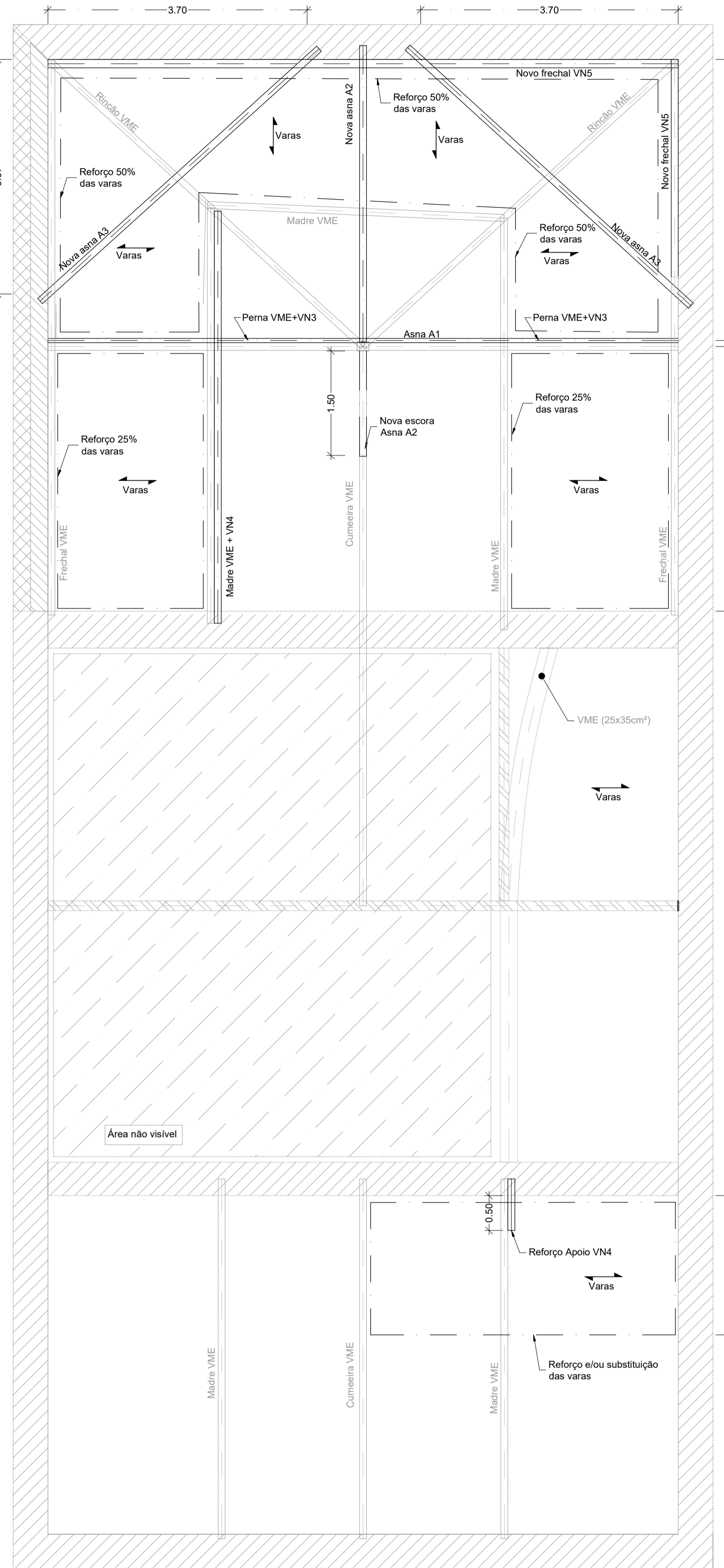
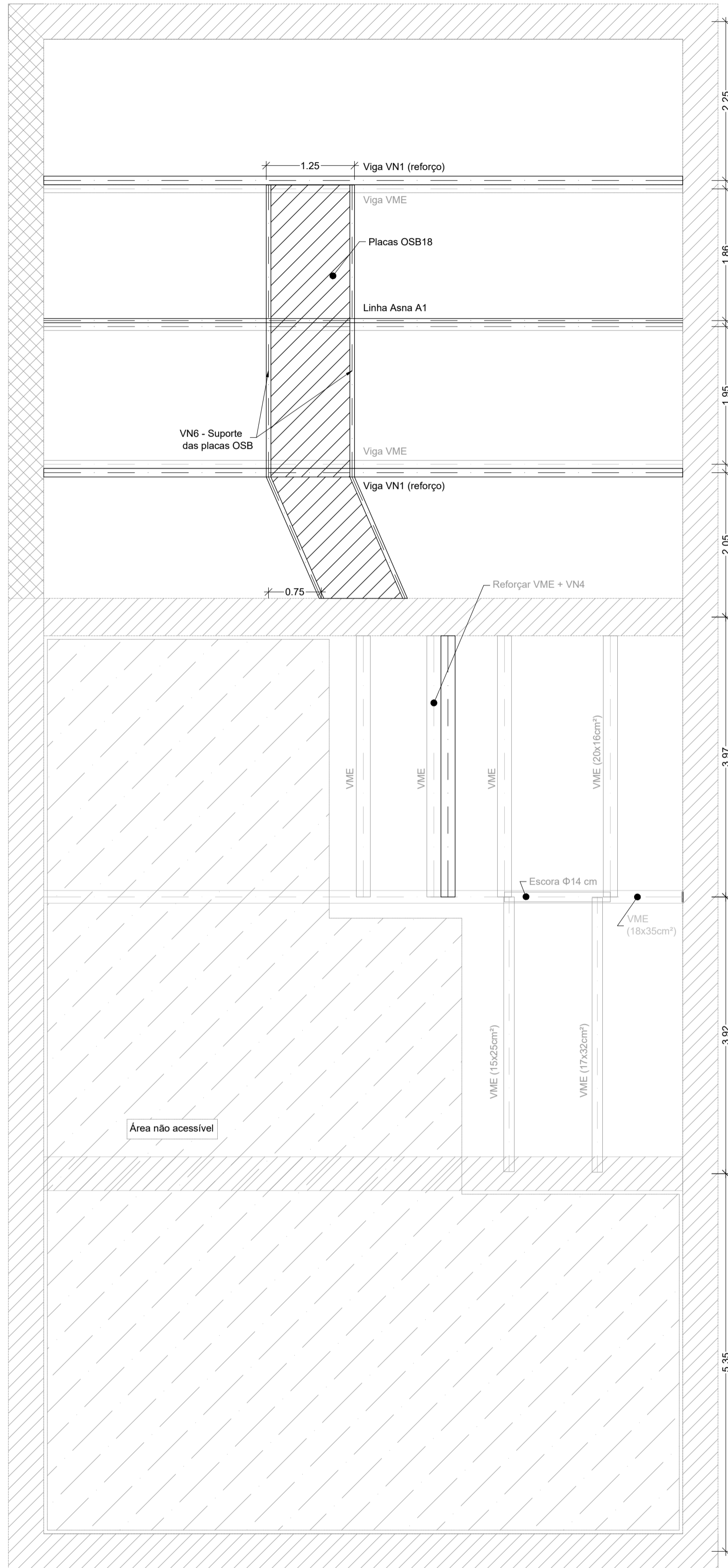
Ensaio: ER13008	Modo: Direto	Localização: Perna da Asna A2
<p>Secção em bom estado de conservação.</p> <p>Comentário: Ensaio vertical (baixo – cima)</p>		
<p>Resultado:</p>		

Ensaio: ER13009	Modo: Direto	Localização: Madre da cobertura
<p>Secção em bom estado de conservação.</p> <p>Comentário: Ensaio vertical (baixo – cima)</p>		
<p>Resultado:</p>		

Ensaio: ER13010	Modo: Direto	Localização: Cumeeira
<p>Comentário: Secção em bom estado de conservação. Ensaio vertical (baixo – cima)</p>		
<p>Resultado:</p>		
Ensaio: ER13019	Modo: Indireto	Localização: Viga do Pavimento do piso 1
<p>Comentário: Secção em bom estado de conservação. (Parte a azul – soalho) Ensaio vertical (cima - baixo)</p>		
<p>Resultado:</p>		

Comentários gerais: Todos os ensaios apresentados no presente anexo mostram resultados conclusivos que evidenciam o bom estado de conservação encontrado nos elementos ensaiados.

ANEXO III – CASA BAIROS – PROJETO DE EXECUÇÃO



ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA:
VNI - Nova viga de madeira estrutural maciça
VME - Viga de madeira estrutural existente

NOVAS SECÇÕES - ESTRUTURAS EM MADEIRA

Designação	Secção	Classe resistente
VN1	12x26cm ²	C18 (maciça)
VN2	6x25cm ²	C18 (maciça)
VN3	6x20cm ²	C18 (maciça)
VN4	10x20cm ²	C18 (maciça)
VN5	10x10cm ²	C18 (maciça)
VN6	6x7cm ²	C18 (maciça)

Notas:
- Se for possível, executar obra com madeira de castanho D30 (maciça).
- Substituir/Reforçar com peças ao lado todas as varas em mau estado de conservação (6x7cm²)

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Tipo de madeira e tratamento: Os elementos estruturais de madeira maciça (classe resistente C18) serão da espécie Pinus Pinaster. Todos os novos elementos de madeira deverão receber um tratamento preventivo através da aplicação do produto AXIL 3000 P ou equivalente, conforme indicado na Memória Descritiva.

