

Inspeção, diagnóstico e projecto no âmbito da reabilitação de edifícios antigos do Porto

Relatório de Estágio

Adelino Filipe Oliveira Coelho

Relatório de Estágio apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialização em Estruturas, realizada sob orientação do Professor Alexandre Costa, do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, e co-orientação do Eng.º Tiago Ilharco, da NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.

À minha família

À Sónia

Agradecimentos

Ao meu orientador, Eng.º Tiago Ilharco, pela orientação, partilha de conhecimentos e confiança, propulsou consideravelmente o meu conhecimento do tema deste trabalho e na percepção do exercer da engenharia.

Ao meu co-orientador, Prof. Alexandre Costa, pela orientação, opiniões e conselhos partilhados que, sem reservas, contribuiu significativamente para o aumento do meu conhecimento e das minhas competências pessoais.

À equipa do NCREP, Eng.º Bruno Quelhas, Eng.º Francisco Carneiro, Eng.º João Miranda Guedes e Eng.º Valter Lopes, pelo auxílio nos conhecimentos partilhados e pela disponibilidade constante.

Aos laboratórios de Construções e de Estruturas do ISEP, pelos equipamentos de ensaios disponibilizados.

Aos meus amigos e a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, com a disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Aos meus pais e ao meu irmão, por inculcaram a estima pelo estudo e a concretização profissional, entre outros valores essenciais na conclusão do presente trabalho.

À Sónia, pelo apoio, acompanhamento e, acima de tudo, pelo incentivo constante, que tornaram a finalização deste trabalho mais simples.

Palavras-chave e Resumo

Palavras-chave: Reabilitação de edifícios, Inspeção, Diagnóstico, Projecto, Porto.

O presente relatório de estágio apresenta as actividades desenvolvidas durante o período do estágio curricular, com a duração de 6 meses, na empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.

As actividades incluíram a realização de campanhas de inspeção e a avaliação de danos na fase de diagnóstico, com a aplicação de técnicas de ensaio não destrutivo *in situ*, de modo a auxiliar a definição, em fase de projecto, de medidas de reabilitação/reforço estrutural.

Inicialmente apresenta-se uma caracterização dos edifícios antigos do Porto, através de uma breve síntese dos elementos que compõem o seu sistema estrutural. Descrevem-se as técnicas de inspeção, diagnóstico e as acções de reforço/substituição envolvidas em projectos de estabilidade para reabilitação dos edifícios antigos. De forma a complementar a descrição destas actividades, identificam-se os principais danos estruturais por tipo de material afectado e as técnicas de ensaio que auxiliam a análise qualitativa dos danos, envolvendo a utilização de ferramentas tradicionais e a realização de ensaios não destrutivos com o Pilodyn, Resistógrafo, Ferrosan PS200 e esclerómetro de Schmidt.

No final deste trabalho são apresentados em pormenor dois projectos acompanhados, desde a fase de inspeção e diagnóstico, até à fase de projecto e obra.

Por último, apresenta-se o desenvolvimento de um procedimento tipo (em formato de checklist) para a inspeção de estruturas, a implementar no NCREP, cuja necessidade foi detectada ao longo do acompanhamento das várias actividades realizadas neste estágio.

Keywords and Abstract

Keywords: Buildings' Rehabilitation, Inspection, Diagnosis, Design Project, Porto.

This report presents the activities developed during the internship, at the company NCREP - Consultancy and Rehabilitation of Built Heritage, Lda, over the last 6 months.

These activities focused on the execution of inspection campaigns and on the evaluation of damages at the diagnostic phase, making use of non-destructive in-situ tests and helping on the definition of rehabilitation and structural reinforcement measures.

Firstly, this work presents a characterization of Porto's old buildings, through a brief summary of its structural system. The inspection techniques, diagnostic and strengthening/substitution actions on the intervention project for old buildings rehabilitation are also described. To complement the description of these activities, the main structural damages are identified, assembled by type of affected material, and the testing techniques that assists the analysis of the qualitative damages, like the use of traditional tools, and the execution of more advanced non-destructive test, as Pilodyn, Resistograph, Ferroskan PS200 and Schmidt Hammer, are described.

At the end of this report, two projects are introduced and described in detail, from the inspection and diagnostic phase, until the design project and the construction phase.

To conclude, this report presents the development of a standard procedure (checklist format) for the inspection of structures to be implemented at NCREP. The need of this standard procedure has been detected during the activities developed during the internship.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Considerações iniciais	1
1.2.	Objectivos.....	2
1.3.	Organização do relatório.....	3
2.	Caracterização do sistema estrutural dos edifícios antigos do Porto	5
2.1.	Introdução	5
2.2.	Descrição sumária dos edifícios.....	7
2.3.	Síntese dos elementos estruturais	11
2.3.1.	Paredes de alvenaria.....	11
2.3.2.	Paredes de tabique	13
2.3.3.	Pavimentos e escadas em madeira.....	14
2.3.4.	Cobertura em madeira.....	16
2.3.5.	Elementos introduzidos após a construção do edifício	17
3.	Inspeção, diagnóstico e intervenção sustentada na reabilitação de edifícios.....	19
3.1.	Introdução	19
3.2.	Inspeção visual e recolha de informação.....	20
3.3.	Danos estruturais característicos	21
3.3.1.	Danos em elementos de alvenaria.....	22
3.3.2.	Danos em elementos de madeira	24
3.3.3.	Danos em elementos introduzidos após construção do edifício	29
3.4.	Diagnóstico e preconização de acções no projecto de reabilitação	30
3.5.	Técnicas de ensaio	32
3.5.1.	Ferramentas tradicionais.....	33
3.5.2.	Pilodyn	34
3.5.3.	Resistógrafo	35

3.5.4.	Ferroskan PS200	37
3.5.5.	Esclerómetro de Schmidt	38
4.	Trabalho desenvolvido.....	41
4.1.	Introdução.....	41
4.2.	Casos de estudo.....	41
4.2.1.	Edifício Rua da Torrinha	42
4.2.2.	Edifício Rua Barão São Cosme	62
4.2.3.	Realização de ensaios e sondagens nos dois casos de estudo	81
4.2.4.	Comparação das acções de reabilitação.....	82
4.3.	Implementação de procedimentos tipo para a inspecção de estruturas	100
5.	Considerações finais.....	105
5.1.	Trabalhos futuros.....	107
	Referências bibliográficas.....	109
	Anexo 1.1 – Edifício Rua da Torrinha, resultados dos ensaios experimentais	A.3
	Anexo 1.2 – Edifício Rua da Torrinha, memória de cálculo.	A.15
	Anexo 1.3 – Edifício Rua da Torrinha, peças desenhadas.	A.21
	Anexo 2.1 – Edifício Rua Barão São Cosme, resultados dos ensaios experimentais.	A.31
	Anexo 2.2 – Edifício Rua Barão São Cosme, memória de cálculo.	A.45
	Anexo 2.3 – Edifício Rua Barão São Cosme, peças desenhadas.	A.51

Índice de figuras

Figura 1 – Edifícios altos e estreitos que compõem o primeiro grupo de edifícios.	6
Figura 2 – Edifícios na Rua das Flores no Porto, que compõem o segundo grupo.	6
Figura 3 – Elementos de suporte característicos dos edifícios antigos do Porto.	7
Figura 4 – Particularidades dos edifícios antigos do Porto.	8
Figura 5 – Pavimentos de madeira existentes nos edifícios antigos do Porto.	9
Figura 6 – Exemplos de escadas encontradas.	9
Figura 7 – Clarabóia típica dos edifícios antigos do Porto.	10
Figura 8 – Estruturas em madeira características das coberturas do Porto.	10
Figura 9 – Parede de alvenaria em granito, diferentes tipologias.	12
Figura 10 – Elementos estruturais complementares à alvenaria de pedra.	13
Figura 11 – Paredes de tabique característica dos edifícios antigos do Porto.	14
Figura 12 – Pavimentos com estrutura em madeira, característicos do Porto.	15
Figura 13 – Escadas representativas dos edifícios em estudo.	16
Figura 14 – Descrição dos elementos estruturais que compõem a asna de Palladio.	16
Figura 15 – Fotografia de asna de Palladio, (NCREP, 2014j).	17
Figura 16 – Elementos em betão armado utilizados em intervenções após construção.	18
Figura 17 – Elementos metálicos utilizados em intervenções após construção.	18
Figura 18 – Sequência de actividades na reabilitação de edifícios.	19
Figura 19 – Tipo de danos comuns em alvenaria.	23
Figura 20 – Outro tipo de danos observados em elementos de alvenaria.	23
Figura 21 – Danos relacionados com defeitos em elementos de madeira.	25
Figura 22 – Danos observados por agentes abióticos (principal causa).	26
Figura 23 – Danos de origem biótica mais frequentes.	28
Figura 24 – Danos por intervenções desadequadas.	28

Figura 25 – Outro tipo de danos observados em elementos de madeira.	29
Figura 26 – Danos em elementos introduzidos após intervenções.	30
Figura 27 – Ferramentas tradicionais utilizadas nas campanhas de inspecção.	34
Figura 28 – Utilização do Pilodyn, nos elementos de madeira.	35
Figura 29 – Utilização do Resistógrafo, nos elementos de madeira.	36
Figura 30 – Utilização do Hilti Ferroskan PS200 nos elementos de betão armado.	37
Figura 31 – Resultado com o Ferroskan PS200 em laje maciça.	38
Figura 32 – Esclerómetro de Schmidt, utilizado nos ensaios em elementos estruturais de betão armado (Proceq, 2014).	39
Figura 33 – Caso de estudo: Edifício Rua da Torrinha.	42
Figura 34 – Fotografias de alguns dos compartimentos e plantas do levantamento geométrico do existente do Edifício Rua da Torrinha.	44
Figura 35 – Alterações em 1918 no Edifício Rua da Torrinha.	45
Figura 36 – Alterações do projecto de arquitectura do Edifício Rua da Torrinha.	46
Figura 37 – Elementos estruturais existentes do Edifício Rua da Torrinha.	48
Figura 38 – Paredes do Edifício Rua da Torrinha.	49
Figura 39 – Pavimentos de madeira dos diferentes pisos do Edifício Rua da Torrinha.	50
Figura 40 – Soalho e pormenor de patamar do Edifício Rua da Torrinha.	51
Figura 41 – Pormenor da mansarda e cobertura do Edifício Rua da Torrinha.	52
Figura 42 – Elementos em betão armado no Edifício Rua da Torrinha.	53
Figura 43 – Resultados dos ensaios com Ferroskan PS200 no Edifício Rua da Torrinha. ...	53
Figura 44 – Danos nas paredes de alvenaria de pedra no Edifício Rua da Torrinha.	55
Figura 45 – Danos nas paredes de tabique interiores no Edifício Rua da Torrinha.	55
Figura 46 – Danos nas paredes de tabique exteriores no Edifício Rua da Torrinha.	56
Figura 47 – Danos observados nos elementos de madeira no Edifício Rua da Torrinha. ...	57

Figura 48 – Danos observados na cobertura no Edifício Rua da Torrinha.	58
Figura 49 – Mapeamento de danos do Edifício Rua da Torrinha.	61
Figura 50 – Caso de estudo: Edifício Rua Barão São Cosme.	62
Figura 51 – Fotografias de alguns dos compartimentos e plantas do levantamento geométrico do existente do Edifício Rua Barão São Cosme.	64
Figura 52 – Alterações do projecto de arquitectura do Edifício Rua Barão São Cosme. ...	66
Figura 53 – Elementos estruturais existentes do Edifício Rua Barão São Cosme.	67
Figura 54 – Paredes existentes no Edifício Rua Barão São Cosme.	68
Figura 55 – Pavimentos de madeira dos pisos 0 e 1 do Edifício Rua Barão São Cosme. ...	69
Figura 56 – Pavimento de madeira do Edifício Rua Barão São Cosme.	70
Figura 57 – Escadas de comunicação entre pisos no Edifício Rua Barão São Cosme.	71
Figura 58 – Localização das coberturas Cob1 e Cob2 do Edifício Rua Barão São Cosme.	71
Figura 59 – Elementos estruturais da cobertura Cob1 do Edifício Rua Barão São Cosme.	72
Figura 60 – Clarabóia do Edifício Rua Barão São Cosme.	72
Figura 61 – Elementos da cobertura Cob2 do Edifício Rua Barão São Cosme.	73
Figura 62 – Danos nas paredes de alvenaria de pedra no Edifício Rua Barão São Cosme.	74
Figura 63 – Danos nas paredes de tabique do Edifício Rua Barão São Cosme.	74
Figura 64 – Danos no pavimento do piso 0 no Edifício Rua Barão São Cosme.	75
Figura 65 – Danos observados no piso 0 no Edifício Rua Barão São Cosme.	76
Figura 66 – Danos no pavimento do piso 1 e 2 no Edifício Rua Barão São Cosme.	76
Figura 67 – Danos na estrutura da cobertura Cob1 no Edifício Rua Barão São Cosme. ...	77
Figura 68 – Danos na asna A2_2 da cobertura Cob2 no Edifício Rua Barão São Cosme.	78
Figura 69 – Danos observáveis na cobertura Cob1 do Edifício Rua Barão São Cosme.	78
Figura 70 – Mapeamento de danos do Edifício Rua Barão São Cosme.	80
Figura 71 – Abertura de janelas de sondagens.	82

Figura 72 – Plantas estruturais dos pisos 0, 1 e 2 do Edifício Rua da Torrinha (plantas sem escala).....	94
Figura 73 – Plantas estruturais do piso 3 e cobertura do Edifício Rua da Torrinha (plantas sem escala).....	95
Figura 74 – Plantas estruturais dos pisos -1, 0 e 1, do Edifício Rua Barão São Cosme (plantas sem escala).....	96
Figura 75 – Plantas estruturais do piso 2 e coberturas, do Edifício Rua Barão São Cosme (plantas sem escala).....	97

Índice de quadros

Quadro 1 – Critérios para o mapeamento de danos do Edifício Rua da Torrinha.....	59
Quadro 2 – Critérios para o mapeamento de danos do Edifício Rua Barão São Cosme. ...	79
Quadro 3 – Elementos de madeira considerados na intervenção dos casos de estudo.....	84
Quadro 4 – Valores de cálculo das propriedades mecânicas dos elementos de madeira.	84
Quadro 5 – Síntese das intervenções nos pavimentos e escadas no Edifício Rua da Torrinha.	90
Quadro 6 – Síntese das intervenções nos pavimentos e escadas no Edifício Rua Barão São Cosme.....	91
Quadro 7 – Síntese das intervenções nas coberturas do Edifício Rua da Torrinha.....	91
Quadro 8 – Síntese das intervenções nas coberturas do Edifício Rua Barão São Cosme. ...	92

Lista de abreviaturas, siglas, acrónimos e símbolos

BIM – (Building Information Modeling)

DT – Ensaios destrutivos laboratoriais ou *in situ*

ELU – Estados Limites Últimos

ELS – Estados Limites Serviço

$f_{m,d}$ – Valor de cálculo da tensão resistente de flexão da madeira

$f_{t,o,d}$ – valor de cálculo da tensão resistente de tracção paralela ao fio da madeira

$f_{c,o,d}$ – Valor de cálculo da tensão resistente de compressão paralela ao fio da madeira

$f_{c,90,d}$ – Valor de cálculo da resistência à compressão perpendicular ao fio da madeira

$f_{v,d}$ – Valor característico da resistência ao corte da madeira da madeira

f_{ck} – Resistência à compressão característica do betão da madeira

G_k – valor característico de uma acção permanente

I/D – Inspecção/Diagnóstico

ICOMOS – International Council on Monuments and Sites

k_{mod} – coeficientes de segurança em função das classe de duração das acções para madeira

MAI – Meios de apoio à inspecção

NDT – Ensaios não destrutivos *in situ*

NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda

PID – Procedimento para a inspecção detalhada

PIP – Procedimento para a inspecção preliminar

Q – índice esclerométrico

Q_k – valor característico de uma acção variável

RID – Relatório de inspecção e diagnóstico

VR – Valor de Resistógrafo

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

O presente relatório de estágio insere-se no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado em Engenharia Civil no ramo das Estruturas, e tem como principal objectivo o preenchimento dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Estruturas.

Ao longo deste trabalho são apresentadas as actividades realizadas na empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. no período compreendido entre 31 de Janeiro e 31 de Julho de 2014.

A empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. presta serviços de consultoria, inspeção e diagnóstico, monitorização e projecto no âmbito da reabilitação das construções (NCREP, 2014a). Através da experiência acumulada pela equipa de trabalho no domínio da reabilitação e reforço de estruturas existentes, a equipa já desenvolveu inúmeros trabalhos científicos e relatórios técnicos nesta área, assim como já teve uma participação efectiva em diversos projectos e protocolos de colaboração técnica com instituições públicas e privadas (NCREP, 2014a).

Com base na experiência adquirida ao longo dos diversos trabalhos desenvolvidos pelo NCREP e seus objectivos para a salvaguarda do património, o presente trabalho, com o tema: “Inspeção, diagnóstico e projecto no âmbito da reabilitação de edifícios antigos do Porto”, focará as actividades acompanhadas de inspeção e diagnóstico (I/D) e de intervenção estrutural no âmbito dos projectos de reabilitação. Com estas acções procura-se minimizar o impacto sobre as construções e responder às necessidades de segurança estrutural, de forma a materializar um projecto de reabilitação adequado ao objecto de estudo.

Na realização deste trabalho pretendeu-se apresentar as actividades de I/D de forma sumária, tendo em conta a extensão do tema.

1.2. Objectivos

O presente estágio curricular é um processo de aprendizagem imprescindível na concretização profissional, com o objectivo fundamental de aprofundar o conhecimento referente à inspecção, diagnóstico e projecto no âmbito da reabilitação, em particular de edifícios antigos do Porto.

Desde modo definem-se as competências/objectivos a adquirir ao longo de todo o estágio:

- Aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo de todo o curso no DEC/ISEP/IPP;
- Integração no ambiente organizacional e na dinâmica da empresa NCREP;
- Estudo e aplicação prática das técnicas de inspecção e diagnóstico, utilizadas no NCREP;
- Participação na elaboração de projectos de reabilitação e reforço de estruturas existentes;
- Desenvolvimento e implementação de um procedimento tipo em formato *checklist* para a inspecção de edifícios.

No contexto do trabalho realizado, salienta-se a importância das acções de inspecção e diagnóstico como base fundamental para elaboração de projectos de reabilitação adequados ao sistema construtivo dos edifícios antigos.

Torna-se igualmente importante referir que na elaboração deste trabalho se pretendeu analisar a viabilidade da preservação/reabilitação dos elementos estruturais dos edifícios antigos do Porto, que marcam história da cidade, em detrimento de outras opções mais intrusivas de intervenção no edificado.

1.3. Organização do relatório

O trabalho está organizado em 5 capítulos. Para além deste capítulo introdutório, os restantes fazem uma descrição das actividades realizadas em estágio curricular.

O capítulo 2 apresenta uma breve descrição do sistema construtivo dos edifícios antigos do Porto, com uma exposição da sua tipologia e dos diferentes elementos construtivos que os compõem.

No capítulo 3 descrevem-se as actividades a desenvolver na reabilitação de edifícios, nomeadamente a inspecção visual, diagnóstico para avaliação dos danos e para posterior definição de medidas de intervenção em fase de projecto. Neste capítulo serão referidos os danos estruturais típicos dos edifícios centenários do Porto e as técnicas de ensaio utilizadas na fase de diagnóstico, que auxiliam a inspecção visual.

No capítulo 4 são apresentadas em pormenor as duas actividades desenvolvidas durante o período do estágio curricular, nomeadamente as actividades de I/D e de projecto de dois edifícios antigos do Porto, aplicando as metodologias do NCREP. Será ainda exposto um documento de trabalho que foi especificamente desenvolvido e implementado para definição dos procedimentos tipo a realizar em inspecções de estruturas.

No capítulo 5 são retiradas as principais conclusões do trabalho desenvolvido no estágio e registam-se as principais dificuldades sentidas.

Por último, os anexos apresentam toda a informação complementar para uma melhor interpretação e avaliação do conteúdo deste relatório de estágio.

2. Caracterização do sistema estrutural dos edifícios antigos do Porto

2.1. Introdução

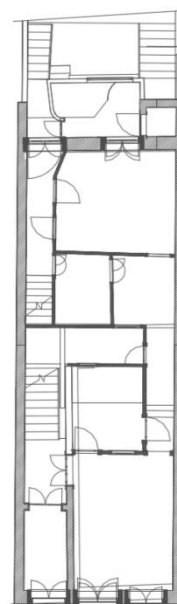
O estudo do sistema construtivo dos edifícios antigos da cidade do Porto é essencial, pois estas construções, com mais de 100 anos de idade e contendo técnicas e materiais tradicionais apresentam características distintas das estudadas ao longo do percurso académico, em que predomina a construção metálica e de betão armado. Por outro lado, como refere (NCREP, 2012a), é necessário conhecer os materiais e técnicas tradicionais para as acções de intervenções serem as mais adequadas.

Deste modo define-se por edifícios antigos, no âmbito deste trabalho, todos os edifícios construídos até ao início dos anos 30 do século XX com recurso a materiais tradicionais, nomeadamente a utilização de pedra e madeira como elemento estrutural. Pontualmente, a partir do início do século XX, e em alterações efectuadas nestes edifícios, são utilizados elementos estruturais modernos, como betão armado e perfis em aço (Teixeira, 2004).

Apesar de algumas semelhanças entre edifícios antigos da cidade do Porto, segundo (Ilharco, 2008) é possível dividir em dois grupos com características distintas - uns que se caracterizam pela verticalidade; outros que se caracterizam pela horizontalidade. O primeiro grupo é o mais comum da cidade do Porto, ilustrado na Figura 1, distingue-se por ser uma edificação alta, com planta rectangular, frente estreita e profundidade elevada, composta em média por 3 andares mas alcançado por vezes os 7 andares, com comércio no primeiro piso e habitação nos restantes. Normalmente o último andar é resultado de alterações realizadas posteriormente à data de construção do edifício. Este grupo representa a característica casa burguesa do Porto.



a) Edifícios na praça Carlos Alberto, Porto.



b) Esquema estrutural tipo.

Figura 1 – Edifícios altos e estreitos que compõem o primeiro grupo de edifícios.

O segundo grupo, ilustrado na Figura 2, mais restrito, distingue-se por uma construção mais baixa e larga, com numerosas portas e janelas de fachada, composta normalmente por rés-do-chão e andar nobre. Os palácios e edifícios mais nobres pertencem a este grupo. A nível de funcionamento estrutural, os dois grupos de edifícios são distintos, predominando uma construção robusta nos edifícios horizontais, com paredes exteriores e interiores de alvenaria em granito, enquanto nos edifícios verticais as paredes exteriores e de empena são de alvenaria de pedra e as paredes interiores são em tabique.



Figura 2 – Edifícios na Rua das Flores no Porto, que compõem o segundo grupo.

Os casos de estudo do estágio curricular enquadram-se no primeiro grupo de edifícios, pois é este grupo mais ocorrente na cidade do Porto, havendo por isso maior número de reabilitações.

2.2. Descrição sumária dos edifícios

Através das visitas a edifícios do centro histórico do Porto, durante as actividades de inspecção e diagnóstico, foi possível observar os diferentes elementos estruturais que compõem o sistema estrutural dos edifícios antigos desta cidade.

A estrutura resistente do edifício antigo é constituída, de uma forma geral, pelas paredes de fachada e de empena em alvenaria de granito. Por vezes em algumas construções mais antigas, as paredes resistentes de alvenaria de pedra são substituídas por paredes de frontal, que consistem num sistema estrutural de madeira com elementos verticais (prumos) e horizontais (travessas) contendo por vezes um contraventamento diagonal denominado por Cruzes de St. André (Figura 3.a). Como é característico dos edifícios antigos, nas paredes de tardoiz encontram-se cachorros em pedra, Figura 3.b), para suporte das lajetas em pedra das varandas que dão acesso aos sanitários.



a) Parede de frontal com cruz de St. André, b) Cachorro em pedra de granito na fachada posterior, (NCREP, 2012b).

Figura 3 – Elementos de suporte característicos dos edifícios antigos do Porto.

Em alguns casos, o último andar é construído depois da construção do edifício, dando origem a compartimentos de pequenas dimensões designados por trapeiras ou águas-furtadas, Figura 4.a), em que as novas paredes exteriores são em alvenaria de tijolo maciço ou em tabique com características estruturais.

As paredes interiores são em tabique simples, Figura 4.b), destinadas a compartimentação dos espaços, porém na zona da caixa de escadas são em tabique duplo para suporte dos seus elementos estruturais. Por vezes, as paredes em tabique perpendiculares às vigas de pavimento assumem funções resistentes, servindo de suporte intermédio. Ao nível do piso 0 e junto à fachada principal é comum a existência de paredes interiores em alvenaria de pedra, para diminuir os vãos dos pavimentos dos pisos superiores ou mesmo para suporte de escadas.



a) Trapeira existente num último piso, (NCREP, 2014c). b) Tabique simples, (NCREP, 2013e).

Figura 4 – Particularidades dos edifícios antigos do Porto.

O pavimento do rés-do-chão destes edifícios antigos é, na sua maioria, constituído por uma laje térrea com revestimento cerâmico, particularmente mosaico hidráulico. Em alguns edifícios, este pavimento apresenta um vigamento em madeira como nos pisos superiores, com existência de uma caixa-de-ar que pode ter até 0,80m de altura, Figura 5.a). Os pisos

superiores são materializados por pavimentos em madeira, outrora designados por sobrados, com vigas tarugadas de secção circular falqueadas ou rectangular e tábuas de soalho, ambos com alguma diversidade na espécie de madeira, Figura 5.b).



a) Vigamento em madeira no piso térreo, (NCREP, 2014h).

b) Estrutura do pavimento dos pisos elevados, (NCREP, 2014j).

Figura 5 – Pavimentos de madeira existentes nos edifícios antigos do Porto.

Relativamente à caixa de escadas, Figura 6, é composta por dois ou três lanços, com um ou dois patamares intermédios respectivamente, com elementos estruturais (pernas) em madeira.



a) Escada de dois lanços, (NCREP, 2013e).

b) Escada de três lanços, (NCREP, 2014c).

Figura 6 – Exemplos de escadas encontradas.

É típico na cidade do Porto a existência de uma clarabóia sobreposta à zona de escadas, Figura 7, constituída por uma estrutura de madeira, com prumos e tábuas curvas ajustadas à sua geometria, normalmente tronco-cónica.



a) Clarabóia de geometria tronco-cónica com 2,50m b) Clarabóia tronco-cónica com lanternim de diâmetro na base, (NCREP, 2013e). exterior, (NCREP, 2013a).

Figura 7 – Clarabóia típica dos edifícios antigos do Porto.

A cobertura, geralmente de duas ou quatro águas, em estrutura de madeira, é constituída por asnas, madres, rincão e frechal que servem de suporte às varas e ripas para fixação das telhas, Figura 8.



a) Estrutura da cobertura de quatro águas, b) União de águas, (NCREP, 2014l). (NCREP, 2014j).

Figura 8 – Estruturas em madeira características das coberturas do Porto.

Em suma, os edifícios antigos da cidade do Porto são constituídos na sua generalidade: por paredes exteriores resistentes em granito, paredes interiores em tabique (por vezes com função estrutural) e estrutura em madeira nos pavimentos, escadas e cobertura.

Porém, a partir do início do século XX, face ao desenvolvimento de novas técnicas e combinação de diferentes materiais as intervenções realizadas após a construção do edifício utilizam elementos em betão armado e metálicos.

2.3. Síntese dos elementos estruturais

A breve descrição apresentada anteriormente permite identificar os vários elementos que compõem o sistema construtivo dos edifícios antigos do Porto. Contudo, será dada relevância aos seguintes elementos estruturais:

- Paredes de alvenaria;
- Paredes de tabique;
- Pavimentos e escadas em madeira;
- Cobertura em madeira;
- Elementos introduzidos após construção.

A acção conjunta dos elementos estruturais assegura a capacidade resistente do edifício, face a acções verticais (cargas permanentes e sobrecargas) e horizontais (vento e acção sísmica), garantindo uma boa ligação entre elementos para garantir um bom comportamento global (Arêde et al., 2009).

2.3.1. Paredes de alvenaria

Na cidade do Porto a parede de alvenaria dos edifícios é essencialmente constituída por pedra em granito assente com argamassa constituída por cal, areia e saibro.

Como refere (Aníbal Costa et al., 2013), no âmbito do estudo para caracterização de alvenaria da cidade do Porto, a estrutura resistente é materializada por paredes exteriores

de alvenaria de pedra de fachada, tardoz e empena. A parede de fachada e tardoz é geralmente em alvenaria de pano duplo, Figura 9.a), com espessuras entre os 0,50m e 0,70m, devido ao número significativo de aberturas de grandes dimensões que possui. Por sua vez a parede de empena, Figura 9.b), geralmente meeira e comum a edifícios adjacentes, é em alvenaria de pano simples ou duplo com uma espessura variável entre os 0,30m e 0,50m. O espaço entre os panos duplos da alvenaria é preenchido com uma mistura de saibro e cal (Alexandre Costa, 2013).

As fundações contínuas são materializadas por alargamento das paredes de alvenaria de pedra.



a) Parede de pano duplo, (NCREP, 2012b). b) Parede de empena em pano simples, (NCREP, 2014j).

Figura 9 – Parede de alvenaria em granito, diferentes tipologias.

Como descreve (Appleton, 2003) a utilização de arcos em pedra talhada constitui uma técnica arrojada de substituição à comum padieira em pedra, Figura 10.a).

Ao nível do último piso, estas paredes são normalmente substituídas por alvenaria de tijolo maciço ou tabique, como demonstra a Figura 10.b).



a) Arco em pedra talhada, (NCREP, 2014g). b) Paredes em tijolo maciço no último piso, (NCREP, 2014l).

Figura 10 – Elementos estruturais complementares à alvenaria de pedra.

2.3.2. Paredes de tabique

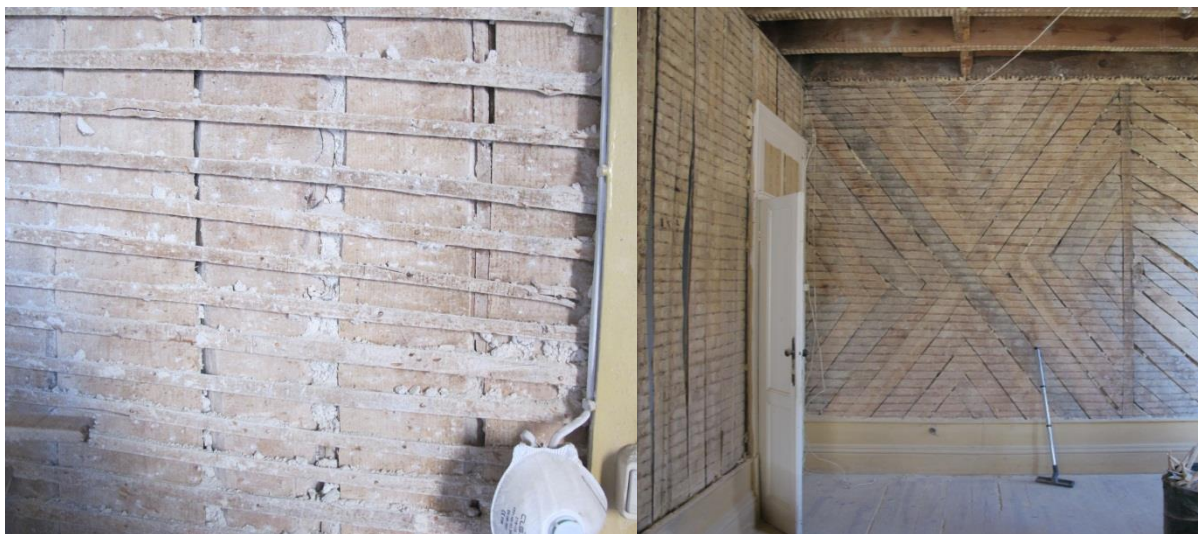
Os edifícios antigos do Porto apresentam normalmente duas tipologias diferentes de paredes de tabique: simples e duplo.

As paredes de tabique são divisórias destinadas a separar os diversos compartimentos, sendo a maioria em tabique simples sem função resistente. Porém, e devido à fluência, os pavimentos passam a carregar as paredes de tabique, que passam a assumir funções resistentes, contribuindo para o funcionamento estrutural do edifício.

O tabique simples, Figura 11.a), tem espessura total aproximada de 0,10m, e é composto por uma estrutura em madeira de pinho formada por: tábuas costaneiras verticais com espessura média entre os 3cm e 4cm, prumos verticais e por um fasquiado horizontal pregado em ambas as faces, sobre o qual é aplicado o reboco de cal e saibro (Segurado, 1942).

O tabique duplo, Figura 11.b), apresenta a mesma composição que o anterior, particularizando-se pela camada dupla de tábuas costaneiras, uma vertical e outra diagonal (Freitas & al., 2012). Este tipo de parede encontra-se normalmente no último

piso para suporte da cobertura e no apoio à caixa de escadas, concebido para desempenhar funções estruturais.



a) Tabique simples para compartimentação de espaços, (NCREP, 2014l).
b) Tabique duplo, com função estrutural, (NCREP, 2014j).

Figura 11 – Paredes de tabique característica dos edifícios antigos do Porto.

2.3.3. Pavimentos e escadas em madeira

Os pavimentos em madeira são o único elemento estrutural horizontal dos edifícios antigos do Porto, salvo a lajeta de pedra presente nas varandas de fachada. São constituídos pelo vigamento e pelo soalho apresentando também elementos secundários, tarugos e cadeias.

O vigamento consiste num conjunto de vigas com afastamentos que variam entre os 0,40m e os 0,70m de eixo a eixo, raramente passando os 7m de comprimento (Ilharco, 2008).

Inicialmente eram utilizados troncos de madeira em castanho (aparados em duas faces, perfazendo um diâmetro de 0,12m a 0,24m) para receber o soalho e o tecto, Figura 12.a).

A partir do século XX as vigas são esquadriadas, de secção rectangular, Figura 12.b), normalmente em pinho, com secção média de $0,08 \times 0,22\text{m}^2$ (Teixeira, 2004). Ambas as vigas são apoiadas ou encastradas nas paredes de alvenaria.

Por sua vez, o soalho é assente transversalmente ao vigamento, com espessuras variáveis entre os 0,02m e os 0,05m (Ilharco, 2008).

Frequentemente é disposto um alinhamento de tarugos no pavimento. A colocação deste elemento impede o fenómeno de instabilidade lateral-torsional designado por encurvadura lateral ou bambeamento (Segurado, 1942). Os tarugos consistem numa viga transversal ao sentido das vigas de pavimento, podendo ter secção idêntica à das vigas.



a) Vigas circulares falqueadas $\varnothing 0,16\text{m}$ com $0,70\text{m}$ de espaçamento, (NCREP, 2014i).
 b) Vigas com secção rectangular de $0,08 \times 0,21\text{m}^2$ com $0,70\text{m}$ de espaçamento, (NCREP, 2014l).

Figura 12 – Pavimentos com estrutura em madeira, característicos do Porto.

Como se referiu atrás, a escada interior mais comum nos edifícios antigos do Porto é composta por dois ou três lanços, Figura 13.a), com um ou dois patamares intermédios respectivamente. Cada lanço é constituído por duas ou três vigas inclinadas de madeira, designadas por pernas, apoiadas nas cadeias de patamar de pavimento e nos patamares intermédios, como assinalado na Figura 13.b).

Sobre as pernas são colocadas as tábuas de espelho e cobertor, que compõem os degraus. A secção transversal e tipo de espécie de madeira das pernas e cadeias são geralmente semelhantes às das vigas de pavimento.



a) Escadas de dois lanços, (NCREP, 2014h). b) Esquema estrutural, (NCREP, 2014l).
 Figura 13 – Escadas representativas dos edifícios em estudo.