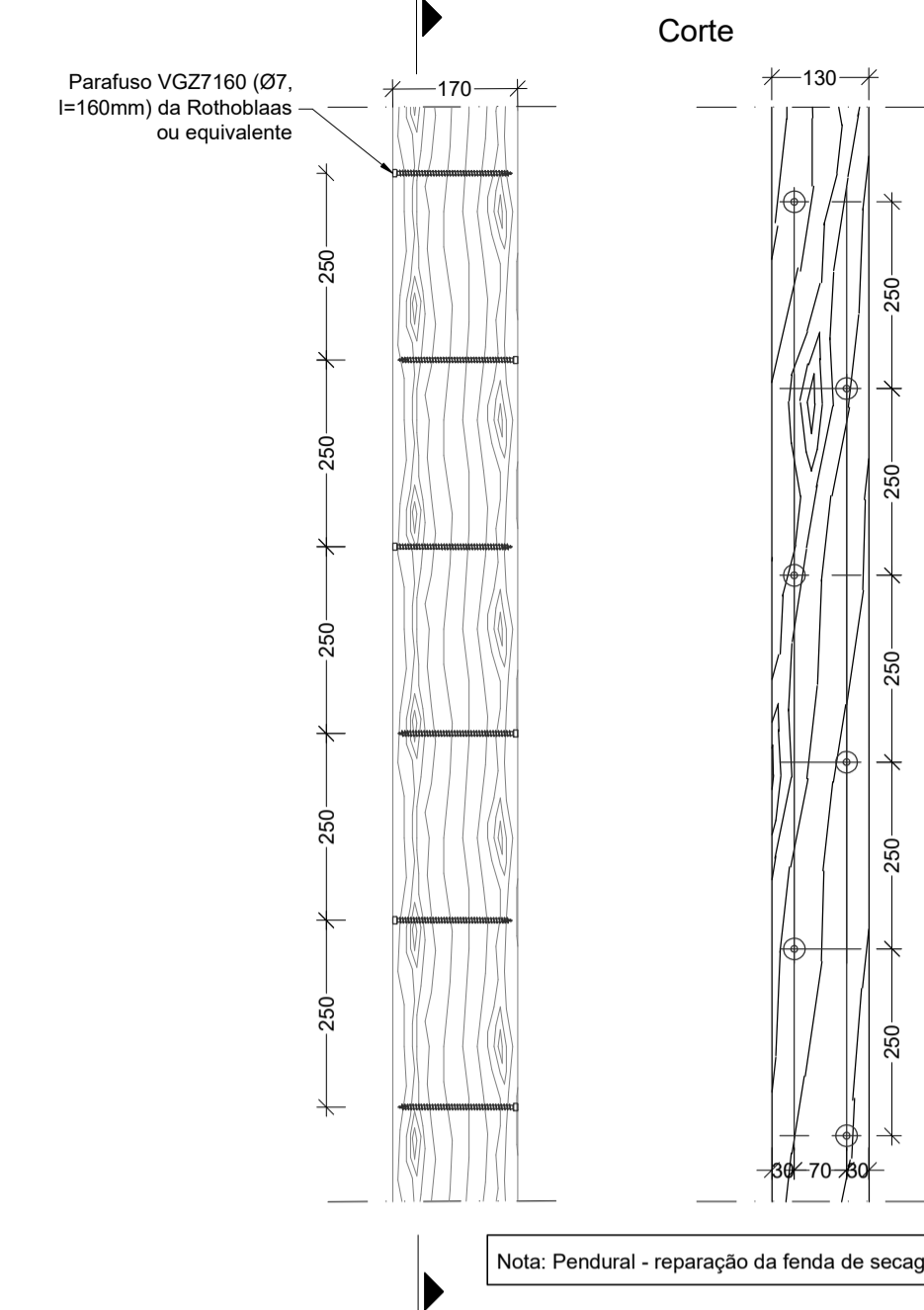
NOTAS GERAIS

- Todos os entalhes realizados devem ser ligados com parafusos.
- Incluir acesso ao desvão da cobertura com tábuas OSB 18, nomeadamente para futuras manutenções.

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Casa Bairros, Trofa	04/2023	EXE
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA
Levantamento estrutural e projeto de intervenção	NCREP_2312P0223	1:50
PROJECTO	DESENHO	APROVADO
AAC, RS, FA	RS, FA	AAC
VERIFICADO	VERIFICADO	VERIFICADO
AAC	AAC	AAC

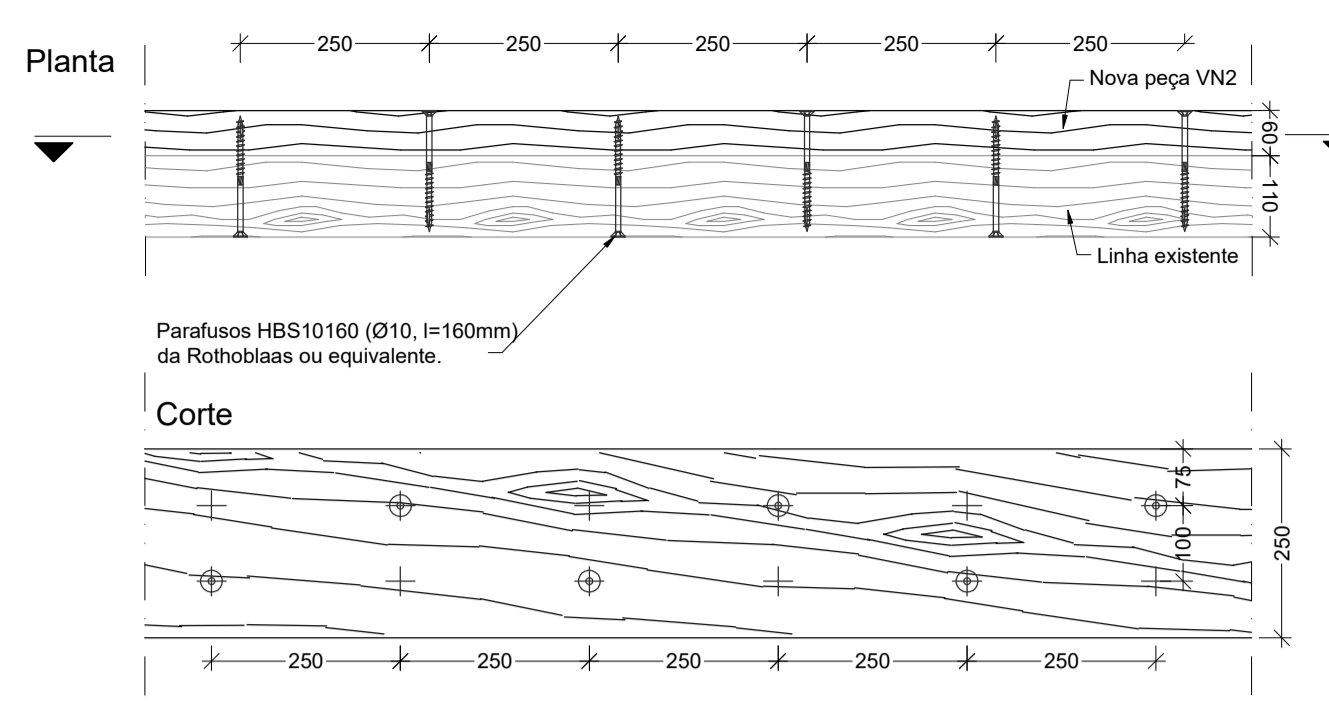
Pormenor - Reforço no pendural (fenda existente)

Esc. 1:10



Pormenor - Reforço da linha da asna A1

Esc. 1:10



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em tabique existente
- Parede de alvenaria de tijolo maciço
- Lintel de betão

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA:
 VNI - Nova viga de madeira estrutural maciça
 VME - Viga de madeira estrutural existente

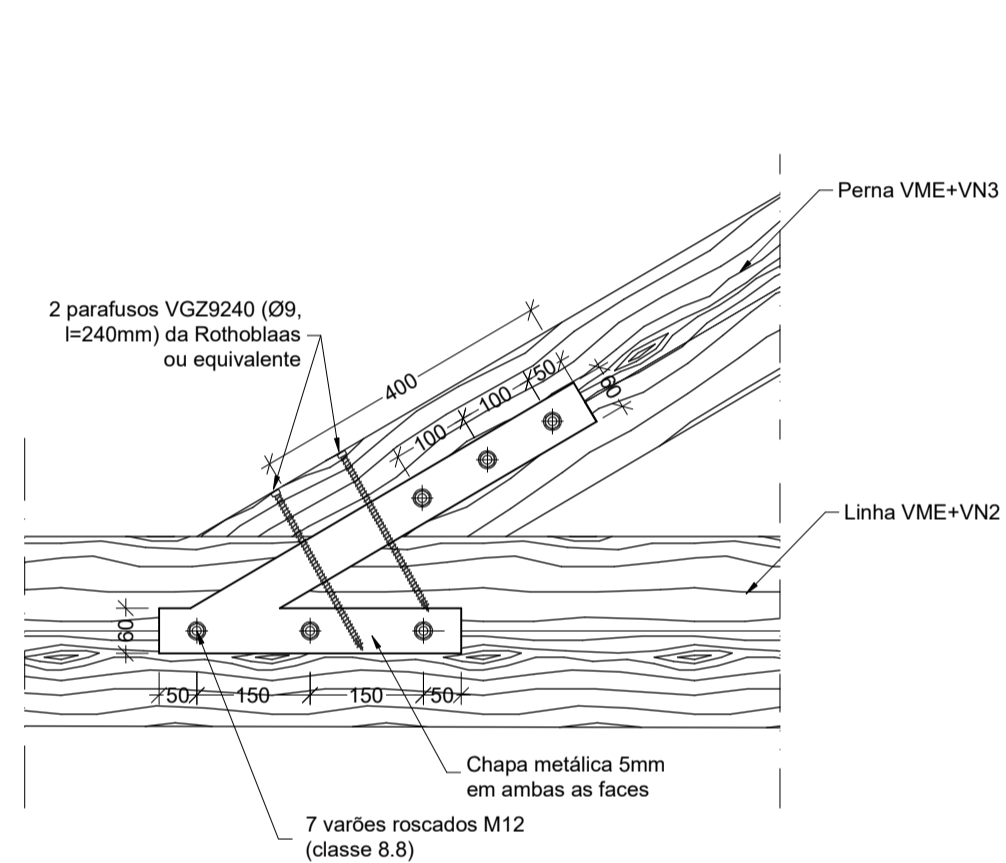
NOVAS SECÇÕES - ESTRUTURAS EM MADEIRA

Designação	Secção	Classe resistente
VN1	12x26cm ²	C18 (maciça)
VN2	6x25cm ²	C18 (maciça)
VN3	6x20cm ²	C18 (maciça)
VN4	10x20cm ²	C18 (maciça)
VN5	10x10cm ²	C18 (maciça)
VN6	6x7cm ²	C18 (maciça)

- Notas:
- Se for possível, executar obra com madeira de castanho D30 (maciça).
 - Substituir/Reforçar com peças ao lado todas as varas em mau estado de conservação (6x7cm²)

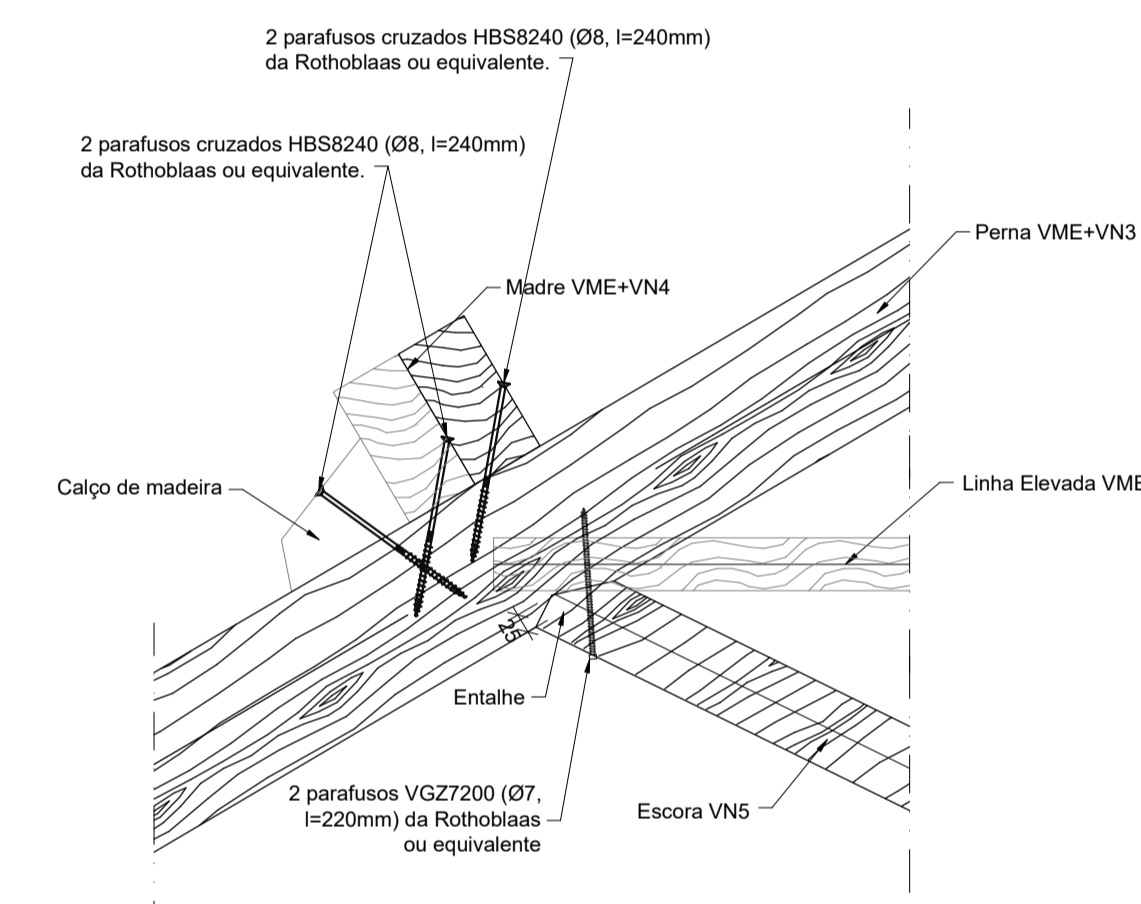
Pormenor P01 - Ligação perna - linha

Esc. 1:10



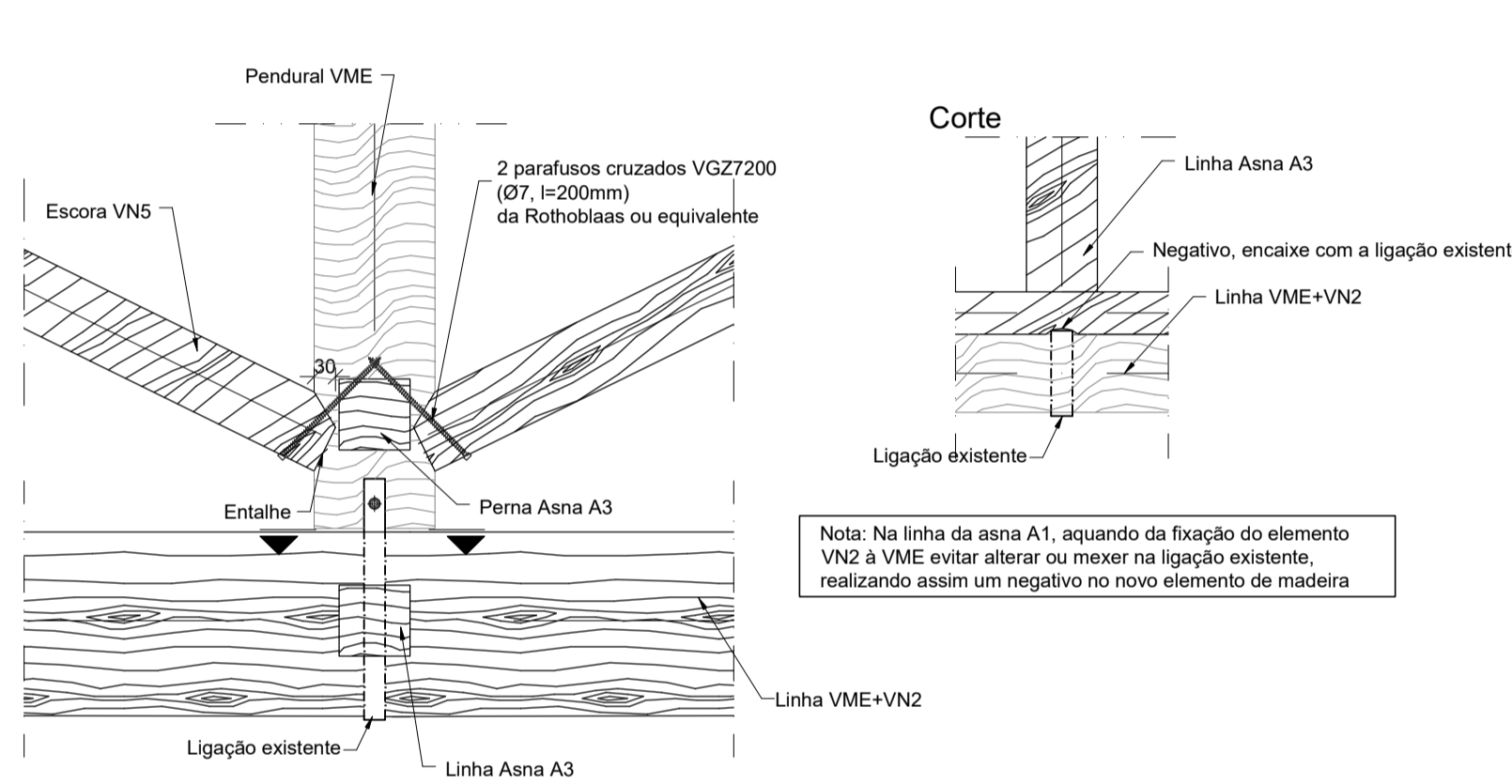
Pormenor P02 - Ligação escora - perna

Esc. 1:10



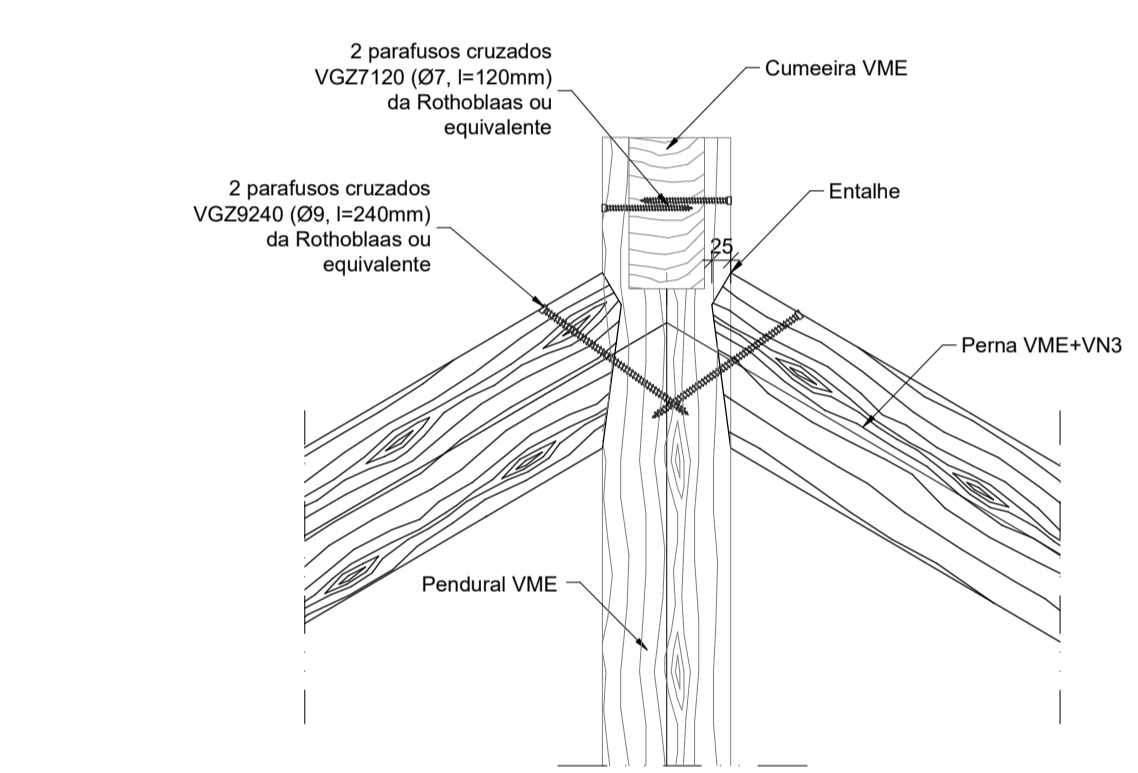
Pormenor P03 - Ligação linha - pendural - escoras