2.3.4. Cobertura em madeira

A cobertura em madeira é um elemento característico dos edifícios antigos em estudo. A configuração mais comum, para vãos até 6,0m (referido por vários autores da bibliografia), é composta por asnas clássicas afastadas até 3,0m, orientadas na direcção transversal do edifício, que servem de apoio aos elementos longitudinais, nomeadamente cumeeira, madres e rincões. Estes últimos elementos recebem as varas, sobre as quais é pregado o ripado de suporte das telhas.

A asna clássica, designada por asna de Palladio, é constituída por linha, duas pernas, duas escoras e pendural, como ilustra a Figura 14 e Figura 15. Em vãos menores, a asna apresenta uma estrutura mais simples, composta por linha e duas pernas.

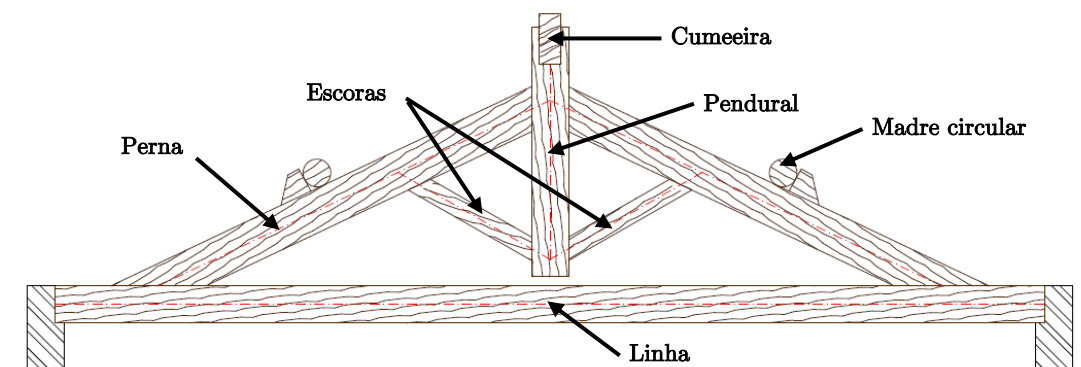


Figura 14 – Descrição dos elementos estruturais que compõem a asna de Palladio.



Figura 15 – Fotografia de asna de Palladio, (NCREP, 2014j).

Perante uma cobertura de duas águas, a estrutura é materializada por madres apoiadas nas paredes de empena, que recebem as varas e ripado.

Os elementos estruturais da cobertura foram, à semelhança das vigas de pavimento, de secção circular até finais do século XIX. Após essa data passaram a ser de secção rectangular (Segurado, 1942), com características idênticas às dos pavimentos, enquanto o ripado é de madeira menos nobre, normalmente de pinho.

2.3.5. Elementos introduzidos após a construção do edifício

Ao longo das décadas o edifício portuense sofre alterações decorrentes de diversos motivos, nomeadamente: abertura de vãos maiores; necessidade de construir novos compartimentos para instalação de cozinhas e casas de banho; reforço de elementos estruturais de madeira que apresentam deformações significativas; criação de pavimentos térreos exteriores, entre outros.

Estas alterações envolvem normalmente o uso de vigas, lajes e pilares em betão armado, Figura 16, solução utilizada mais correntemente em novas construções a partir de meados do século XX (Teixeira, 2004).

É também frequente a utilização de elementos metálicos, sob forma de perfil do tipo “U”, “T” e “H”, Figura 17.



a) Sondagem em viga de betão para levantamento do diâmetro dos varões, (NCREP, 2014g).

b) Pilar de betão armado para suporte de compartimentos na fachada posterior, (NCREP, 2011).

Figura 16 – Elementos em betão armado utilizados em intervenções após construção.



a) Perfil metálico UPN240 para apoio intermédio do pavimento de madeira, (NCREP, 2014g).

b) Perfil metálico UPN240 para suporte de laje de betão armado, (NCREP, 2014g).

Figura 17 – Elementos metálicos utilizados em intervenções após construção.

3. Inspeção, diagnóstico e intervenção sustentada na reabilitação de edifícios

3.1. Introdução

O parque edificado do centro histórico do Porto é constituído por edifícios envelhecidos e degradados. A reabilitação permite uma nova utilização destes edifícios. Como é referido em (ICOMOS, 2004), cada intervenção de reabilitação deve ser antecedida por uma análise global ao edifício, conseguida através de actividades de inspeção e diagnóstico.

Estas actividades têm como objectivo avaliar o estado de conservação e a segurança da estrutura, sendo os seus resultados normalmente apresentados num documento designado por “Relatório de Inspeção e Diagnóstico”. Este documento é um instrumento importante na elaboração de projectos de reabilitação, pois é com base neste que são definidas as soluções e as estratégias de intervenção.

Este capítulo é apresentado de forma sistemática na Figura 18, que descreve os principais focos da inspeção, diagnóstico e projecto na reabilitação de edifícios, em particular em edifícios antigos do Porto. Apresentam-se também os trabalhos envolvidos em cada fase, assim como os documentos que deverão ser produzidos numa intervenção de reabilitação devidamente sustentada no conhecimento das pré-existências.

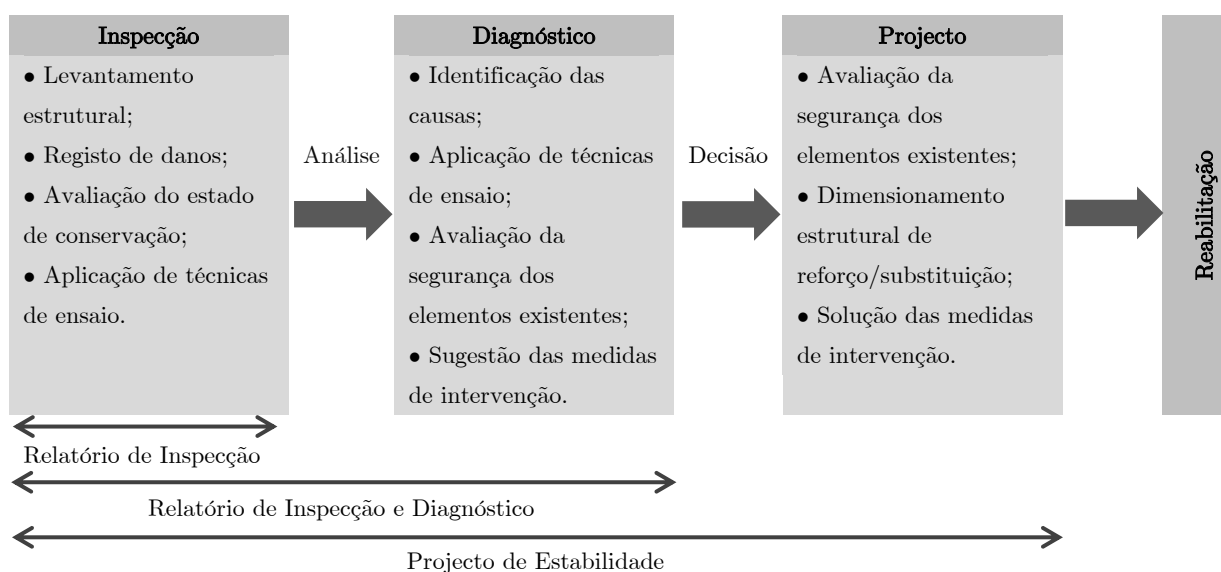


Figura 18 – Sequência de actividades na reabilitação de edifícios.

3.2. Inspeção visual e recolha de informação

A inspeção visual corresponde à fase de levantamento e caracterização dos elementos estruturais existentes, assim como à avaliação do estado de conservação e registo dos danos observados.

Por vezes, caso seja pretendido, é efectuada também a avaliação dos danos em elementos não estruturais como o soalho dos pavimentos, varas e ripado da cobertura.

Geralmente a inspeção antecede e sustenta a fase de diagnóstico e, por isso, juntamente com as actividades de inspeção, são realizados ensaios *in situ* que auxiliam a avaliação qualitativa dos elementos. Quando são pretendidas estas duas fases, é elaborado um documento final denominado por “Relatório de Inspeção e Diagnóstico”. Caso só seja pretendida a fase de inspeção é elaborado um “Relatório de inspeção”, onde consta a caracterização estrutural, os danos observados e a avaliação do estado de conservação.

Para auxiliar esta actividade deverá ser realizada uma pesquisa histórica sobre o edifício em análise de modo a avaliar as transformações e intervenções realizadas no passado. No Porto é possível, a partir do Arquivo Histórico Municipal situado no edifício da Casa do Infante, encontrar toda a informação disponível referente a memórias descritivas, peças desenhadas, descrição de trabalhos de manutenção e pedidos de alterações.

Esta actividade de inspeção não tem, de uma forma geral, carácter destrutivo para estrutura. No entanto, por vezes são realizadas sondagens pontuais com ferramentas auxiliares, para a caracterização dos elementos estruturais, que geralmente se encontram ocultos pelos seus revestimentos.

A inspeção deve ser sistemática, tendo em conta as três etapas que normalmente a englobam:

- Inspeção preliminar, com o objectivo de obter uma visão global do edifício, dividida por actividades de pesquisa e planeamento:

- Recolha de informação através da pesquisa histórica e registos de construção, que permitem conhecer melhor o edifício;
 - Identificação das potenciais zonas de risco e possíveis danos;
 - Avaliação da necessidade de criar condições de acesso, limpeza e iluminação;
 - Definição da estratégia de inspeção detalhada e localização de janelas de sondagem;
 - Identificação dos equipamentos necessário à inspeção;
 - Preparação de plantas ou desenhos esquemáticos da estrutura, através da recolha de informação ou de plantas e levantamentos fornecidos.
- Inspeção detalhada, onde são realizadas as actividades *in situ*:
 - Caracterização dos elementos estruturais (tipo de material e geometria);
 - Levantamento e/ou verificação da planta estrutural do edifício;
 - Registo detalhado dos danos observados;
 - Observação de estruturas vizinhas e verificação da eventual existência, de patologias semelhantes ou relacionadas;
 - Registo fotográfico.
 - Eventualmente e se necessário, uma terceira inspeção realizada após o início dos trabalhos de reabilitação, para acesso a zonas restritas na fase anterior.

3.3. Danos estruturais característicos

Nas actividades de inspeção e diagnóstico, a interpretação dos danos (ou patologias) é fundamental para avaliar correctamente o estado de conservação do edifício.

Deste modo é importante apresentar os principais danos estruturais, que comprometem a durabilidade e desempenho estrutural, dos elementos estruturais dos edifícios antigos do Porto, assim como as possíveis causas. Os danos serão agrupados da seguinte forma:

- Danos em elementos de alvenaria;
- Danos em elementos de madeira;
- Danos em elementos introduzidos após construção do edifício.

Segundo (Rodrigues, 2013), durante a inspeção, e de forma a obter um diagnóstico completo, cada dano deverá ser caracterizado tendo em conta:

- A sua natureza (tipo de dano/designação e sua causa);
- A sua forma, espessura, etc.;
- O seu estado de desenvolvimento e extensão;
- A sua localização.

3.3.1. Danos em elementos de alvenaria

Os danos em alvenaria estão associados a fenómenos de instabilidade, local ou global, nomeadamente a mecanismos de deformação ou rotura, como refere (Freitas & al., 2012). Estes danos geralmente são associados ao comportamento heterogéneo do material (Roque, 2002).

A deformação na alvenaria manifesta-se pelo desvio face ao alinhamento original, originando a perda da verticalidade dos paramentos.

Por sua vez, a rotura, como se pode observar pela Figura 19.a), é provocada pelo excesso de cargas instaladas na alvenaria, dependendo do tipo de solicitação: sob a forma de fissura (por tracção, instalando-se uma abertura sem separação do elemento), fractura ou fenda (por tracção, instalando-se uma abertura com separação total do elemento), esmagamento (por compressão), abertura e deslizamento de junta (ambos por deslocamento relativo) (Alexandre Costa, 2013).

Para além destes, são encontrados danos como: ausência pontual das unidades de alvenaria, inexistência de argamassa de ligação, aparecimento de sais cristalizados à

superfície, manchas de humidade (Figura 19.b)), delaminação e desintegração das unidades (Figura 20).

As principais causas dos danos referidos são: falta de manutenção, presença de água no interior da alvenaria, movimentação das fundações, aumento das cargas actuantes e intervenções descuidadas ao longo dos anos.



a) Fractura na empena em alvenaria de granito, (NCREP, 2014i).

b) Manchas de humidade na parede de alvenaria de pedra, (NCREP, 2014k).

Figura 19 – Tipo de danos comuns em alvenaria.



a) Delaminação das unidades na parede resistente em alvenaria de tijolo maciço, (NCREP, 2014k).

b) Desintegração das unidades na parede de alvenaria de tijolo maciço, (NCREP, 2013d).

Figura 20 – Outro tipo de danos observados em elementos de alvenaria.

3.3.2. Danos em elementos de madeira

A madeira tem características particulares, pelo facto de se tratar de uma matéria-prima de origem vegetal, as patologias manifestadas são distintas das apresentadas pelos restantes materiais.

Os danos mais frequentes, particularizados por elemento construtivo são:

- Em pavimentos e coberturas: degradação material, deformação significativa, vibração acentuada, esmagamento, teor em água elevado, fendas, empenos, ligação deficiente entre elementos e rotura;
- Em paredes de tabique: degradação material, fissuração, deformação, degradação, esmagamento e falta de aderência do reboco.

Os danos observados em elementos constituídos por este material, são agrupados por diversos autores em função da sua causa:

- Danos relacionados com defeitos do material;
- Danos por agentes abióticos;
- Danos de origem biótica;
- Danos associados a deficiente concepção ou construção.

Os danos relacionados com defeitos e anomalias do material estão relacionados com as imperfeições intrínsecas da madeira, nomeadamente nós (Figura 21.a)), presença de bolsas de resina, desvio de inclinação do fio em relação ao eixo da peça que dão origem a empenos, abertura de fendas (Figura 21.b)), entre outros danos (Alexandre Costa, 2013).



a) Rotura do elemento de madeira por existência de nó junto ao apoio, (NCREP, 2013b).
b) Fenda de secagem existente em madre de cobertura, (NCREP, 2014c).

Figura 21 – Danos relacionados com defeitos em elementos de madeira.

Os danos originados por agentes abióticos, Figura 22, incluem os agentes atmosféricos, produtos químicos, acção do fogo e sismo, entre outros. Segundo (Martitegui et al., 2002), a acção dos agentes atmosféricos, em particular o radiação solar, chuva e vento, e os produtos químicos são as principais causas de degradação superficial. Em particular a presença de água nos elementos de madeira, através da entrada de água da chuva ou a partir do terreno, altera o seu teor em água, influenciando as suas características resistentes e criando condições para ataques de origem biótica.

As acções do fogo e sismo são descritos como agentes acidentais, que impedem a reutilização dos elementos e por vezes a sua rotura. Refere-se que no Porto não existem danos recentes causados pela acção do sismo, pelo facto de se localizar numa zona de baixa sismicidade.



a) Degradação e ataque biótico pela elevada entrada de água, (NCREP, 2014f).

b) Pavimento carbonizado por acção do fogo, (NCREP, 2014d).



c) Degradação significativa por acção da entrada de água pela cobertura, (NCREP, 2014l) .

d) Degradação acentuada por acção da entrada de água na parede exterior de tabique, (NCREP, 2014e).

Figura 22 – Danos observados por agentes abióticos (principal causa).

Por sua vez os danos de origem biótica alteram significativamente as propriedades físicas da madeira (Ilharco, 2008). São causados por vários organismos diferenciados como os fungos xilófagos, insectos de ciclo larvar e insectos sociais (térmitas). Os fungos xilófagos, Figura 23.a), são observados em zonas húmidas e mal ventiladas sob presença de bolores e (ou) fungos cromogéneos que criam condições para aparecimento de fungos de podridão parda e cúbica. Os insectos xilófagos de ciclo larvar, Figura 23.d), mais comuns em edifícios são os Anóbios (caruncho pequeno) e os Cerambicídeos (caruncho grande).

Segundo (Alexandre Costa, 2013), ambos insectos se alimentam pelo borne da madeira, sendo o primeiro mais encontrado em madeiras com alto teor em água e o segundo em baixo teor em água (cerca de 10-14%). Os ataques por insectos sociais (térmitas) da espécie *Reticulitermes Lucifigus Rossi* ou *Kaloterms Flavicollis*, Figura 23.e), são menos frequentes mas provocam danos graves na estrutura, sendo normalmente identificados pela existência de galerias e trilhos escuros no edifício.



a) Presença de fungos xilófagos em viga de pavimento, (NCREP, 2014b).



b) Degradação por ataque de insectos xilófagos (caruncho grande) em elementos da cobertura, (NCREP, 2014e).



c) Degradação acentuada por insectos xilófagos (caruncho grande) em vigas de pavimento, (NCREP, 2014g).



d) Ataque por insectos xilófagos (caruncho) na portada de madeira, (NCREP, 2013b).



e) Degradação da madeira por insectos sociais (térmitas da espécie *Reticulitermes Lucifigus Rossi*), (NCREP, 2014e).

f) Térmitas da espécie *Reticulitermes Lucifigus Rossi* observadas num edifício antigo do Porto, (NCREP, 2014e).

Figura 23 – Danos de origem biótica mais frequentes.

O último grupo de danos é referente à deficiente concepção, nomeadamente devido a más disposições construtivas e dimensionamento incorrecto, e a intervenções desadequadas,

Figura 24 e Figura 25.



a) Deficiente disposição construtiva dos elementos estruturais da cobertura, (NCREP, 2014f).

b) Deformação na viga de madeira de suporte intermédio do pavimento, com vão de 6,50m, (NCREP, 2014g).

Figura 24 – Danos por intervenções desadequadas.



a) Deformação do pavimento de madeira.

b) Inclinação acentuada na parede de tabique.