Esc. 1:10



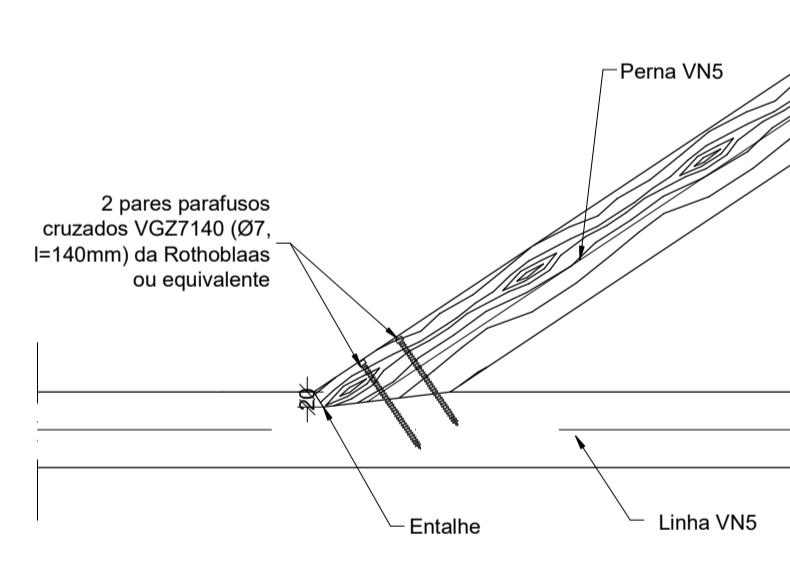
Pormenor P04 - Ligação pendural - escoras

Esc. 1:10



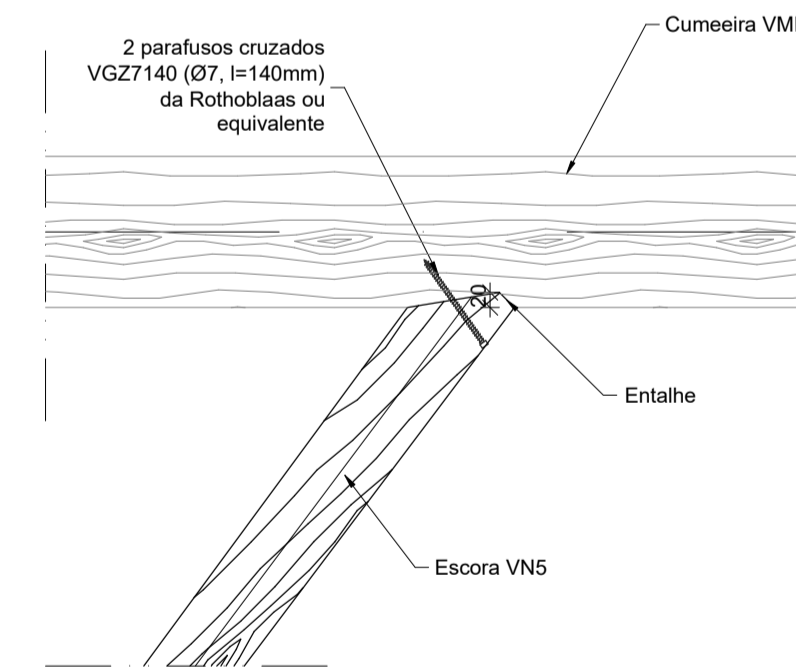
Pormenor P05 - Ligação perna - linha

Esc. 1:10



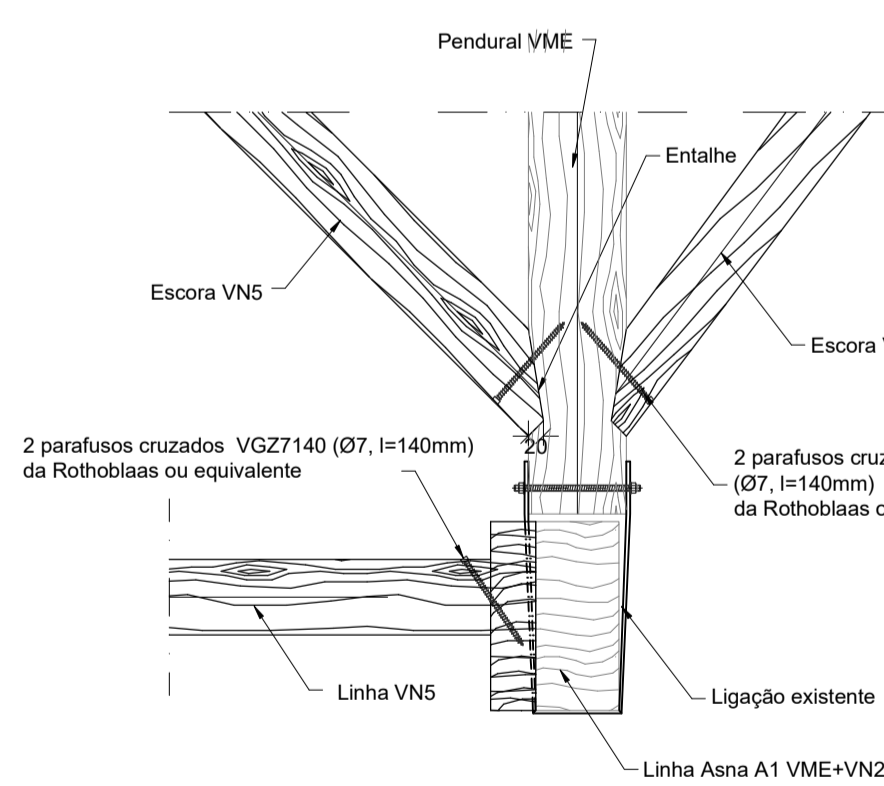
Pormenor P06 - Ligação escora - cumeeira

Esc. 1:10



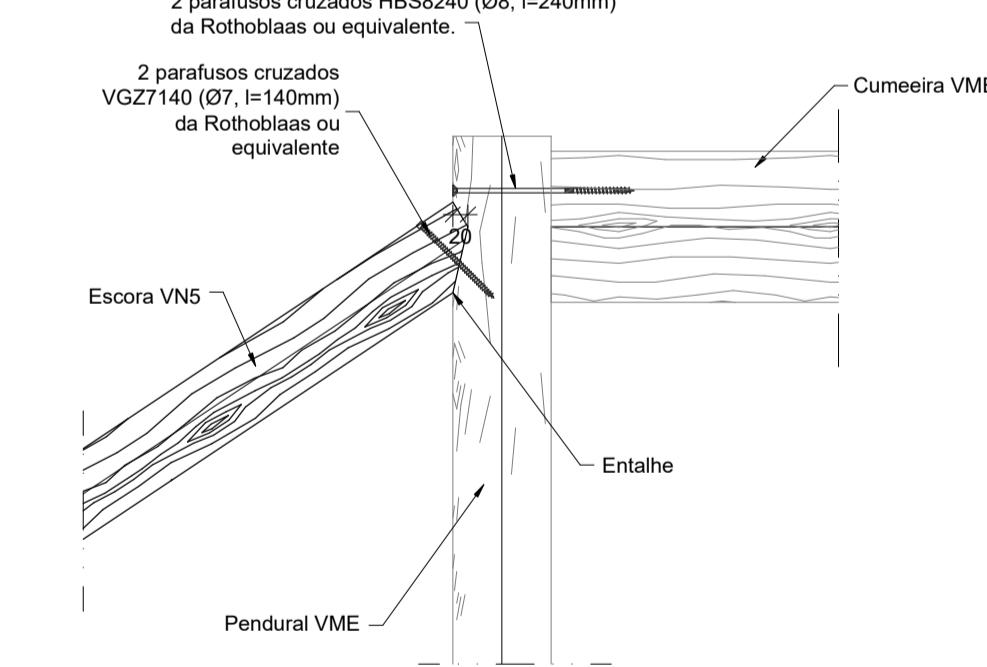
Pormenor P07 - Ligação Asna A3 - Asna A1

Esc. 1:10



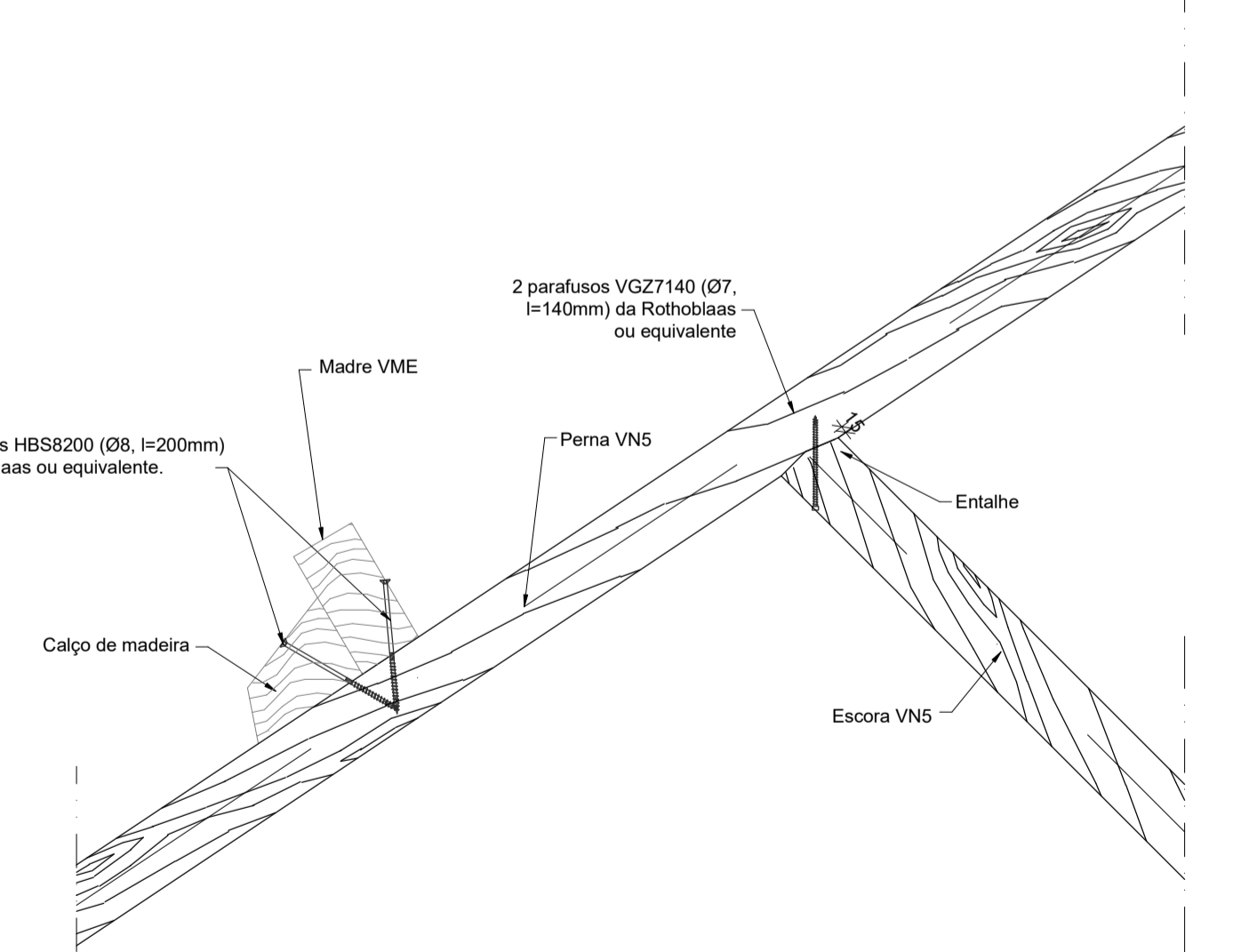
Pormenor P08 - Ligação perna - pendural - cumeeira

Esc. 1:10



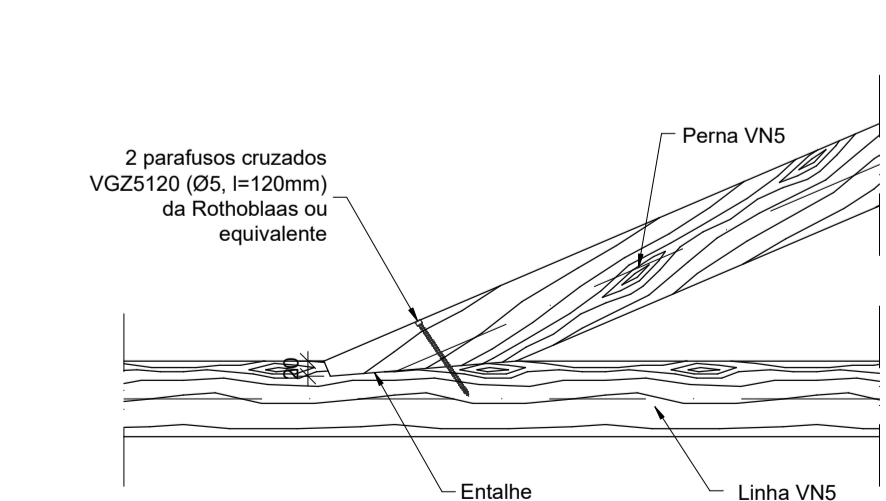
Pormenor P09 - Ligação perna - escora

Esc. 1:10



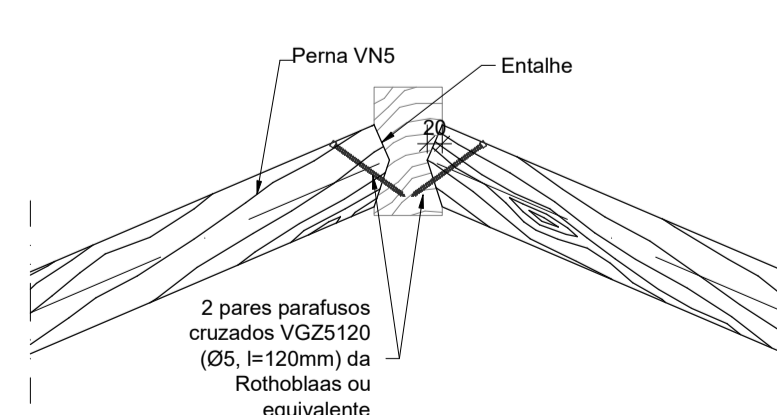
Pormenor P10 - Ligação perna - linha

Esc. 1:10



Pormenor P11 - Ligação perna - rincão

Esc. 1:10



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Tipo de madeira e tratamento: Os elementos estruturais de madeira maciça (classe resistente C18) serão da espécie Pinus Pinaster. Todos os novos elementos de madeira deverão receber um tratamento preventivo através da aplicação do produto AXIL 3000 P ou equivalente, conforme indicado na Memória Descritiva.

NOTAS GERAIS

- Todos os entalhes realizados devem ser ligados com parafusos.
- Incluir acesso ao desvão da cobertura com tábuas OSB 18, nomeadamente para futuras manutenções.

OBRA Casa Bairros, Trofa	DATA 04/2023	FASE DO PROJECTO EXE
DESIGNAÇÃO Asna A1 e pormenores	PROCESSO NCREP_2312P0223	DESENHO N.º 02
PROJECTO AAC, RS, FA	DESENHO RS, FA	APROVADO AAC
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.		



**ANEXO IV – CASA BAIRROS – RESULTADO DE ENSAIOS COM O
RESISTOGRAPH[®]**

Tabela A04 1 - - Resultado dos ensaios experimentais realizados nos elementos de madeira

Ensaio: ER13039	Modo: Direto	Localização: Entrega da madre
<p>Comentário: Secção em bom estado de conservação Ensaio vertical ascendente</p>		
<p>Resultado:</p>		

Ensaio: ER13040	Modo: Direto	Localização: Entrega da cumeeira
<p>Comentário: Secção em bom estado de conservação Ensaio vertical ascendente</p>		
<p>Resultado:</p>		

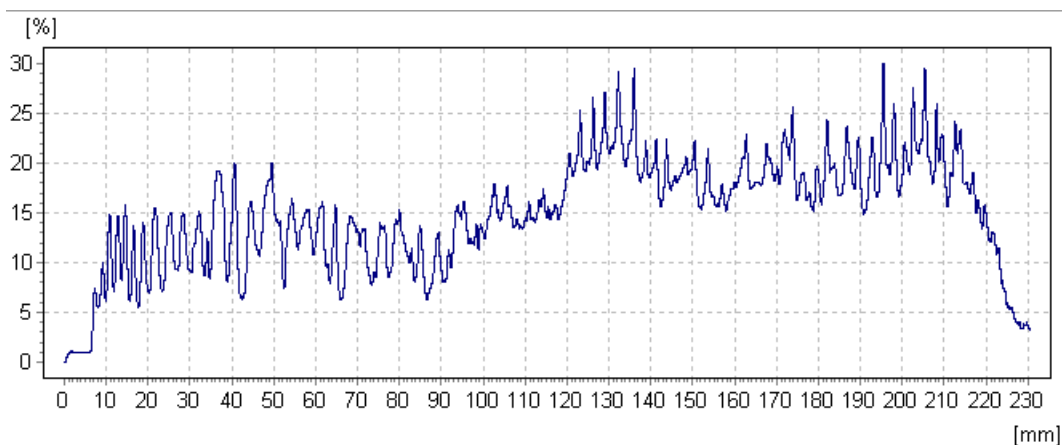
Ensaio: ER13041	Modo: Direto	Localização: Viga de suporte de teto
<p>Comentário: Secção em mau estado de conservação, com degradação superficial nos primeiros 3 cm. Secção interna com zonas pontuais degradadas. Ataque de fungos bióticos, caruncho</p> <p>Ensaio vertical descendente</p>		
<p>Resultado:</p>		
Ensaio: ER13042	Modo: Direto	Localização: Pendural
<p>Comentário: Secção em bom estado de conservação. Zonas pontuais com afetação de resistência, fendas de secagem</p> <p>Ensaio horizontal</p>		
<p>Resultado:</p>		

Ensaio: ER13043	Modo: Direto	Localização: Perna da asna A1
<p>Secção em bom estado de conservação.</p> <p>Comentário: Ensaio diagonal ascendente</p>		
<p>Resultado:</p>		
Ensaio: ER13044	Modo: Direto	Localização: Entrega da linha da asna A1
<p>Secção com degradação superficial e perda de resistência entre os 17,5 cm e os 250 cm. Estado de conservação razoável</p> <p>Comentário: Ensaio diagonal descendente</p>		
<p>Resultado:</p>		

Ensaio: ER13045	Modo: Direto	Localização: Apoio da madre no rincão
------------------------	---------------------	--

Comentário:
 Secção com perda de resistência nos primeiros cm da peça em relação ao resto da peça, no entanto sem indícios de ataque de agentes bióticos. Bom estado de conservação
 Ensaio vertical ascendente