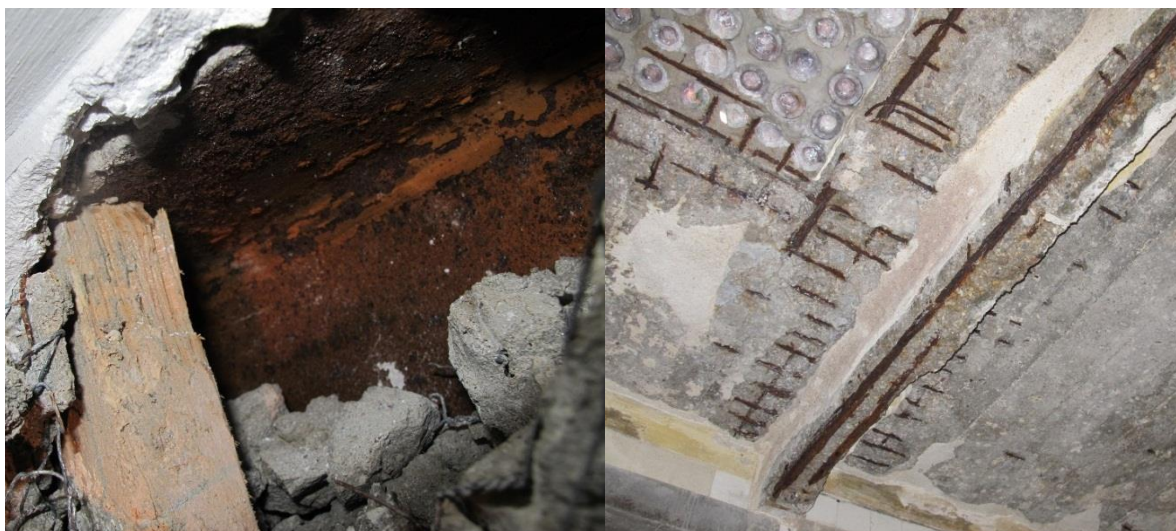
Figura 25 – Outro tipo de danos observados em elementos de madeira.

3.3.3. Danos em elementos introduzidos após construção do edifício

Ao longo dos anos os edifícios sofrem alterações, normalmente associados à introdução com perfis metálicos e (ou) elementos de betão armado.

A corrosão é o dano característico destes elementos, que consiste na formação de óxido de ferro na envolvente do elemento metálico devido à presença de água. Em perfis metálicos, Figura 26.a), este dano provoca redução de secção, interferindo com a capacidade resistente. Em vigas e lajes de betão armado, Figura 26.b), a corrosão provoca o aumento de volume das armaduras, criando tensões na camada de recobrimento, e provocando a sua fendilhação e no seu destacamento.

Outros danos comuns observados são: deformação excessiva; manchas de ferrugem (indício de corrosão com resíduos em cor ocre); fissuração nos revestimentos; rotura dos elementos. Em particular em vigas e lajes de betão armado é comum observarem-se eflorescências, delaminação e desintegração do betão.



a) Corrosão observada num perfil metálico UPN240, (NCREP, 2014g).
b) Corrosão das armaduras e destacamento do recobrimento em laje e viga de betão armado, (NCREP, 2013d).

Figura 26 – Danos em elementos introduzidos após intervenções.

3.4. Diagnóstico e preconização de acções no projecto de reabilitação

O diagnóstico estuda o estado da estrutura do edifício, apontando as causas que originaram os danos observados na fase de inspeção. Nesta fase, pode-se incluir avaliação de segurança dos elementos com o objectivo, por exemplo, justificar os danos observados.

A determinação das causas e a análise dos danos observados na fase de inspeção visual é, nesta fase, auxiliada por técnicas de ensaio, que permitem ter um conhecimento mais preciso do estado de conservação da estrutura.

Juntamente com estas acções é realizado o estudo do sistema estrutural do edifício, com base nos elementos históricos e no levantamento estrutural realizado durante a inspeção.

As técnicas de ensaio consistem na utilização de ferramentas auxiliares, ensaios *in situ* não destrutivos (NDT), envolvendo o Resistógrafo, o Pilodyn e o Ferrosan PS200, e a realização de ensaios destrutivos (DT) laboratoriais ou *in situ*.

Como a fase de diagnóstico é antecedida pela inspeção, os ensaios são realizados juntamente com as restantes actividades de inspeção. A informação resultante destas fases é apresentada num documento designado por “Relatório de Inspeção e Diagnóstico”,

que deverá conter: o âmbito do documento, a descrição do edifício, o levantamento geométrico da estrutura, a caracterização dos elementos estruturais, a exposição das técnicas de ensaio utilizadas, os resultados de ensaio, a avaliação dos danos e causas, a avaliação de segurança da estrutura, o estado de conservação dos elementos estruturais, as soluções e estratégias de intervenção.

Na avaliação da capacidade resistente dos elementos a manter e dimensionamento das soluções de reforço/substituição, em fase de projecto, os elementos estruturais são calculados para os Estados Limites Últimos (ELU) e de Utilização (ELS), normalmente com a realização de modelos numéricos com recurso a programas de cálculo automático.

As fases de avaliação (diagnóstico ou projecto) e dimensionamento estrutural (projecto) têm por base aplicação da regulamentação em vigor, nomeadamente regulamentação portuguesa e europeia, cartas internacionais na área de conservação e restauro, bibliografia específica e regras de boas práticas na construção. Por vezes a caracterização mecânica de alguns dos elementos estruturais, como as paredes de alvenaria de granito e as vigas de madeira, baseiam-se em valores obtidos em ensaios experimentais realizados em estudos de caracterização dos edifícios da cidade do Porto.

Todas estas actividades culminam na definição das acções de intervenção para a reabilitação estrutural, que conciliam análise qualitativa dos danos com análise quantitativa dos resultados de avaliação estrutural e necessidade de reforço/substituição. Caso se avance com um projecto de reabilitação da estrutura, esta informação é devidamente detalhada nas peças desenhadas e na memória descritiva e justificativa do “Projecto de Estabilidade”.

Tanto o Relatório de Inspeção e Diagnóstico como o Projecto de Estabilidade devem ser perceptíveis a todos os intervenientes na reabilitação do edifício, e por isso deverão

apresentar uma análise crítica e cuidada, de forma a justificar todas as medidas de intervenção necessárias.

3.5. Técnicas de ensaio

As técnicas de ensaio auxiliam a análise qualitativa dos danos, permitindo a identificação de problemas no desempenho estrutural, que não são detectadas por análise visual. Serão apresentadas, de forma sucinta, as técnicas que foram utilizadas no âmbito das actividades acompanhadas no NCREP e presentes neste trabalho.

Estas técnicas, como referido anteriormente, envolvem a utilização de instrumentos de ensaio não destrutivo e destrutivo. Os ensaios não destrutivos (NDT) determinam as propriedades do material em estudo sem causar alterações significativas, enquanto os ensaios destrutivos (DT), tal como o nome indica, levam o material à rotura impossibilitando a sua manutenção. Contudo, os ensaios DT não serão abordados neste trabalho por não serem frequentes nas inspeções a edifícios.

Nas actividades de inspeção/diagnóstico, o conjunto de ensaios não destrutivos em elementos de madeira é composto por ferramentas mais tradicionais, como o martelo e o formão, dando indicações muito úteis acerca do estado de conservação dos elementos, até ao uso de instrumentos mais complexos como o Resistógrafo e o Pilodyn. Nos elementos de betão armado são utilizados instrumentos recentes como o Ferrosan PS200, para identificação das armaduras, e o Esclerómetro de Schmidt para determinação aproximada da resistência à compressão característica do betão.

Os NDT realizados, juntamente com os resultados obtidos na inspeção visual e nas sondagens permitem a caracterização construtiva, a identificação e a interpretação dos danos existentes.

3.5.1. Ferramentas tradicionais

As ferramentas tradicionais como o martelo e o formão permitem avaliar de forma expedita a existência de danos nos elementos de madeira: o martelo, (Figura 27.a), por comparação do som da resposta produzido pelo seu impacto numa peça de madeira sã e numa deteriorada; o formão, por avaliação da dureza da madeira e da existência de degradações superficiais, (Figura 27.b).

Outra das ferramentas utilizadas, (Figura 27.c), é o higrómetro utilizado para a avaliação do teor em água dos elementos de madeira, dando indicações de potenciais ataques por agentes bióticos, e o detector de metais para identificação a localização de elementos metálicos ou alinhamento das vigas em madeira que se encontram ocultadas pelos revestimentos, através da detecção dos pregos de fixação do soalho.

Para além destas ferramentas tradicionais, são utilizados outros tipo de utensílios nas campanhas de inspecção, (Figura 27.d), como fita métrica, medidor a laser, lanterna, máquina fotográfica, pé de cabra, martelo de perfuração/demolição, entre outros.



a) Utilização do martelo para detecção de degradações na viga de madeira, (NCREP, 2014l). b) Avaliação do soalho com o formão, (NCREP, 2014g).



c) Sondagem no pavimento com auxílio do detector de metais e avaliação do teor em água com o higrómetro (NCREP, 2014c).

d) Utensílios necessários nas campanhas de inspeção/diagnóstico.

3.5.2. Pilodyn

O Pilodyn é um instrumento utilizado na avaliação do estado de conservação superficial da madeira, associando-se à profundidade obtida pela penetração da agulha com a redução da resistência da madeira.

Este equipamento, Figura 28.a), mede a dureza superficial da madeira (ou a resistência à penetração superficial) através da penetração de uma agulha metálica, com 2,65mm de diâmetro, na superfície da madeira. A profundidade é marcada no medidor analógico em milímetros com escala de 0 a 40, sem casas decimais, como ilustra a Figura 28.b).

Segundo (Ilharco, 2008), este instrumento permite correlacionar a dureza superficial com a massa volúmica, mas com alguma incerteza associada.



a) Realização do ensaio com Pilodyn na viga de pavimento, (NCREP, 2014g).
 b) Pormenor de ensaio, (NCREP, 2014g).

Figura 28 – Utilização do Pilodyn, nos elementos de madeira.

3.5.3. Resistógrafo

O Resistógrafo é um equipamento de avaliação do estado de conservação interno e superficial da madeira. Durante a realização do ensaio, Figura 29.b), é gerado um gráfico onde é possível identificar fendas, degradação superficial, variações de densidade e anéis de crescimento, e danos não visíveis por inspecção visual como degradações ou vazios internos.

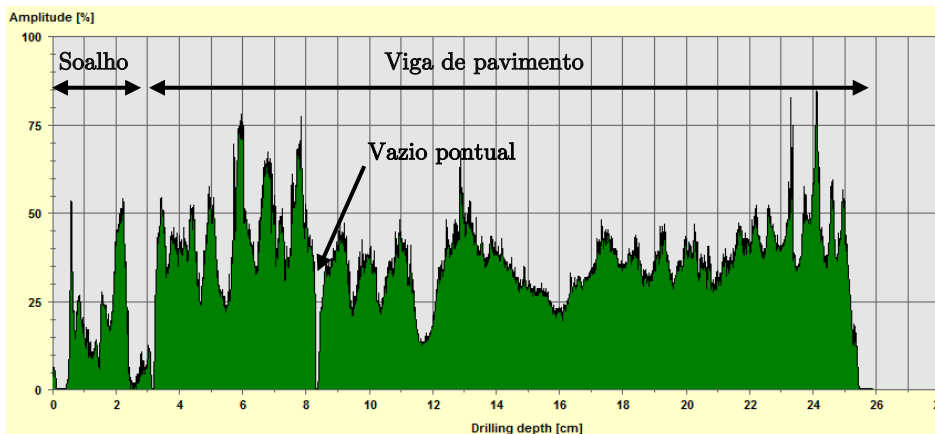
Este equipamento relaciona a energia consumida na penetração de uma agulha com a resistência da madeira à perfuração, a velocidade constante. Por cada ensaio é obtido um gráfico que indica a potência eléctrica consumida (ordenadas) na penetração da agulha com 3mm de diâmetro (abscissa). Este gráfico é armazenado na memória interna para ser tratada a informação em *software* específico, Figura 29.c), disponibilizado pelo fabricante. Com o *software* específico efectua-se a média dos valores das ordenadas de forma a determinar o Valor de Resistógrafo, eliminando os valores iniciais e finais que correspondem a zonas com degradação superficial.

Este instrumento permite correlacionar a resistência da madeira à perfuração com o seu módulo de elasticidade e a resistência à compressão, mas também com alguma incerteza associada (Ilharco, 2008).

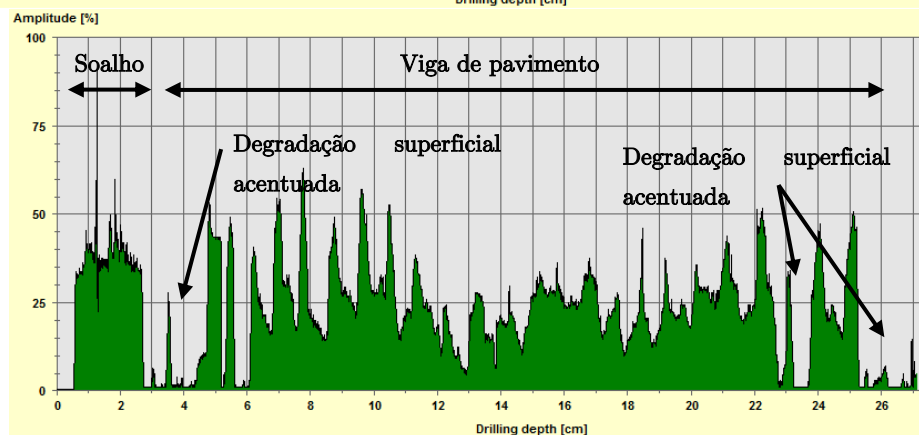


a) Resistógrafo utilizado nas campanhas de inspeção/diagnóstico.

b) Realização do ensaio com Resistógrafo na viga de pavimento, (NCREP, 2014).



Secção em bom estado de conservação.
VR = 37%



Secção em mau estado de conservação, com acentuada degradação superficial.
VR = 23%

c) Gráficos obtidos com o Resistógrafo em vigas do pavimento.

Figura 29 – Utilização do Resistógrafo, nos elementos de madeira.

3.5.4. Ferroskan PS200

O Ferroskan PS200 (*Hilti*), Figura 30, permite identificar a posição, o espaçamento e estimar o diâmetro das armaduras, bem como a espessura da camada de recobrimento, em elementos de betão armado.

Este equipamento utiliza o princípio da indução magnética para detectar materiais condutores. Quando o equipamento está longe da armadura, instala-se um campo magnético perfeito. Contudo, na presença de armadura gera-se uma distorção deste campo, sendo esta distorção registada pelos sensores do equipamento. Combinando o registo dos vários sensores, e diferentes parâmetros de cada registo, o equipamento consegue determinar a posição e estimar o diâmetro e a profundidade da armadura.

Importa salientar que as leituras obtidas são estimadas, devendo os resultados ser interpretados com alguma precaução e validados com a realização de sondagens pontuais.

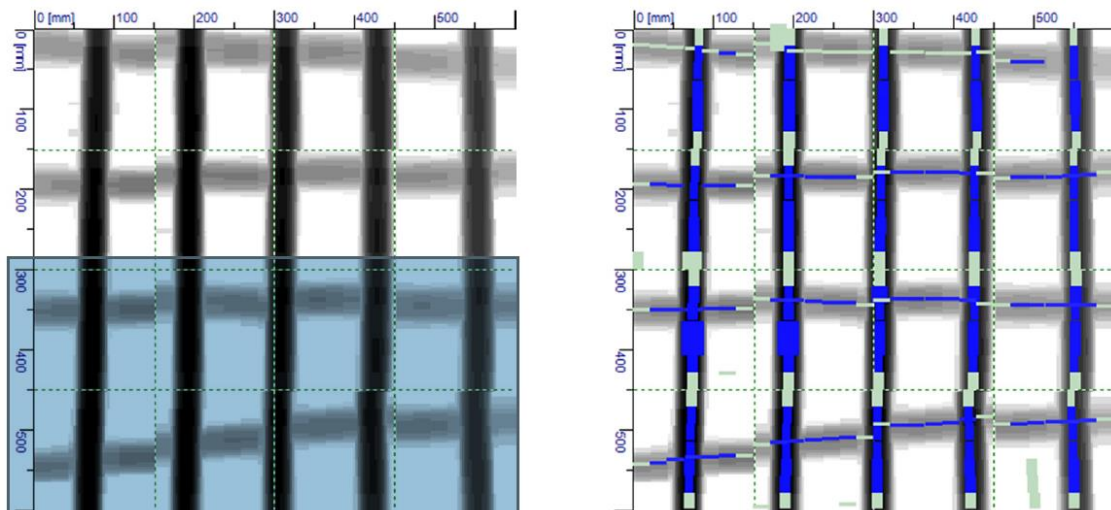
Estas sondagens pontuais permitem avaliar, com precisão, o diâmetro dos varões através de medições com o paquímetro, e comparar com os fornecidos pelo aparelho.

As leituras são armazenadas na memória interna para ser tratada a informação em *software* específico disponibilizado pelo fabricante, Figura 31.



a) Ferroskan PS200 utilizado nas campanhas de inspecção/diagnóstico, (NCREP, 2014c). b) Detecção de armaduras com Ferroskan PS200 em laje maciça, (NCREP, 2014c).

Figura 30 – Utilização do Hilti Ferroskan PS200 nos elementos de betão armado.



Leitura disponibilizada pelo equipamento sem tratamento.

Determinação dos diâmetros das armaduras, com tratamento em *software* específico.

Figura 31 – Resultado com o Ferroskan PS200 em laje maciça.

3.5.5. Esclerómetro de Schmidt

O Esclerómetro de Schmidt (*Proceq*), Figura 32, é um equipamento utilizado na determinação do índice esclerométrico para correlação aproximada da resistência à compressão característica do betão (f_{ck}).

Baseia-se na medição da dureza superficial a partir do ressalto de uma massa elástica após o impacto contra a superfície do betão endurecido. O valor obtido através da escala do aparelho, índice esclerométrico (Q), permite correlacionar com o valor aproximado da resistência à compressão característica do betão (f_{ck}). Por ser um ensaio normalizado é realizado com regras bem definidas.

É bastante útil a aplicação deste ensaio, pois permite obter de forma simples a resistência do betão em elementos em que é desconhecida a sua constituição. Porém existem vários factores que influenciam este ensaio, e por isso a interpretação dos resultados deve ser feita com alguma precaução, e sempre que seja possível deve ser complementada com outros ensaios, como o ensaio de arranque *Pull-out* e extracção carotes para ensaios laboratoriais.



Figura 32 – Esclerómetro de Schmidt, utilizado nos ensaios em elementos estruturais de betão armado (Proceq, 2014).

4. Trabalho desenvolvido

4.1. Introdução

Durante o período do estágio curricular foram realizadas várias actividades relacionadas com o tema “Inspeção, Diagnóstico e Projecto no âmbito da reabilitação de edifícios”, em particular em vários edifícios centenários do Porto.

De forma a sintetizar estas actividades serão apresentados dois casos de estudo, que possibilitam a análise e a aplicação prática das técnicas de I/D e de projecto no NCREP, e a utilização e aperfeiçoamento do documento de trabalho implementado nesta empresa, que define o procedimento tipo na inspeção de estruturas.

Após caracterização do sistema construtivo dos edifícios da cidade do Porto e breve análise das actividades de inspeção e diagnóstico, a informação dos capítulos seguintes será de mais fácil leitura.

4.2. Casos de estudo

Neste capítulo analisam-se em pormenor dois casos de estudo que foram acompanhados no NCREP, designados por “Edifício Rua da Torrinha” e “Edifício Rua Barão São Cosme”, ambos edifícios centenários do Porto e englobando as três fases do processo: inspeção, diagnóstico e projecto.

Inicialmente, para cada edifício, é apresentado o resultado das fases de inspeção e diagnóstico em três partes: descrição geral do edifício, caracterização dos elementos estruturais e dos danos respectivos.

Seguidamente são comparados os critérios adoptados e medidas de intervenção que resultam da avaliação de segurança da estrutura existente e do dimensionamento de novos elementos, contempladas nas fases de diagnóstico e de projecto de reabilitação.

As três fases do processo de reabilitação dos casos de estudo tiveram naturalmente em consideração os projectos de arquitectura respectivos.

Juntamente com exposição dos dois casos de estudo, são apresentados em anexo a memória da inspeção e diagnóstico estrutural e as peças desenhadas que resultaram da fase de diagnóstico e subsequente projecto, com a identificação dos elementos estruturais existentes a manter e os novos elementos estruturais preconizados para garantir as condições de segurança e de utilização.

4.2.1. Edifício Rua da Torrinha

4.2.1.1. Descrição geral

O “Edifício Rua da Torrinha” localiza-se no centro do Porto, Figura 33, apresenta um sistema construtivo típico dos edifícios antigos desta cidade, com planta rectangular, estrutura vertical resistente em alvenaria de pedra, paredes interiores em tabique e estrutura resistente em madeira nos pavimentos, escadas e cobertura. Tem área em planta de aproximadamente 270 m², distribuída por 3 pisos e águas furtadas (respectivamente piso 0, piso 1, piso 2 e piso 3), para além de um logradouro nas traseiras com aproximadamente 140m². Em particular, o piso 3 situa-se entre a fachada posterior e a escada central, existindo um desvão de acesso à clarabóia sobre a escada central.

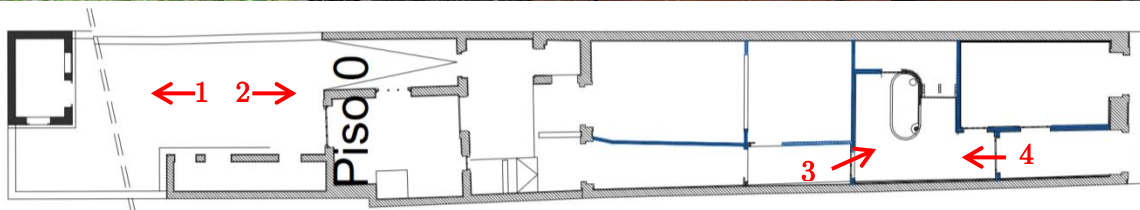


a) Localização do edifício (GoogleMaps, 2014a).

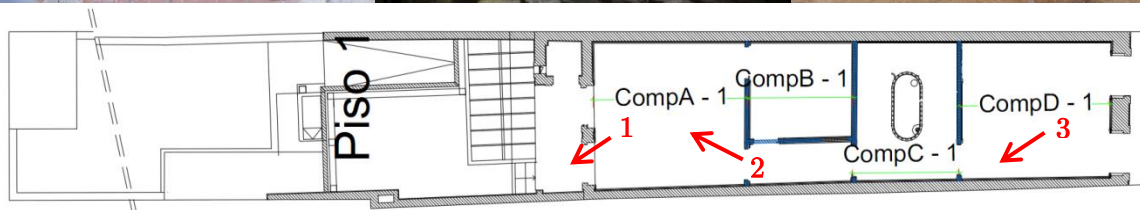
b) Fachada principal.

Figura 33 – Caso de estudo: Edifício Rua da Torrinha.

O edifício teve ocupação residencial no passado, encontrando-se actualmente desocupado. São apresentadas na Figura 34 algumas fotografias (assinaladas em planta) elucidativas dos diferentes pisos e respectivas plantas de arquitectura que resultaram do levantamento geométrico do edifício, com marcação das paredes de tabique (identificadas a azul) e paredes em alvenaria de pedra (identificadas a cinza).



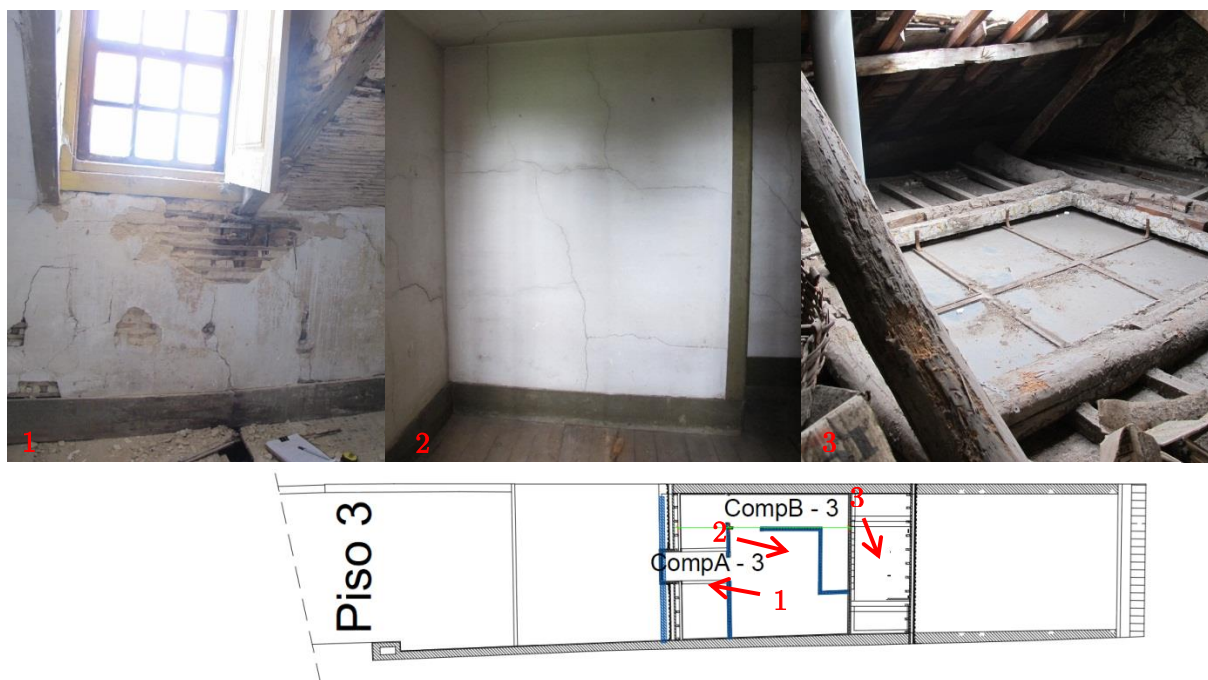
a) Piso 0.



b) Piso 1.



c) Piso 2.

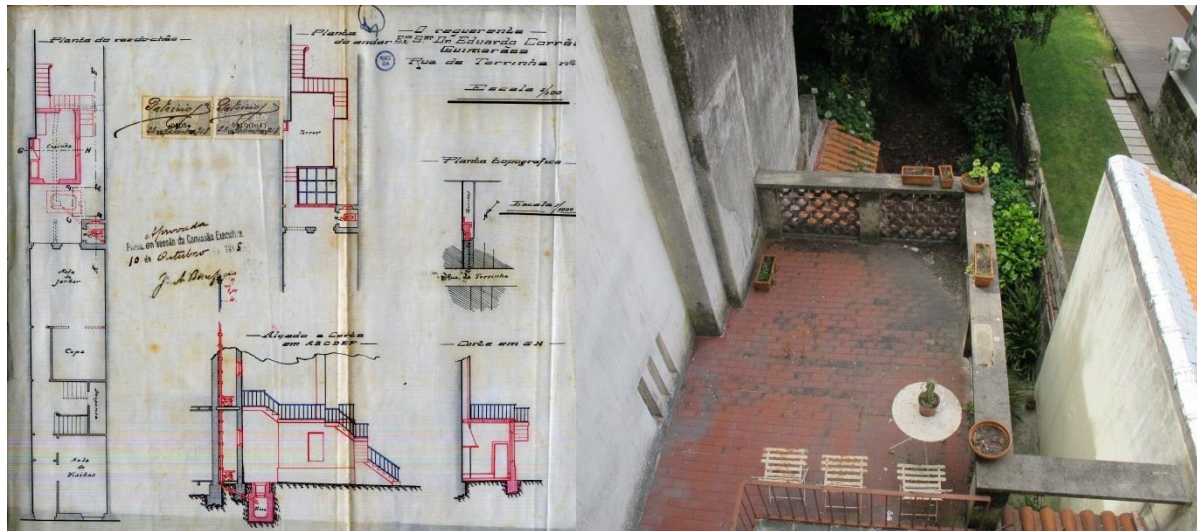


d) Piso 3.

Figura 34 – Fotografias de alguns dos compartimentos e plantas do levantamento geométrico do existente do Edifício Rua da Torrinha.

Através da pesquisa histórica no Arquivo Histórico Municipal do Porto, não foi possível obter a data precisa de construção do edifício, embora se estime que tenha sido construído em finais do séc. XIX. No entanto, foi possível perceber que em 1918 foi construído um novo volume em alvenaria de pedra adjacente à fachada posterior do edifício, Figura 35.a),

para ser utilizado como cozinha com acesso directo ao logradouro. Esta alteração englobou ainda a construção de um terraço sobre a cozinha em betão armado, acessível pelo piso 1 e de uma laje em betão armado na varanda posterior do piso 1.



a) Registos históricos da construção adjacente b) Identificação da construção registada (terraço).
a fachada posterior.

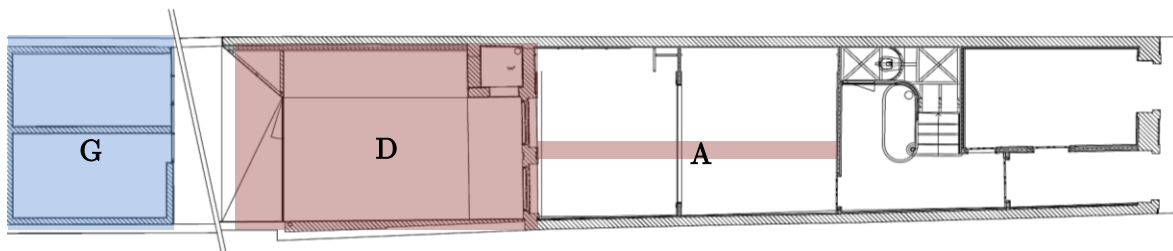
Figura 35 – Alterações em 1918 no Edifício Rua da Torrinhã.

O projecto de arquitectura definiu um conjunto de alterações a serem realizadas no edifício, para melhoria das suas condições de habitabilidade. Estas alterações foram devidamente analisadas, dando-se especial atenção às de carácter estrutural, com o objectivo de se adaptar os trabalhos de inspeção e diagnóstico a realizar.

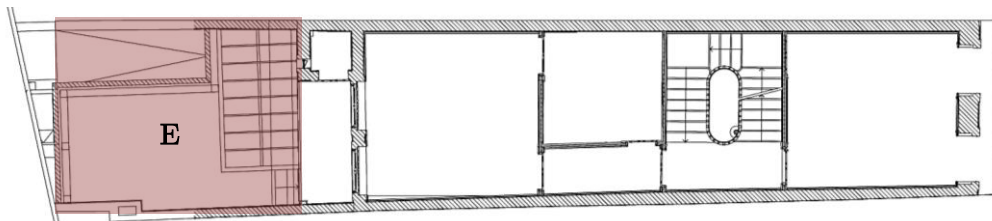
As plantas de arquitectura apresentadas na Figura 36 ilustram essas alterações, que resumidamente consistem:

- Demolição da parede de tabique interior (transversal ao pavimento) do piso 0 (alteração A);
- Demolição das paredes de tabique interiores do piso 3 (alteração B);
- Demolição das escadas que fazem a ligação entre os pisos 2 e 3, e construção de uma nova no mesmo alinhamento das escadas centrais existentes (alteração C);

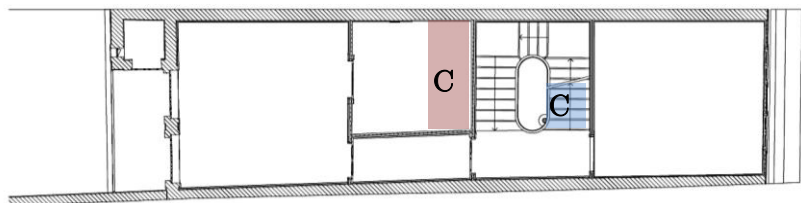
- Demolição da cozinha do piso 0 junto a fachada posterior (construção em 1918 em alvenaria de pedra), para construção de uma nova sala (alteração D);
- Demolição dos elementos de betão armado do terraço acessível e das escadas de acesso pelo piso 1, existentes sobre a cozinha (alteração E);
- Substituição da estrutura clarabóia existente por uma nova (alteração F);
- Construção de novos compartimentos destinados a arrumos e lavandaria, localizadas no logradouro (alteração G).



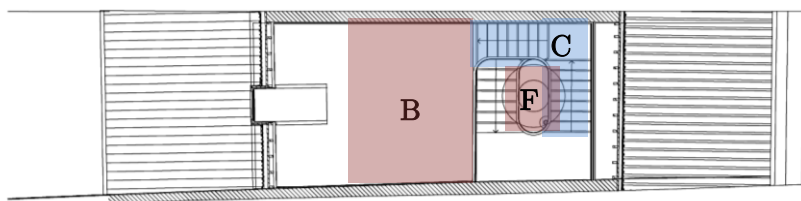
a) Piso 0.



b) Piso 1.



c) Piso 2.

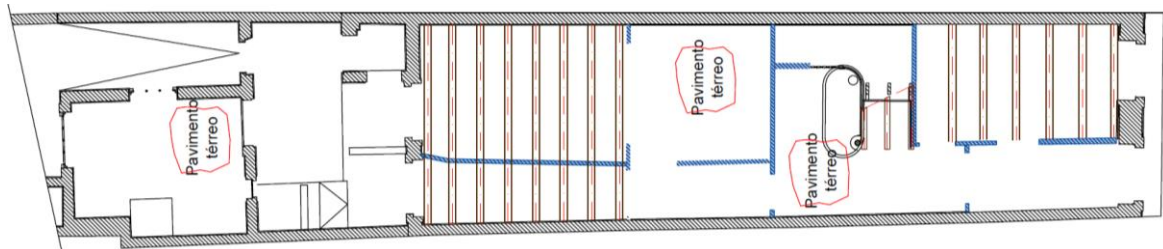


d) Piso 3.

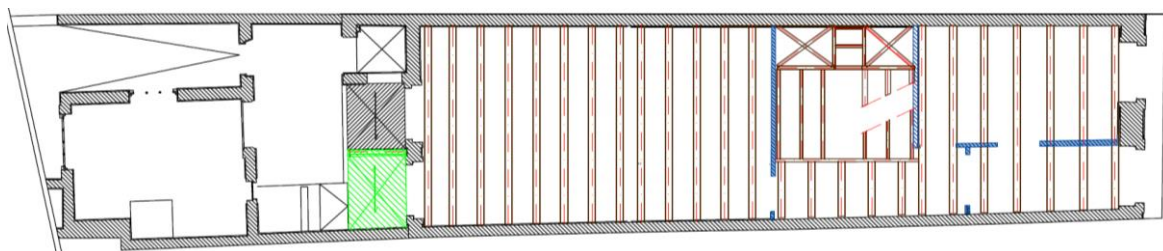
Figura 36 – Alterações do projecto de arquitectura do Edifício Rua da Torrinha.

4.2.1.2. Caracterização dos elementos estruturais

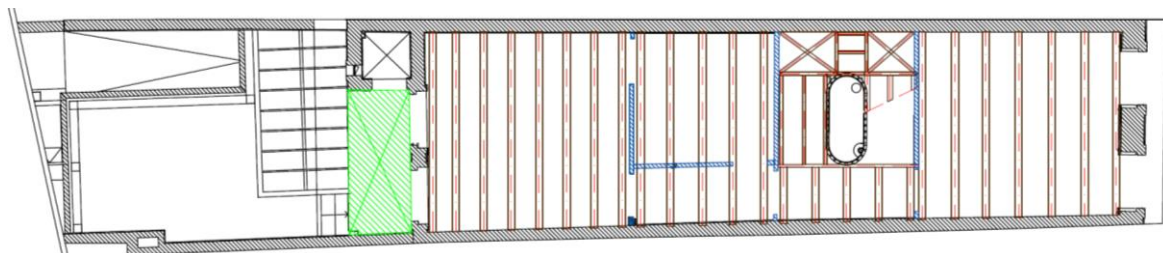
Na Figura 37 são apresentadas as plantas que resultaram do levantamento dos elementos estruturais existentes na fase de inspeção, com o objectivo de ilustrar a descrição estrutural do edifício neste capítulo. Os elementos estruturais estão identificados por uma escala de cores, nomeadamente: as paredes em alvenaria de pedra (identificadas a cinza), as paredes de tabique (identificadas a azul), os pavimentos e as coberturas de madeira (identificadas a castanho), as lajes de betão armado (identificadas a verde) e a lajeta de pedra (identificadas a cinza).