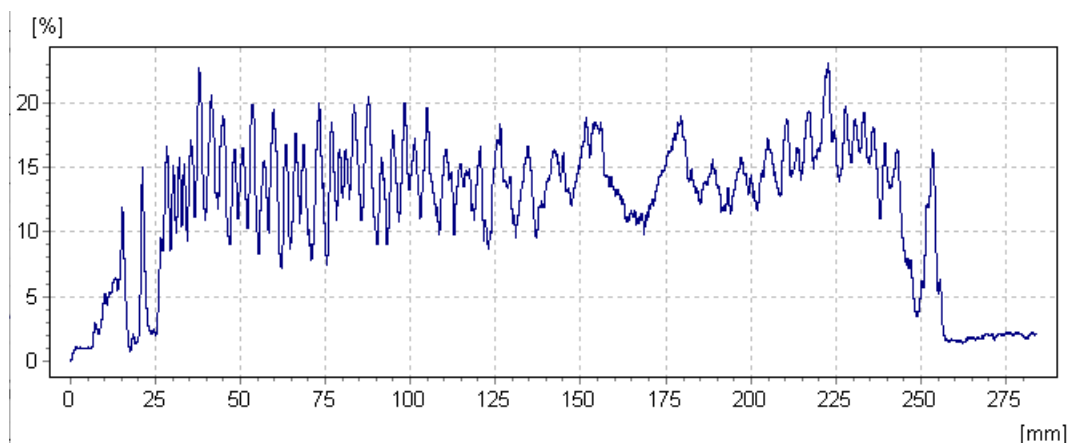
Resultado:



Ensaio: ER13046	Modo: Direto	Localização: Entrega da linha
------------------------	---------------------	--------------------------------------

Comentário:
 Secção em bom estado de conservação. (Parte a azul – soalho)
 Ensaio vertical (cima - baixo)

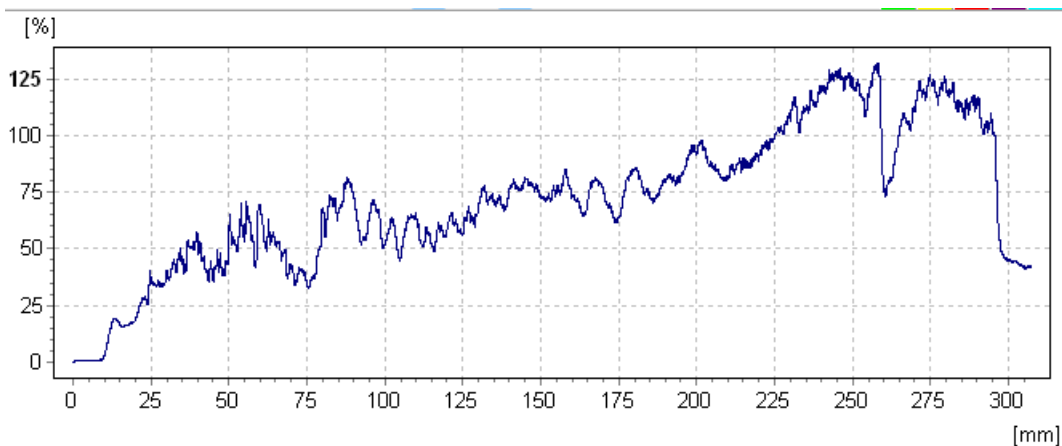
Resultado:



Ensaio: ER13047	Modo: Direto	Localização: Escora, estrutura de suporte da mansarda
------------------------	---------------------	--

Comentário: Secção em bom estado de conservação
Ensaio diagonal descendente

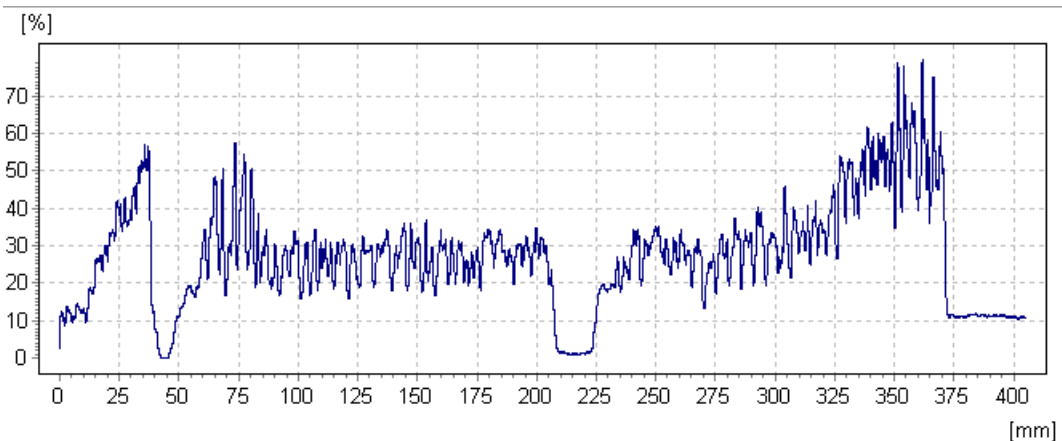
Resultado:

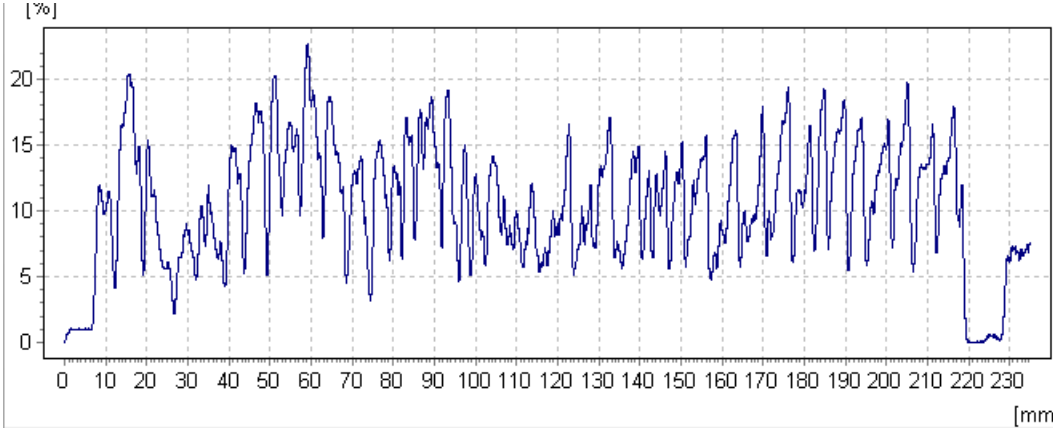
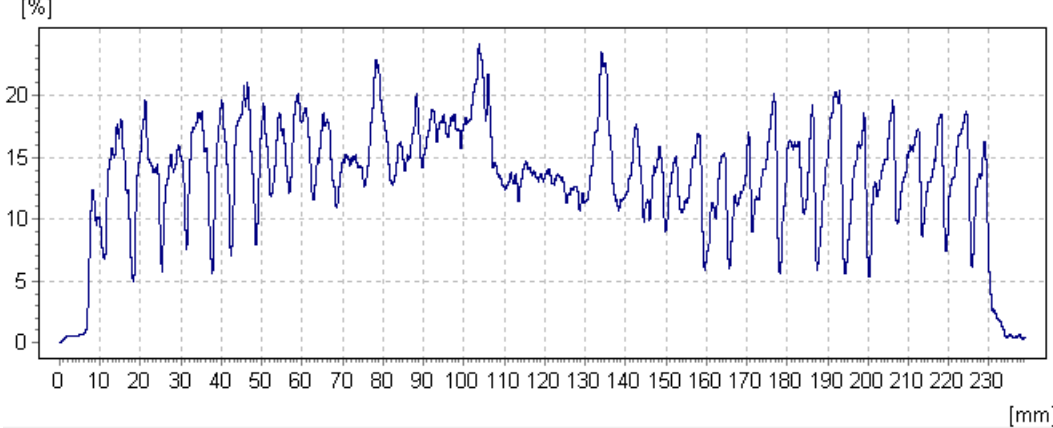


Ensaio: ER13049	Modo: Direto	Localização: Viga da estrutura do suporte da mansarda
------------------------	---------------------	--

Comentário: Secção com fendas de secagem com largura considerável
Ensaio diagonal

Resultado:

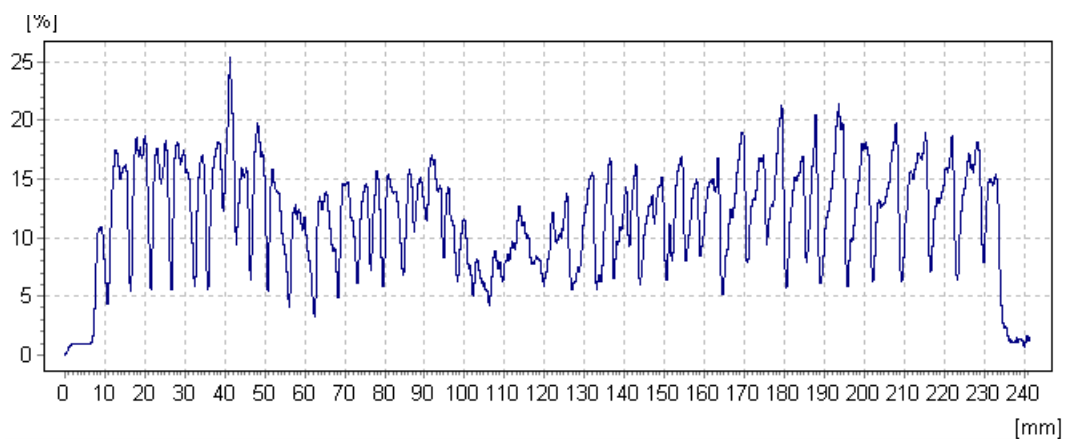


Ensaio: ER13050	Modo: Direto	Localização: Entrega da cumeeira do anexo de arrumo
<p>Secção em bom estado de conservação. Anéis de crescimento em bom estado de conservação</p> <p>Comentário: conservação</p> <p>Vertical</p>		
<p>Resultado:</p> 		
Ensaio: ER13051	Modo: Indireto	Localização: Entrega da cumeeira da estrutura anexo
<p>Secção em bom estado de conservação. Anéis de crescimento bem evidenciados</p> <p>Comentário: Ensaio diagonal</p>		
<p>Resultado:</p> 		

Ensaio: ER13052	Modo: Direto	Localização: Cumeeira a 1m da entrega
------------------------	---------------------	--

Comentário: Secção em bom estado de conservação. Anéis de crescimento bem evidenciados
Ensaio vertical ascendente