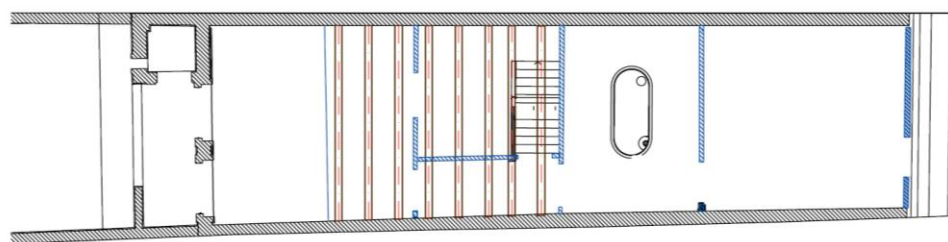
a) Piso 0.



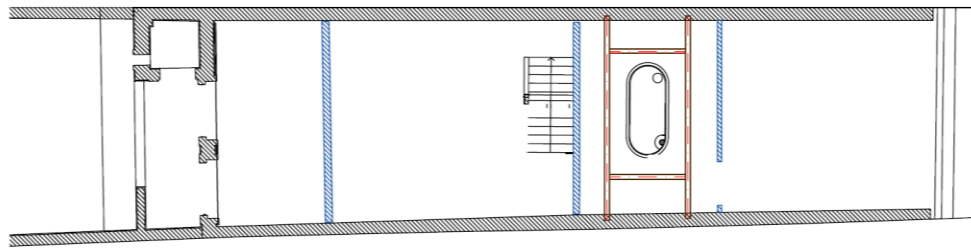
b) Piso 1.



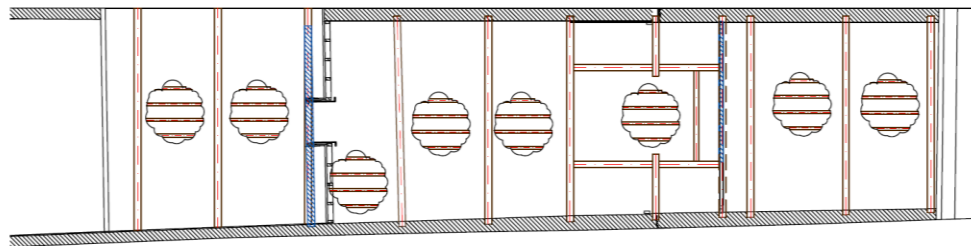
c) Piso 2.



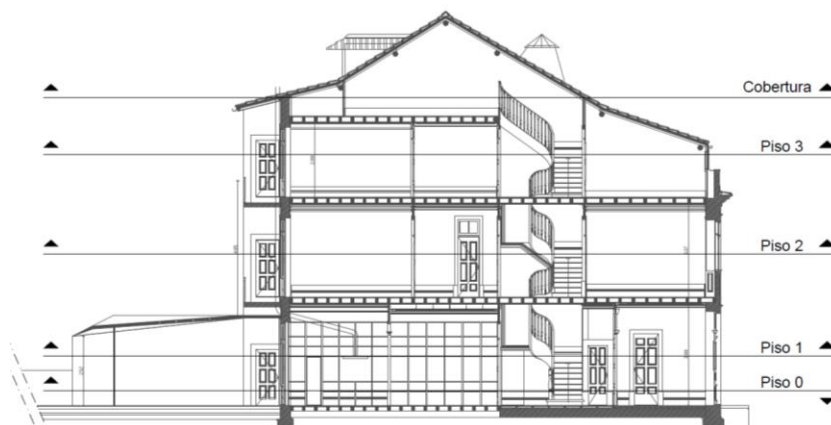
d) Piso 3.



e) Estrutura de suporte da clarabóia.



f) Cobertura.



g) Nível de corte das plantas estruturais.

Figura 37 – Elementos estruturais existentes do Edifício Rua da Torrinha.

A estrutura resistente principal do edifício é materializada por paredes exteriores de alvenaria de granito, Figura 38.a), na fachada principal com espessura aproximadamente 0,55m (em folha dupla), e na fachada de tardoz com espessura de 0,38m de folha simples. As paredes de empena em granito são meirais com os edifícios vizinhos, suportando os pavimentos e a cobertura. As paredes do volume de construção mais recente que compõe a cozinha, existente no tardoz do edifício, não foram alvo de uma inspecção detalhada, uma vez que o novo projecto base de arquitectura prevê a sua demolição.

Para além das paredes de alvenaria de granito, existem paredes interiores em tabique com 0,10m de espessura, que executam a compartimentação dos espaços ao longo dos quatro

pisos. É de salientar a existência de paredes exteriores em tabique simples, Figura 38.b), na fachada principal do piso 2 e ao nível do piso 3.



a) Alvenaria visível no desvão da cobertura.

b) Parede exterior em tabique no piso 2.

Figura 38 – Paredes do Edifício Rua da Torrinha.

Relativamente aos pavimentos, o piso 0 é constituído por uma laje térrea no corredor e na zona de escadas. Os restantes pavimentos deste piso são em estrutura de madeira composta por vigas de secção transversal circular com 10cm de diâmetro, espaçadas de 0,65m, existindo no compartimento junto a fachada de tardoz uma caixa-de-ar com 0,30m de altura.

Os pavimentos do piso 1 e 2 são constituídos por uma estrutura resistente de madeira do tipo folhosa (presumivelmente castanho) constituída por vigas circulares falqueadas com um diâmetro médio de 15cm, Figura 39.a). Estas vigas encontram-se apoiadas entre as empenas em alvenaria de pedra, vencendo vãos de aproximadamente 4,00m e 4,35m, e apresentando um espaçamento médio de 0,60m.

Relativamente ao vigeamento do pavimento do piso 3, o sistema estrutural é idêntico ao existente nos pisos inferiores, diferenciando-se pela existência de vigas circulares de 15cm de diâmetro espaçadas de 1,50m, intercaladas por vigas de $8 \times 7 \text{cm}^2$ espaçadas em média de 0,70m, Figura 39.b).



a) Pormenor de viga de pavimento no piso 2.

b) Pormenor de pavimento no piso 3.

Figura 39 – Pavimentos de madeira dos diferentes pisos do Edifício Rua da Torrinha.

O soalho dos pavimentos tem uma espessura de aproximadamente 3cm, Figura 40.a). Existe em alguns compartimentos (no piso 1 um compartimento entre a fachada posterior e a caixa de escadas central, e no piso 2 um compartimento junto à fachada principal) com soalho duplo, que consiste numa camada adicional de 1cm de espessura sobre os 3cm do soalho original (Figura 35 a)).

A escada central do edifício, que faz a ligação entre os pisos 0 e 2, Figura 34.a), é constituída por lanços materializados por três pernas com secção transversal de $6,5 \times 15 \text{cm}^2$ que apoiam nas cadeias com secção média de $6,5 \times 22 \text{cm}^2$, existentes ao nível dos pavimentos. Ao nível dos patamares intermédios existem vigas cruzadas com secção $6,5 \times 17 \text{cm}^2$, Figura 40.b). As escadas que fazem a ligação do piso 2 ao piso 3 não foram caracterizadas uma vez que se previa a sua demolição no projecto de arquitectura.



a) Soalho duplo existente no piso 2 junto a fachada principal. b) Pernas e vigas cruzadas dos patamares da escada central.

Figura 40 – Soalho e pormenor de patamar do Edifício Rua da Torrinha.

A estrutura da cobertura em duas águas é constituída por um conjunto de madres em madeira do tipo folhosa (presumivelmente castanho) com secção transversal circular com cerca de 15cm de diâmetro, espaçadas de aproximadamente 2,0m, simplesmente apoiadas nas paredes de empena. As madres servem de suporte às varas com cerca de 6x6cm² e 0,55m de espaçamento, onde apoiam o guarda pó e as ripas de suporte da telha.

Existe uma mansarda ao nível da cobertura, junto à fachada posterior do edifício, Figura 41.a), constituída por paredes laterais de tabique. Destaca-se ainda a existência de vigas de suporte da clarabóia, sob a escada central, de suporte de tecto, junto à fachada principal, Figura 41.b), com 14cm de diâmetro. De referir ainda que a madre situada na zona da clarabóia se encontra apoiada em duas escoras, com cerca de 14cm de diâmetro.



a) Mansarda existente no piso 3.

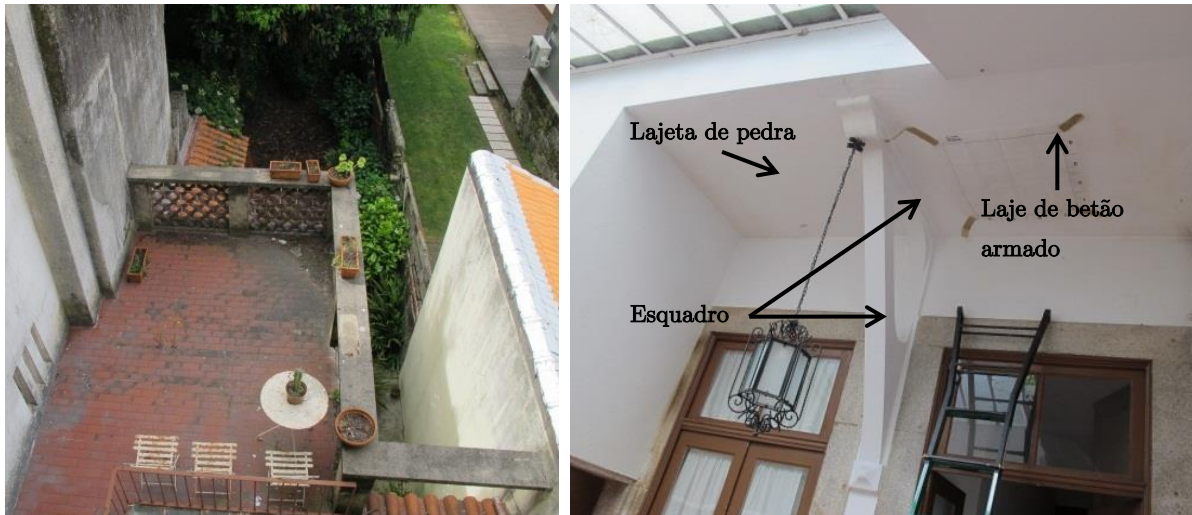
b) Elementos em madeira na zona da clarabóia.

Figura 41 – Pormenor da mansarda e cobertura do Edifício Rua da Torrinha.

Resultado de intervenções realizadas no ano de 1918, descritas no registo histórico do Arquivo Histórico Municipal do Porto, o edifício foi dotado de elementos em betão armado no terraço acessível pelo piso 1 (tecto da cozinha adjacente à fachada posterior) e na varanda do piso 1 existente na fachada posterior.

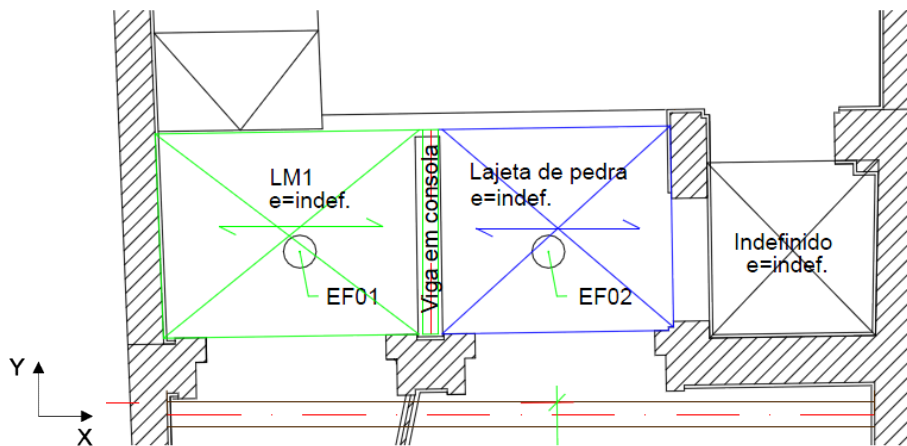
O terraço acessível, bem como as escadas de acesso existentes à cota do piso 1, não serão alvo de uma descrição detalhada, uma vez que o novo projecto de arquitectura previa a sua demolição, Figura 42.a).

No que respeita à varanda existente na fachada posterior ao nível do piso 1, de acordo com os resultados dos dois ensaios com o Ferroskan PS200, designados por EF na Figura 43, é composta por uma laje de betão armado e uma lajeta de pedra, Figura 42.b)., apoiada nas paredes de empena e num elemento de suporte existente na fachada posterior, constituído por um esquadro (viga e escora) em betão armado, Figura 42.b).

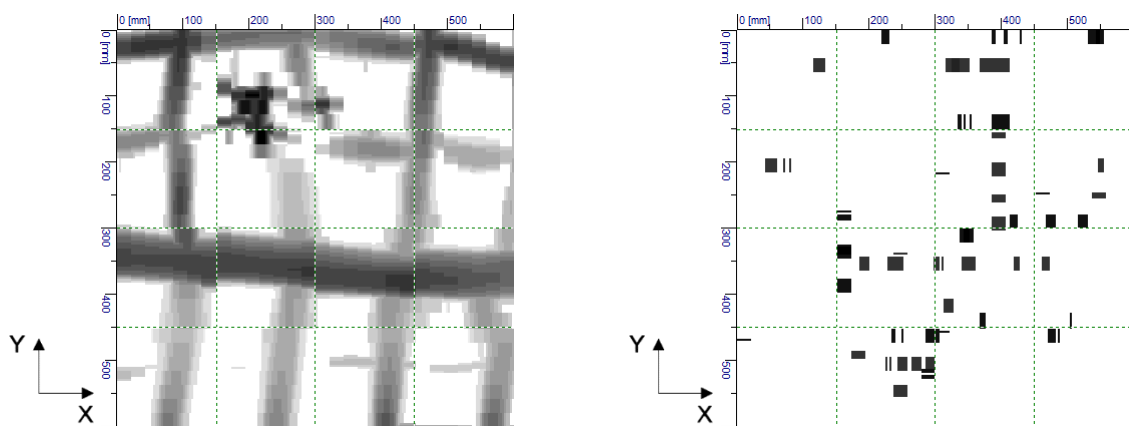


a) Terraço acessível no piso 1 a demolir. b) Pormenor da face inferior da varanda do piso 1.

Figura 42 – Elementos em betão armado no Edifício Rua da Torrinha.



a) Planta estrutural (sem escala) com a localização dos ensaios realizados com o Ferroskan PS200 na varanda do piso 1.



a) Armadura de momentos positivos do ensaio EF01. b) Inexistência de armaduras no ensaio EF02.

Figura 43 – Resultados dos ensaios com Ferroskan PS200 no Edifício Rua da Torrinha.

Assim, dos 2 ensaios realizados conclui-se:

- O ensaio EF01 permitiu detectar a existência de armaduras na face inferior dispostas nas duas direcções principais (X e Y), o que levou a concluir tratar-se de uma laje maciça, sendo designada por LM1. De acordo com os ensaios realizados, a armadura disposta na direcção Y é composta por varões de 6mm espaçados de 0,15m a 0,20m. No entanto na direcção X, os ensaios não foram conclusivos relativamente ao diâmetro dos varões, observando-se apenas um espaçamento entre varões de 0,15m.
- O ensaio EF02 não detectou qualquer armadura, permitindo concluir que a varanda neste vão será constituída por uma lajeta de pedra.

Não foi possível caracterizar o pavimento da varanda do piso 2 na fachada posterior, devido a impossibilidade de acesso à face inferior para realização de ensaios para detecção de armaduras, assumindo-se contudo que está será constituída por betão armado. Em fase de demolições deverá ser efectuado o levantamento da sua constituição.

4.2.1.3. Caracterização dos danos estruturais

As paredes de alvenaria de pedra apresentam, de uma forma geral, um bom estado de conservação, não tendo sido observados danos estruturais significativos. É de registar apenas que no cunhal de ligação entre a parede de empena e a fachada principal, identificado na Figura 44, foram detectadas entradas de água que degradam os elementos construtivos (soalho e vigas de pavimento) dos pisos 1 e 2, com mais incidência no piso 2, e nos elementos de cobertura. Esta entrada provoca também a degradação dos elementos da alvenaria (pedra e argamassas das juntas) bem como a criação de impulsos internos que a longo prazo promovem o destacamento dos panos da parede.



a) Identificação de entrada de água no piso 1. b) Ataque de fungos causados pela entrada de água observados na parede de empena do piso 2.

Figura 44 – Danos nas paredes de alvenaria de pedra no Edifício Rua da Torrinha.

As paredes de tabique interiores encontram-se em bom estado de conservação, sendo apenas necessário referir o grau de fissuração acentuado nas paredes de tabique do piso 3, Figura 45.a), e a deformação perceptível no compartimento CompA-2 do piso 2, Figura 45.b), relacionada com a deformação dos pavimentos subjacentes.

Por outro lado, as paredes em tabique exteriores (paredes da mansarda do piso 3, Figura 46.a), e tabique existente na fachada principal do piso 2, Figura 46.b)) encontram-se em mau estado de conservação. A presença de água nestas paredes potenciou a falta de aderência do estuque interior, e a degradação acentuada dos elementos de madeira por ataques de fungos e insectos xilófagos (caruncho).



a) Fissuras existentes na parede de tabique do piso 3. b) Deformação da parede de tabique no compartimento CompA-2 do piso 2.