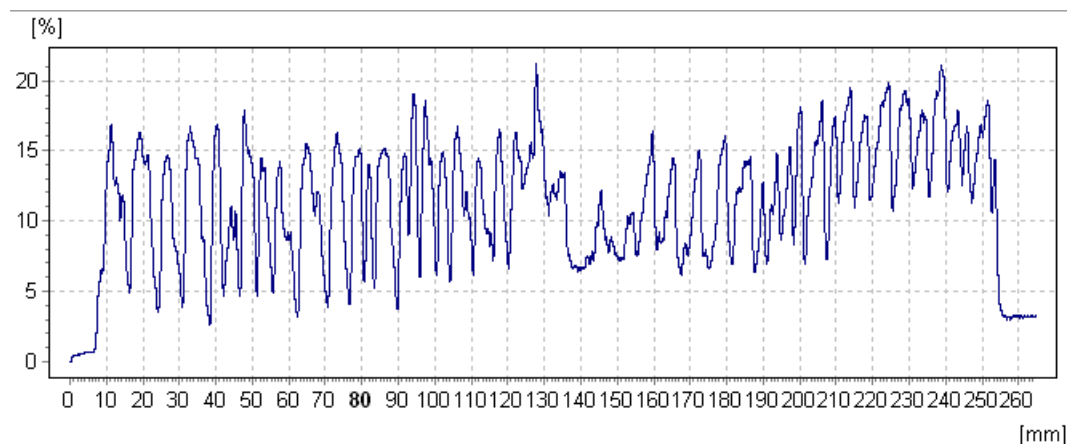
Resultado:



Ensaio: ER13053	Modo: Indireto	Localização: Cumeeira do anexo, entrega parede tabique, mansarda
------------------------	-----------------------	---

Comentário: Secção em bom estado de conservação. Anéis de crescimento bem evidenciados
Ensaio vertical ascendente

Resultado:



ANEXO V – CALCULADORA CONSUMO DE ÁGUA®

Materiais	Unidade/Unidade material	de	Unidades
Rendimentos de Demolição	Madeira	Rebarbadora	3,5 (kWh/m ³)
		Motosserra	1,31 (kg de gasolina/m ³)
	Betão Armado	Rebarbadora	5,34 (kWh/m ³)
		Martelo Demolidor	4,68 (kWh/m ³)
	Aço	Rebarbadora	5,37 (kWh/m ³)
		Maçarico com Oxicorte - Oxigênio Líquido	1853,37 (kg/m ³)
	Distâncias de transporte	Vazadouro	9 (km)
		Madeira Distância	14 (km)
Aço Distância		8 (km)	
Betão Distância		27 (km)	
Dados Técnicos	Densidade do Aço	7850 (kg/m ³)	
	Densidade do Betão Armado C25/30	2250 (kg/m ³)	
	Densidade da Madeira Maciça	380 (kg/m ³)	
	Densidade da Madeira Lamelada Colada	380 (kg/m ³)	
	Densidade de Alvenaria	2653 (kg/m ³)	
	Densidade das vigotas	2466,69 (kg/m ³)	
	Densidade Betão Armado C30/37	2450 (kg/m ³)	
	Bloco de betão maciço	2060 (kg/m ³)	
	Densidade abobadilhas	1705 (kg/m ³)	

Tabela V. 1 - Rendimento das máquinas de demolição | Distâncias de transporte | Dados técnicos materiais Valores considerados nos cálculos auxiliares do consumo de água

A tabela V.2, tabela V.3 e a tabela V.4 representam o processo de cálculos desenvolvido para contabilizar o levantamento dos materiais demolidos, das áreas de edifício demolidas, bem como a quantidade de material novo inserido nos diferentes cenários (V.3 e V.4).

Na tabela, as colunas:

- Verdes – identificação dos casos de estudo;
- Amarelas – Características dos edifícios a ter em conta nas demolições;
- Azuis – Características da estrutura nova;
- Vermelhas – Cálculos auxiliares e automatizados para contabilizar a energia consumida e quantidade de recursos utilizados na intervenção.

CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO			Demolições											
			Madeira (m ³)	Betão (m ³)	Aço (kg)	Alvenaria (m ³)	Eletricidade Demolições (kWh)	Combustível Demolições (Gasolina) (kg)	Oxigénio Líquido (kg)	Estrutura em Madeira			Estrutura em Betão	
										Abaixo do solo (Pavimentos (m ²))	Acima do solo (Pavimentos (m ²))	Cobertura (m ²)	Abaixo do solo (Pavimentos (m ²))	Acima do solo (Pavimentos (m ²))
Edifício	Cenário	Área Bruta (m ²)												
1	1	501	2,13	0,49	332,33	0	12,59	2,79	78,46	35	30	92	0	0
	2		11,57	2,01	332,33	0	60,86	15,16	78,46	92,82	113,32	128,16	0	0
2	1	627	10,77	0,78	0	0	45,51	14,11	0,00	30,62	365	40,41	0	0
	2		15,41	1,3	0	0	66,96	20,19	0,00	65	225,65	104	0	0
3	1	323	3,18	0	0	0	11,13	4,17	0,00	0	0	0	0	0
	2		8,1	2,48	0	0	53,20	10,61	0,00	86,75	94,09	67	0	0
4	1	492	6,85	3,31	0	0	57,14	8,97	0,00	25	183	35,79	0	0
	2		12,77	4,36	0	0	88,38	16,73	0,00	0	155,2	80	82	0
5	1	276	1,42	0,83	0	0	13,29	1,86	0,00	0	0	0	0	0
	2		7,3	6,89	0	0	94,59	9,56	0,00	0	105	59	40	0
6	1	378	1,7	4,62	0	0	52,24	2,23	0,00	0	0	95	100	0
	2		3,79	21,08	0	0	224,49	4,96	0,00	0	97,7	101,7	97,7	0
7	1	463	6,32	1,69	221,52	0	39,21	8,28	52,30	140	0	130	0	0
	2		10,58	1,69	221,52	0	54,12	13,86	52,30	51,77	201,7	91,09	0	0
8	1	329	0,56	0	0	0	1,96	0,73	0,00	0	0	0	0	0
	2		7,47	1,13	0	0	37,47	9,79	0,00	74	134,6	111,85	0	0
9	1	299	2,91	0	0	0	10,19	3,81	0,00	15	0	0	0	0
	2		10,11	0	0	0	35,39	13,24	0,00	97	108	108	0	0
10	1	314	3,37	0	0	4,47	32,71	4,41	0,00	120	140	75	0	0
	2		5,55	5,4	0	0	73,53	7,27	0,00	120	180	75	0	0
11	1	493	14,94	0	0	0	52,29	19,57	0,00	40	270	105	0	0
	2		19,56	0,22	0	0	70,66	25,62	0,00	98,5	295,5	115	0	0
12	1	1047	31,4	0	1990,25	0,51	113,65	41,13	469,89	46	438	309	0	0
	2		42,25	6,57	2415,67	0	215,36	55,35	570,34	67,3	861	309	0	0
13	1	372	5,6	0	0	0	19,60	7,34	0,00	0	100	123	0	0
	2		7,64	0	0	0	26,74	10,01	0,00	102	204	123	0	0
14	1	1025	2,98	0,45	0	6,19	43,91	3,90	0,00	0	40	0	0	0
	2		43,81	0,45	43,96	6,19	186,84	57,39	10,38	178	620	450	0	0
15	1	371	6,11	0	0	0	21,39	8,00	0,00	61,7	117	92,3	0	0
	2		11,52	0,2	464,17	0	42,64	15,09	109,59	61,7	323,61	92,3	0	0
16	1	700	6,42	19,7	0	3,5	236,24	8,41	0,00	0	250	50	95	0
	2		16,56	19,7	0	3,5	271,73	21,69	0,00	0	550	200	100	0
17	1	700	2,47	9,3	0	0	101,83	3,24	0,00	0	0	20	0	50
	2		29,76	9,3	0	0	197,35	38,99	0,00	100	475	150	0	0
18	1	300	2,39	0	0	0	8,37	3,13	0,00	0	65	45	0	0
	2		9,28	0	0	0	32,48	12,16	0,00	0	200	45	0	0
19	1	450	3,04	0	0	0	10,64	3,98	0,00	0	50	20	0	0
	2		11,11	0	0	0	38,89	14,55	0,00	50	300	120	0	0
20	1	600	1,98	0	0	8,33	45,91	2,59	0,00	0	50	20	0	0
	2		12,9	3,98	628	8,33	124,44	16,90	148,27	100	450	100	0	0
21	1	850	10,23	4,95	1020,5	1,76	94,34	13,40	240,94	0	400	115	0	0
	2		22,62	13,96	1020,5	1,76	227,98	29,63	240,94	0	600	115	0	0
22	1	500	1,1	1,99	0	15,25	95,16	1,44	0,00	0	150	30	0	0
	2		9,58	3,15	15,25	0	65,10	12,55	3,60	0	350	80	0	0