Figura 45 – Danos nas paredes de tabique interiores no Edifício Rua da Torrinha.



a) Degradação das paredes de tabique exteriores ao nível do piso 3. b) Degradação na fachada principal do compartimento CompA-2 do piso 2.

Figura 46 – Danos nas paredes de tabique exteriores no Edifício Rua da Torrinha.

Os pavimentos de madeira no piso 0 encontram-se em razoável estado de conservação, com degradações por ataques de insectos xilófagos (caruncho) nos elementos estruturais e no soalho. Tendo em conta o acabamento previsto no projecto de arquitectura, em mosaico hidráulico, será aconselhável proceder à substituição deste pavimento, por uma solução em lajeta térrea com camada de brita e de betão armado.

Os pavimentos do piso 1 apresentam, em geral, um bom estado de conservação. Destaca-se apenas a existência de alguma vibração nos compartimentos CompA-1 e CompB-1, designados nas plantas do levantamento geométrico na Figura 34, situação que irá ser agravada em consequência da demolição das paredes de tabique transversais do piso inferior (piso 0) preconizada no projecto de arquitectura.

Os pavimentos do piso 2 apresentam um comportamento menos satisfatório do que os do piso 1, em particular pela vibração significativa nos compartimentos CompA-2 e CompD-2, e pela existência de deformações visíveis a olho nu nos compartimentos CompA-2 e CompB-2, Figura 47.a). De referir que o pavimento e o tecto do CompD-2 apresentam teores em água elevados (cerca de 28%), devido à entrada de água junto ao cunhal da fachada principal, originando o aparecimento de fungos xilófagos e a degradação acentuada do soalho, sendo necessário proceder à sua substituição.

Por sua vez, o pavimento do piso 3 encontra-se em pior estado de conservação, sendo notória a sua degradação acentuada junto à fachada posterior, Figura 47.b). Os danos existentes neste piso devem-se à entrada significativa de água pela cobertura e ao ataque de insectos xilófagos (caruncho).

O soalho dos pisos 1 e 2 encontra-se no geral em bom estado de conservação, destacando-se a degradação acentuada no compartimento CompA-1. É de salientar ainda a existência de soalho duplo em mau estado de conservação no compartimento CompB-1 (Figura 47.c)), CompB-2 e CompD-2.

A escada central do edifício encontra-se em bom estado de conservação, embora com alguma degradação pontual, com maior incidência entre os pisos 1 e 2, Figura 47.d).



a) Deformação entre os compartimentos CompA-2 e CompB-2.

b) Degradação acentuada nos elementos de madeira do piso 3, junto a fachada posterior.



c) Soalho duplo em mau estado no compartimento CompB-1

d) Degradação pontual nas escadas de ligação entre os pisos 1 e 2.

Figura 47 – Danos observados nos elementos de madeira no Edifício Rua da Torrinha.

Os elementos estruturais de cobertura encontram-se em razoável estado de conservação, sendo apenas necessário substituir/reforçar alguns elementos degradados pela entrada de água e ataque de agentes bióticos, e pela existência de fendas de secagem, Figura 48.a).

Destaca-se ainda a necessidade de reforço do apoio da madre identificada na Figura 48.c).

As madres e as escoras sob a escada central, identificadas na Figura 48.d), encontram-se em relativo bom estado de conservação. Contudo, e uma vez que o sistema estrutural da nova clarabóia será diferente, estes elementos serão removidos, podendo eventualmente ser reutilizados noutros locais.

A estrutura da cobertura junto à fachada principal (sob CompD-2) não foi inspeccionada por impossibilidade de acesso ao local, prevendo-se que exista alguma degradação causada pela entrada de água. Esta situação deverá ser verificada na fase de demolições.



a) Fenda de secagem observada na madre.

b) Madre em mau estado de conservação.



c) Apoio da madre junta a clarabóia degradado.

d) Madre e escoras com degradação superficial.

Figura 48 – Danos observados na cobertura no Edifício Rua da Torrinha.

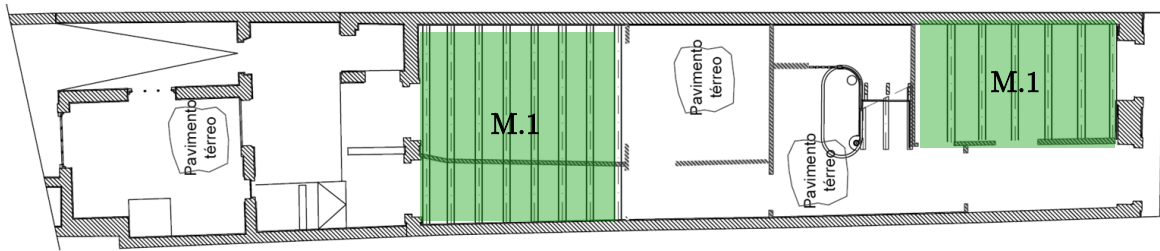
Não foram detectados danos nos elementos de betão armado a manter, que se encontram em bom estado de conservação. O terraço acessível, bem como as escadas de acesso existentes no piso 1 não foram alvo de avaliação do estado de conservação, uma vez que o projecto de arquitectura prevê a sua demolição.

Com o objectivo de ilustrar a caracterização dos danos estruturais deste capítulo, na Figura 49 é apresentado o mapeamento de danos nas plantas estruturais. No mapeamento são utilizados os critérios definidos no Quadro 1 de modo a distinguir os vários danos, com uma designação em função do tipo de elemento afectado (os danos na alvenaria corresponde a letra A e na madeira a letra M) e nível de dano com escala de cores (os danos a verde não apresentam gravidade estrutural, os danos a amarelo correspondem a possibilidade de ser necessário um reforço ligeiro e os danos a vermelho ilustram a necessidade de proceder se a intervenção).

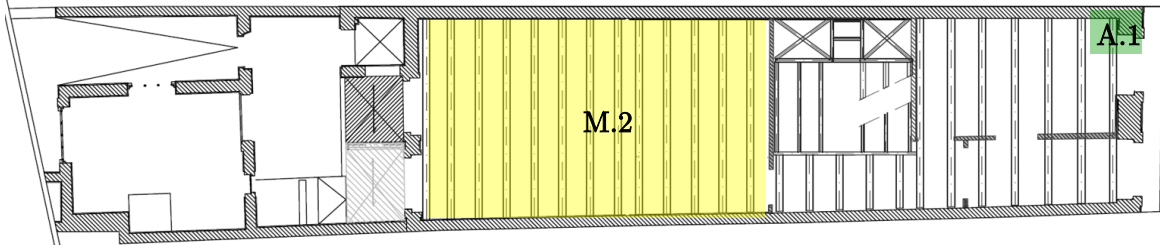
Quadro 1 – Critérios para o mapeamento de danos do Edifício Rua da Torrinha.

Cor	Nível de dano
Verde	Dano ligeiro.
Amarelo	Dano médio.
Vermelho	Dano grave.

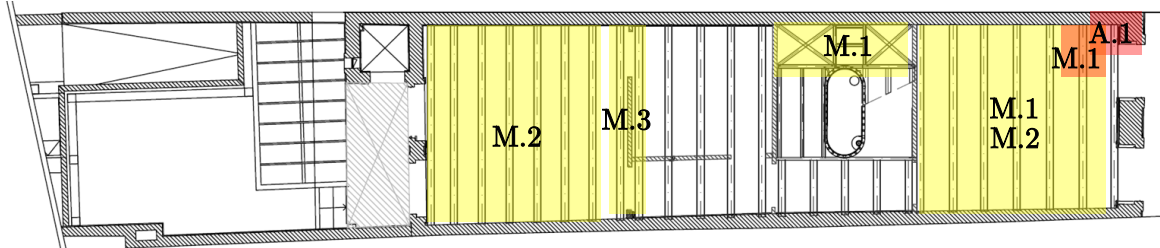
Designação	Descrição do dano
A.1	Manchas de humidade na alvenaria de pedra.
A.2	Degradação acentuada e teores em água elevados na parede de tabique.
A.3	Deformação na parede de tabique
M.1	Degradação dos elementos de madeira.
M.2	Vibração acentuada no pavimento de madeira.
M.3	Deformação no pavimento de madeira.
M.4	Fendas nas madres de cobertura.



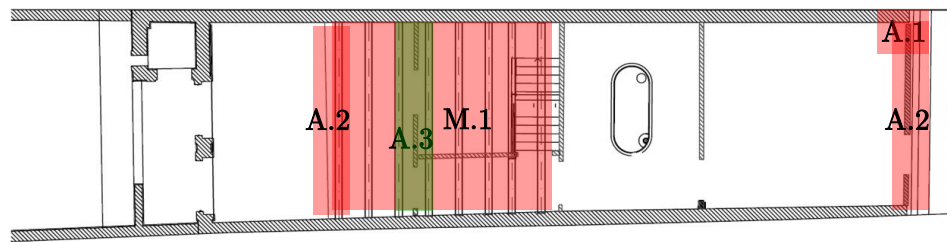
a) Piso 0.



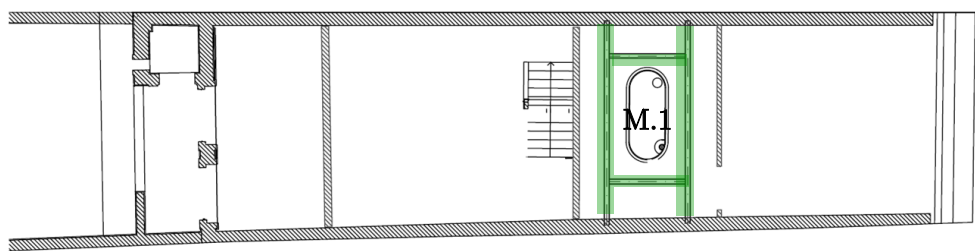
b) Piso 1.



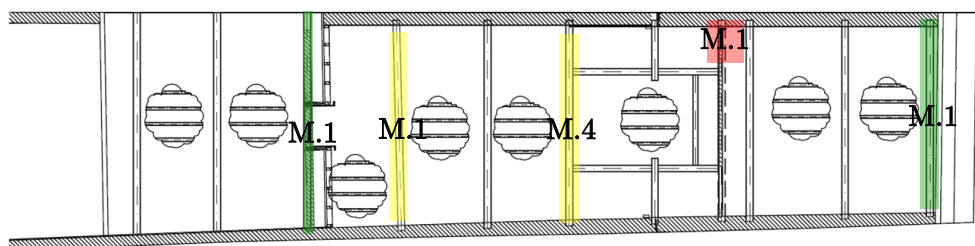
c) Piso 2.



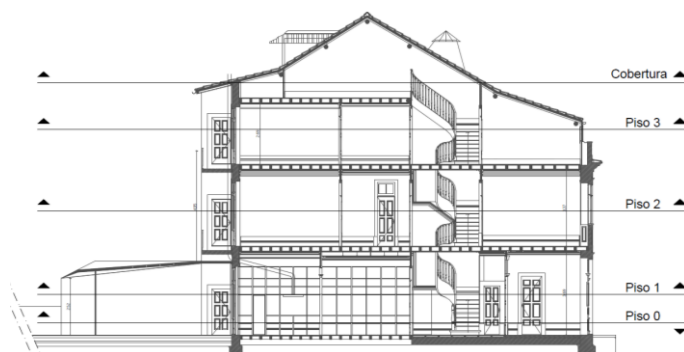
d) Piso 3.



e) Estrutura de suporte da clarabóia.



f) Cobertura.



g) Nível de corte das plantas estruturais.

Figura 49 – Mapeamento de danos do Edifício Rua da Torrinha.

4.2.1.4. Análise dos resultados dos ensaios nos elementos de madeira

A inspecção visual foi complementada com a realização de 38 ensaios não destrutivos em elementos estruturais de madeira. No Anexo 1.1 são apresentados os resultados dos ensaios efectuados no edifício, assim como um comentário das acções a realizar, nomeadamente manter (✓ - verde), ou substituir/reforçar (✗ - vermelho). É representada a localização dos ensaios nas plantas estruturais do edifício, que resultam do levantamento dos elementos estruturais existentes, cuja descrição se encontra no subcapítulo 4.2.1.2.

Os resultados dos ensaios com o Pilodyn permitiram avaliar o estado de conservação superficial da madeira, em particular no piso 3 com valor médio de penetração de 25mm, tratando-se de valores superiores aos espectáveis para o tipo de madeira em causa, indicativos da existência de ataques/degradações superficiais.

Os valores obtidos com o higrómetro, valor médio global de 15%, encontram-se dentro dos valores admissíveis.

Por sua vez, os resultados dos ensaios realizados com o Resistógrafo indicam na generalidade um bom estado de conservação do elementos de madeira, sendo necessário realizar acções de substituição/reforço em alguns elementos.

4.2.2. Edifício Rua Barão São Cosme

4.2.2.1. Descrição geral

O segundo caso de estudo “Edifício Rua Barão São Cosme” localiza-se na cidade do Porto, Figura 50, tem um sistema construtivo idêntico ao edifício apresentado anteriormente. É caracterizado pela planta rectangular, com uma área de aproximadamente 250m², distribuída por 3 pisos e águas furtadas (respectivamente piso -1, piso 0, piso 1 e piso 2), para além de um logradouro nas traseiras.

A estrutura vertical resistente principal em alvenaria de pedra, existindo paredes interiores em tabique e estrutura resistente em madeira nos pavimentos, escadas e cobertura.



a) Localização do edifício, (GoogleMaps, 2014b).

b) Fachada principal.

Figura 50 – Caso de estudo: Edifício Rua Barão São Cosme.

O edifício teve ocupação residencial (nos pisos 1 e 2) e de comércio (no piso 0) no passado, encontrando-se actualmente desocupado.

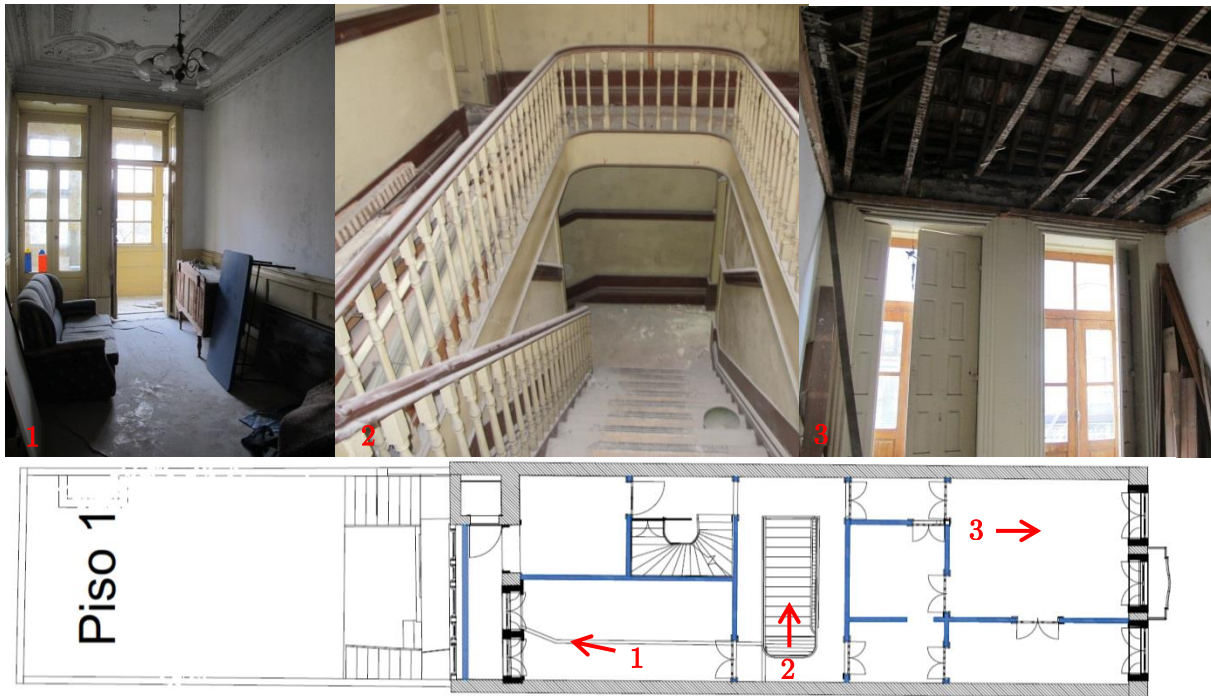
Na Figura 51, é possível observar fotografias dos diferentes pisos e respectivas plantas de arquitectura que resultaram do levantamento geométrico do edifício, com marcação das paredes de tabique (identificadas a azul) e das paredes em alvenaria de pedra (identificadas a cinza).



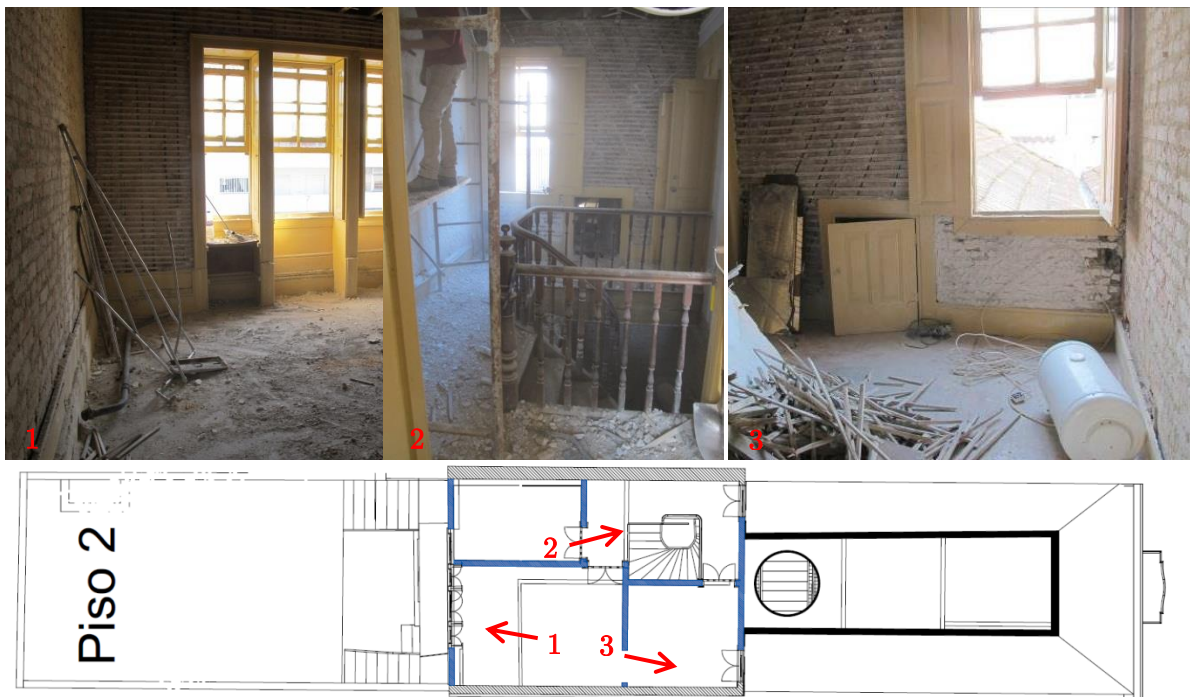
a) Piso -1.



b) Piso 0.



c) Piso 1.