Tabela V. 2 - Parte 1 da tabela de Inputs para o cálculo do consumo de água

CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO			Estrutura Nova						
Edifício	Cenário	Área Bruta (m ²)	Madeira Maciça (m ³)	Madeira Lamelada Colada (m ³)	Betão Armado C25/30 (m ³)	Betão Limpeza (m ³)	Blocos de Betão Maciço (kg)	Abobadilhas (kg)	Vigotas P3 (m ³)
1	1	501	5,6	6,2	1,0	0,1	2,6	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	36,0	0,1	2,6	14382,6	4,2
2	1	627	17,2	10,6	2,0	0,3	2,8	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	32,9	0,3	2,8	20802,0	6,1
3	1	323	22,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	13370,0	3,9
4	1	492	3,4	15,0	4,9	0,2	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	28,6	0,2	0,0	17546,9	5,2
5	1	276	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	7029,2	2,1
6	1	378	5,4	0,0	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	14192,9	4,2
7	1	463	1,3	18,8	28,1	0,7	0,6	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	54,7	0,7	0,6	18735,3	5,5
8	1	329	0,9	3,5	71,3	5,3	59,6	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	72,9	5,3	59,6	14319,6	4,2
9	1	299	1,9	0,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	23,7	0,0	0,0	15183,8	4,5
10	1	314	6,7	6,3	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	17,1	0,0	0,0	14816,1	4,4
11	1	493	2,3	22,1	13,0	0,6	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	43,7	0,6	0,0	29502,7	8,7
12	1	1047	24,2	29,5	115,9	26,7	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	132,2	26,7	0,0	69279,3	20,4
13	1	372	8,0	3,5	93,4	3,1	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	79,1	3,1	0,0	20822,6	6,1
14	1	1025	3,5	2,8	0,0	31,4	20366,2	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	117,6	31,4	20366,2	58363,8	17,2
15	1	371	0,2	8,5	18,4	0,2	14172,8	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	37,8	0,2	14172,8	23380,0	6,9
16	1	700	2,7	5,5	18,8	1,0	0,0	5251,4	1,0
	2		0,0	0,0	64,5	1,0	0,0	19539,3	5,2
17	1	700	0,4	9,3	18,7	0,6	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	52,8	0,6	0,0	35003,7	10,2
18	1	300	0,0	3,8	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	20,5	0,0	0,0	7774,8	2,3
19	1	450	7,0	1,5	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	31,7	0,0	0,0	12992,1	3,6
20	1	600	9,3	0,0	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	31,9	0,0	0,0	23818,9	7,0
21	1	850	0,6	17,4	5,3	0,3	6018,0	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	40,3	0,3	6018,0	33878,4	9,9
22	1	500	4,1	0,7	22,5	0,2	14254,5	0,0	0,0
	2		0,0	0,0	29,7	0,2	14254,5	12020,3	3,5

Tabela V. 3 - Parte 2 da tabela de Inputs para o cálculo do consumo de água

CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO			Estrutura Nova						
Edifício	Cenário	Área Bruta (m ²)	Betão Enchimento C25/30 (m ³)	Área superficial de betão armado (m ²)	Área de laje aligeirada (m ²)	Betão C30/37 (m ³)	Aço - Vigotas (kg)	Armadura Distribuição (kg)	Aço Perfis Metálicos (kg)
1	1	501	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	450,1
	2		15,7	340,0	206,0	4,2	56,3	515,0	450,1
2	1	627	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	644,7
	2		22,8	400,0	290,7	6,1	81,7	726,6	0,0
3	1	323	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2106,0
	2		15,0	250,7	180,8	3,9	52,6	452,1	0,0
4	1	492	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	398,4
	2		19,7	350,0	250,0	5,2	69,1	625,0	0,0
5	1	276	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	353,2
	2		8,0	171,3	105,0	2,0	27,4	262,5	0,0
6	1	378	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2347,3
	2		15,7	308,8	195,4	4,2	55,8	488,5	0,0
7	1	463	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3736,9
	2		21,0	350,7	253,5	5,5	73,8	633,7	0,0
8	1	329	0,0	180,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6088,1
	2		16,3	320,5	202,2	4,2	56,0	505,5	6088,1
9	1	299	0,0	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1631,6
	2		17,2	314,1	205,0	4,5	59,8	512,5	0,0
10	1	314	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1306,3
	2		16,8	268,2	206,2	4,3	58,1	515,5	0,0
11	1	493	0,0	110,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15631,8
	2		33,3	517,0	394,0	8,7	116,2	985,0	0,0
12	1	1047	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58752,3
	2		78,3	1244,0	928,0	20,4	272,8	2320,0	0,0
13	1	372	0,0	290,0	0,0	0,0	0,0	0,0	564,9
	2		23,7	437,8	306,0	6,1	81,0	765,0	0,0
14	1	1025	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11075,5
	2		62,1	1250,0	799,0	17,2	229,4	1997,6	1297,0
15	1	371	0,0	73,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8322,0
	2		26,1	353,0	323,6	6,9	91,8	809,0	0,0
16	1	700	4,2	100,0	80,0	1,0	13,3	200,0	7065,0
	2		19,9	800,0	650,0	5,2	69,3	1625,0	7065,0
17	1	700	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13266,5
	2		51,8	800,0	650,0	10,2	136,1	1625,0	13266,5
18	1	300	0,0	250,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		16,0	270,0	125,0	2,3	30,2	312,5	0,0
19	1	450	0,0	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		27,5	430,0	205,0	3,6	48,0	512,5	0,0
20	1	600	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2		45,0	550,0	350,0	7,0	93,0	875,0	0,0
21	1	850	0,0	150,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6594,0
	2		37,9	650,0	482,2	9,9	132,5	1205,6	785,0
22	1	500	0,0	90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	471,0
	2		30,6	350,0	180,0	3,5	46,7	450,0	471,0

Tabela V. 4 - Parte 3 da tabela de Inputs para o cálculo do consumo de água

A tabela seguinte apresenta o consumo total de água em m³ por m² de edifício, os valores foram obtidos através da multiplicação dos parâmetros das tabelas anteriores pelo consumo de água unitários apresentados na tabela 6.10 do relatório e divididos pela área total de edifício.

CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO		Consumo de água (m ³ /m ²)							Total
		Demolição			Reabilitação				
		Maquinaria	Poeira e Partículas	Vazadouro	Materiais Novos			Transporte	
Madeira	Aço				Betão				
Edifício	Cenário								
1	1	0,0050	0,0081	0,0000	0,0169	0,0137	0,0093	0,0002	0,05
	2	0,0055	0,0178	0,0001	0,0000	0,0275	0,4764	0,0053	0,53
2	1	0,0004	0,0203	0,0001	0,0299	0,0156	0,0155	0,0003	0,08
	2	0,0006	0,0175	0,0001	0,0000	0,0157	0,4183	0,0046	0,46
3	1	0,0002	0,0000	0,0000	0,0385	0,0992	0,0072	0,0003	0,15
	2	0,0009	0,0206	0,0002	0,0000	0,0190	0,5056	0,0056	0,55
4	1	0,0006	0,0142	0,0001	0,0302	0,0123	0,0450	0,0005	0,10
	2	0,0010	0,0177	0,0002	0,0000	0,0171	0,4598	0,0050	0,50
5	1	0,0003	0,0000	0,0001	0,0046	0,0195	0,0000	0,0000	0,02
	2	0,0019	0,0204	0,0004	0,0000	0,0127	0,3936	0,0042	0,43
6	1	0,0008	0,0129	0,0002	0,0079	0,0945	0,1419	0,0014	0,26
	2	0,0033	0,0209	0,0008	0,0000	0,0175	0,6511	0,0068	0,70
7	1	0,0040	0,0146	0,0001	0,0365	0,1228	0,2713	0,0027	0,45
	2	0,0042	0,0208	0,0001	0,0000	0,0186	0,7537	0,0078	0,81
8	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0107	0,2815	1,0023	0,0094	1,30
	2	0,0006	0,0264	0,0001	0,0000	0,3022	1,2745	0,0129	1,62
9	1	0,0002	0,0013	0,0000	0,0036	0,0830	0,2067	0,0019	0,30
	2	0,0007	0,0280	0,0001	0,0000	0,0232	0,6393	0,0070	0,70
10	1	0,0006	0,0289	0,0002	0,0290	0,0633	0,0739	0,0008	0,20
	2	0,0013	0,0327	0,0003	0,0000	0,0222	0,5097	0,0057	0,57
11	1	0,0006	0,0238	0,0001	0,0411	0,4823	0,1194	0,0014	0,67
	2	0,0008	0,0288	0,0001	0,0000	0,0271	0,7366	0,0081	0,80
12	1	0,0145	0,0210	0,0001	0,0371	0,8535	0,5691	0,0059	1,50
	2	0,0181	0,0337	0,0002	0,0000	0,0301	1,0179	0,0111	1,11
13	1	0,0003	0,0163	0,0000	0,0202	0,0231	1,1276	0,0105	1,20
	2	0,0004	0,0316	0,0000	0,0000	0,0276	1,2826	0,0131	1,36
14	1	0,0002	0,0012	0,0001	0,0043	0,1643	0,1335	0,0017	0,31
	2	0,0013	0,0335	0,0002	0,0000	0,0456	0,9510	0,0103	1,04
15	1	0,0003	0,0198	0,0000	0,0200	0,3412	0,2809	0,0029	0,67
	2	0,0098	0,0365	0,0001	0,0000	0,0295	0,8699	0,0095	0,96
16	1	0,0019	0,0159	0,0005	0,0089	0,1572	0,1535	0,0017	0,34
	2	0,0021	0,0343	0,0005	0,0000	0,1829	0,5546	0,0057	0,78
17	1	0,0008	0,0043	0,0002	0,0117	0,2883	0,1196	0,0012	0,43
	2	0,0016	0,0293	0,0003	0,0000	0,3188	0,6810	0,0076	1,04
18	1	0,0002	0,0103	0,0000	0,0110	0,0000	0,1139	0,0011	0,14
	2	0,0006	0,0238	0,0001	0,0000	0,0139	0,5312	0,0056	0,58
19	1	0,0001	0,0044	0,0000	0,0114	0,0000	0,1381	0,0013	0,16
	2	0,0005	0,0294	0,0001	0,0000	0,0151	0,5714	0,0061	0,62
20	1	0,0004	0,0033	0,0002	0,0087	0,0000	0,1372	0,0013	0,15
	2	0,0088	0,0308	0,0004	0,0000	0,0196	0,5660	0,0063	0,63
21	1	0,0094	0,0175	0,0001	0,0180	0,1180	0,0397	0,0005	0,20
	2	0,0103	0,0246	0,0003	0,0000	0,0332	0,4478	0,0050	0,52
22	1	0,001049	0,010500	0,000536	0,005724	0,014328	0,244429	0,002348	0,278913
	2	0,000945	0,025000	0,000127	0,000000	0,026388	0,564131	0,006068	0,622660
Média	1	0,0019	0,0113	0,0001	0,0185	0,1476	0,2250	0,0022	0,4066
	2	0,0034	0,0265	0,0002	0,0000	0,0566	0,6753	0,0073	0,7693

Tabela V. 5 - Valores totais do consumo de água em m³ por m² de edifício para cada caso de estudo