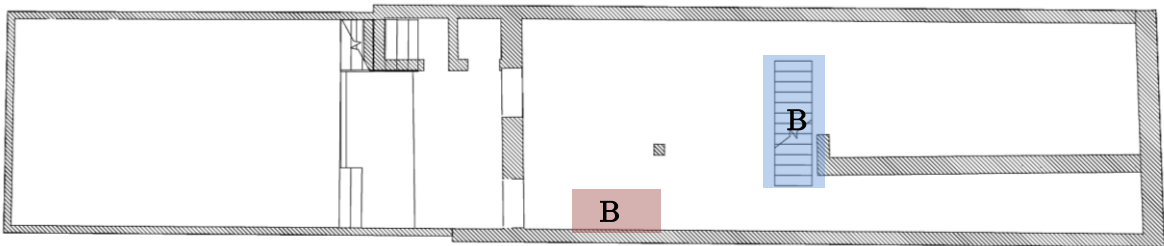
d) Piso 2.

Figura 51 – Fotografias de alguns dos compartimentos e plantas do levantamento geométrico do existente do Edifício Rua Barão São Cosme.

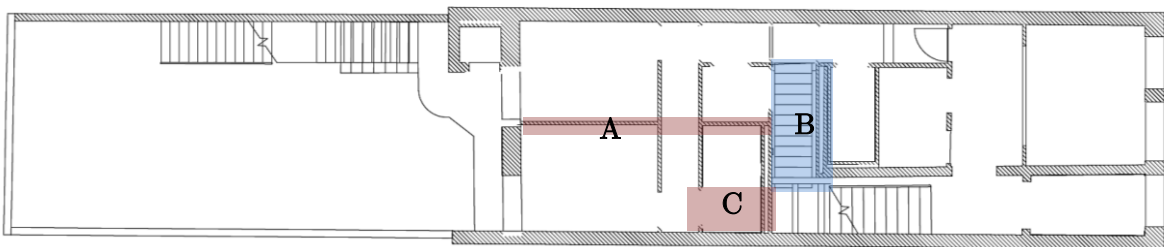
O projecto de arquitectura definiu algumas alterações com carácter estrutural a serem realizadas no edifício, que foram devidamente analisadas, a fim de se estabelecer os critérios necessários nos trabalhos de inspecção e diagnóstico a realizar.

As plantas de arquitectura apresentadas na Figura 52 ilustram essas alterações, que resumidamente consistem:

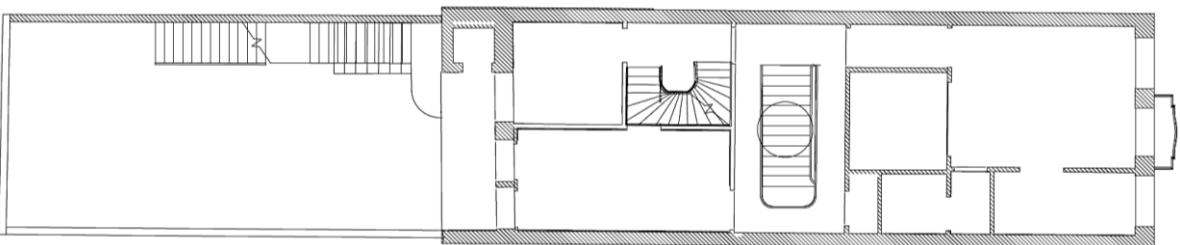
- Demolição da parede de tabique interior (transversal ao pavimento) do piso 0 para se proceder a uma nova divisão de espaços (alteração A);
- Demolição das escadas que fazem a ligação entre os pisos -1 e 0 para se proceder à construção de uma nova no mesmo alinhamento das escadas centrais existentes (alteração B);
- Demolição de um lanço de escadas que fazem a ligação entre os pisos 0 e 1 (alteração C).



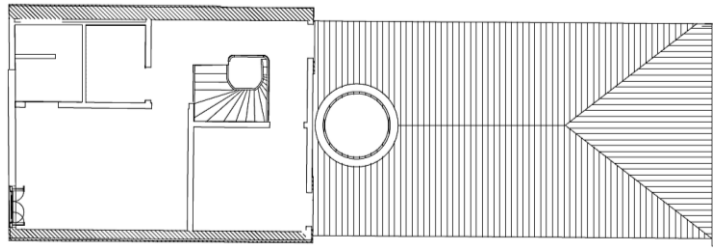
a) Piso -1.



b) Piso 0.



c) Piso 1.

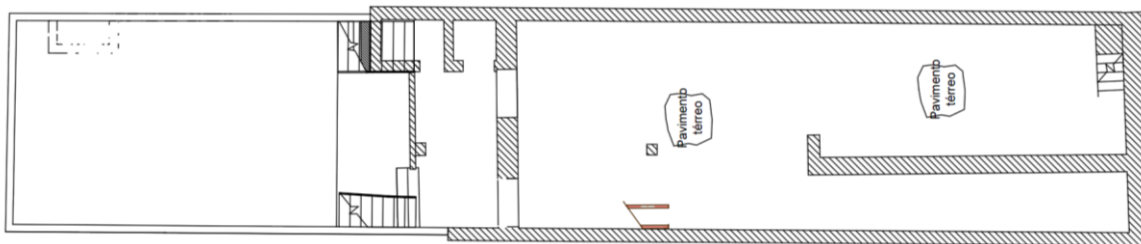


d) Piso 2.

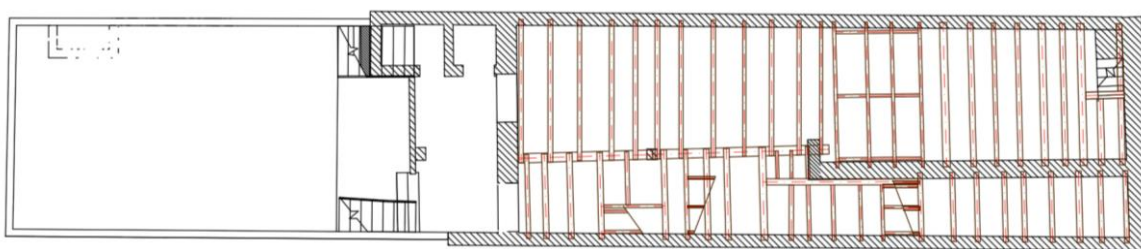
Figura 52 – Alterações do projecto de arquitectura do Edifício Rua Barão São Cosme.

4.2.2.2. Caracterização dos elementos estruturais

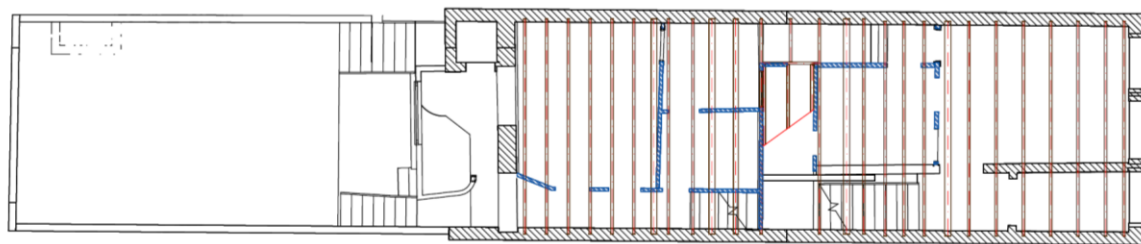
Na Figura 53 são apresentadas as plantas que resultaram do levantamento dos elementos estruturais existentes na fase de inspecção, a fim de ilustrar a caracterização estrutural do edifício neste capítulo. Os elementos estruturais estão assinalados por uma escala de cores (do mesmo modo que se procedeu para o Edifício Rua da Torrinha), nomeadamente: as paredes em alvenaria de pedra (identificadas a cinza), as paredes de tabique (identificadas a azul) e os pavimentos e as coberturas de madeira (identificadas a castanho).



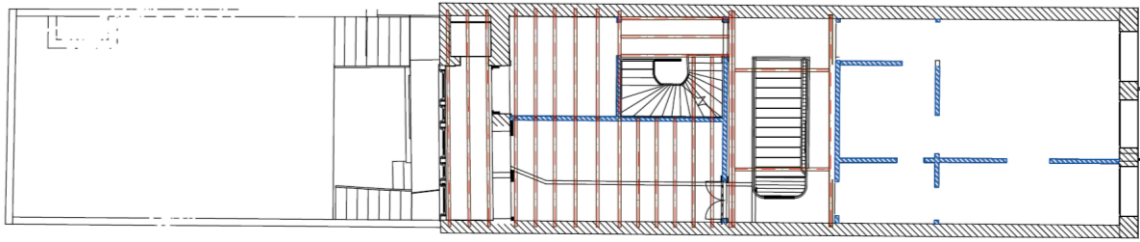
a) Piso -1.



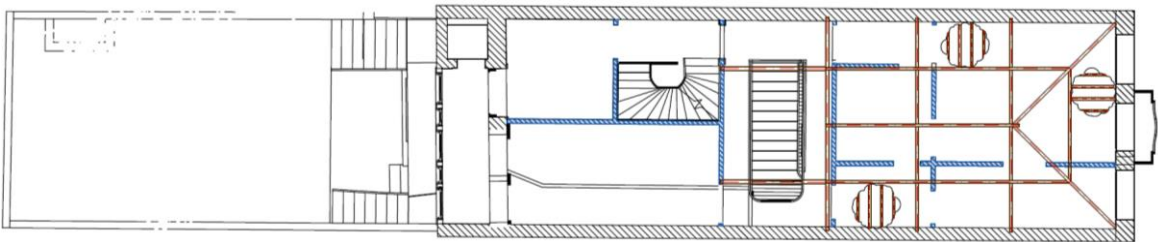
b) Piso 0.



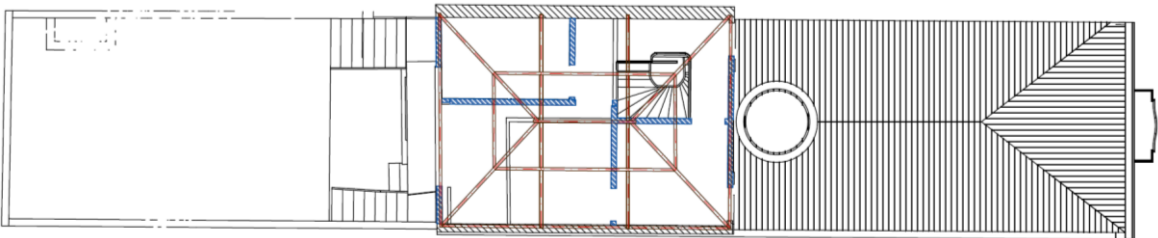
c) Piso 1.



d) Piso 2.



e) Cobertura Cob1.



f) Cobertura Cob2.



g) Nível de corte das plantas estruturais.

Figura 53 – Elementos estruturais existentes do Edifício Rua Barão São Cosme.

As paredes resistentes exteriores do edifício desde o piso -1 ao piso 1 são em alvenaria de granito, tendo na fachada principal e posterior uma espessura de aproximadamente 0,55m, materializada por folha dupla. Não foi possível confirmar a espessura das paredes de empena, embora se preveja que sejam em folha simples com 0,25m de espessura (típico dos

edifícios antigos do Porto). No último piso (piso 2) as paredes de empena são em alvenaria de tijolo maciço, Figura 54.b).

As paredes interiores de compartimentação, Figura 54.c), são em tabique simples, com espessura de aproximadamente 0,10m. Contudo, junto à fachada principal existe uma parede interior em alvenaria de granito com espessura de aproximadamente 0,55m ao nível do piso -1 e 0,25m ao nível do piso 0. Estas paredes interiores de granito suportam os pavimentos adjacentes, enquanto as paredes de tabique podem assumir funções resistentes devido à já referida fluência dos pavimentos de madeira. Existem ainda paredes exteriores em tabique na fachada posterior do piso 1 e nas fachadas principal e posterior do piso 2, Figura 54.b).



a) Empena de alvenaria de pedra em granito visível no piso -1. b) Tabique duplo e alvenaria de tijolo maciço no piso 2. c) Tabique simples de compartimentação no piso 2.

Figura 54 – Paredes existentes no Edifício Rua Barão São Cosme.

Relativamente aos pavimentos, o piso 0 é constituído por vigas de madeira do tipo folhosa de secção circular de diâmetro variável, com espaçamento médio entre eixos variável entre 0,55m e 0,85m, e uma zona central composta por vigas de madeira do tipo resinosa (provavelmente colocadas mais recentemente) com secção média de $8 \times 21 \text{cm}^2$ e com espaçamento médio entre eixos de 0,70m a 0,88m. Ambos as vigas vencem um vão

máximo de 3,60m. Junto à fachada principal as vigas apoiam nas paredes de empena e na parede interior em alvenaria de pedra, enquanto na zona junto à fachada posterior apoiam entre as paredes de empena e numa viga de madeira disposta na direcção longitudinal do edifício.

O piso 1, Figura 55.b), apresenta um vigamento de madeira rectangular do tipo resinosa com secção de $7 \times 21 \text{cm}^2$ e espaçamento médio entre eixos de 0,55m e 0,70m. Como parte das paredes de tabique não são contínuas entre pisos adjacentes, o elemento de suporte é realizado em vigas de pavimento com secção superior. Este pavimento apoia nas paredes de empena e pontualmente nas paredes de tabique interiores do piso subjacente, tendo um vão máximo de 5,75m.



a) Pormenor das vigas circulares no pavimento do piso 0. b) Pormenor das vigas rectangulares no pavimento do piso 1.

Figura 55 – Pavimentos de madeira dos pisos 0 e 1 do Edifício Rua Barão São Cosme.

O pavimento do piso 2 é composto por vigas rectangulares de madeira do tipo resinosa com secção $7,5 \times 22 \text{cm}^2$ e afastamento médio de 0,50m, excepto junto a fachada posterior, onde se localiza a casa de banho, onde apresentam uma secção de $8 \times 13 \text{cm}^2$. Na zona da varanda posterior, Figura 56.a), as vigas encontram-se apoiada nas paredes de empena,

tendo um vão de 5,75m, e nos compartimentos interiores encontram-se apoiadas nas paredes de empena e nas de tabique, vencendo um vão de 3,00m.

Os três pavimentos de madeira possuem um soalho de madeira, Figura 56.b). Contudo, existem compartimentos onde o soalho está sobreposto por uma lajeta de argamassa de betão sobre a qual assenta um revestimento cerâmico.



a) Vigas de pavimento observáveis na varanda do piso 2. b) Pormenor do soalho existente no piso 2.

Figura 56 – Pavimento de madeira do Edifício Rua Barão São Cosme.

A comunicação entre pisos é realizada por três escadas interiores em estrutura de madeira. As escadas que fazem a ligação do piso -1 ao 0 não foram caracterizadas uma vez que se prevê a sua remoção no projecto de arquitectura.

As escadas que ligam os pisos 0 e 1, Figura 57.a), são constituídas por dois lanços pequenos (compostos por pernas de seção variável) que se interceptam num patamar (materializado por vigas perimetrais $7,5 \times 23 \text{cm}^2$ e por diagonais $6 \times 14 \text{cm}^2$) que dá acesso ao lanço principal (com duas pernas laterais de $7,5 \times 20 \text{cm}^2$ e por uma perna central de $7,5 \times 13 \text{cm}^2$). As escadas de ligação entre os pisos 1 e 2, Figura 57.b), apoiam-se nas vigas de pavimento e nas paredes de tabique, não sendo possível, por uma questão de acessos, medir a sua secção.



a) Pormenor de escadas de ligação dos pisos 0 e 1.

b) Escadas entre os pisos 1 e 2.

Figura 57 – Escadas de comunicação entre pisos no Edifício Rua Barão São Cosme.

O edifício apresenta duas coberturas distintas: uma junto à fachada principal sobre o piso 1 (Cob1) de três águas e outra sobre o piso 2 (Cob2) de quatro águas, Figura 58.

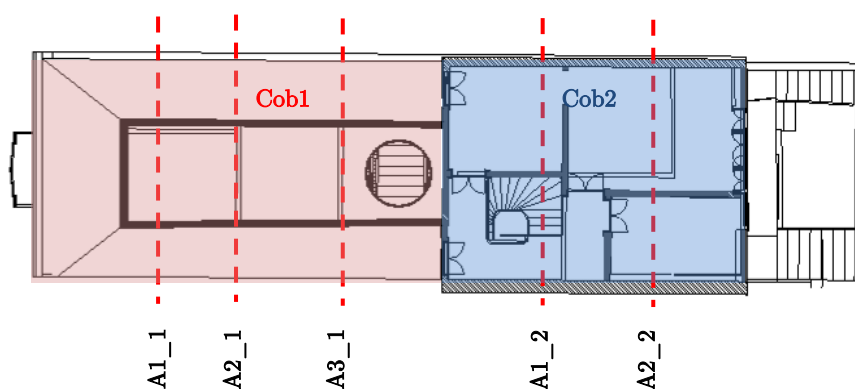
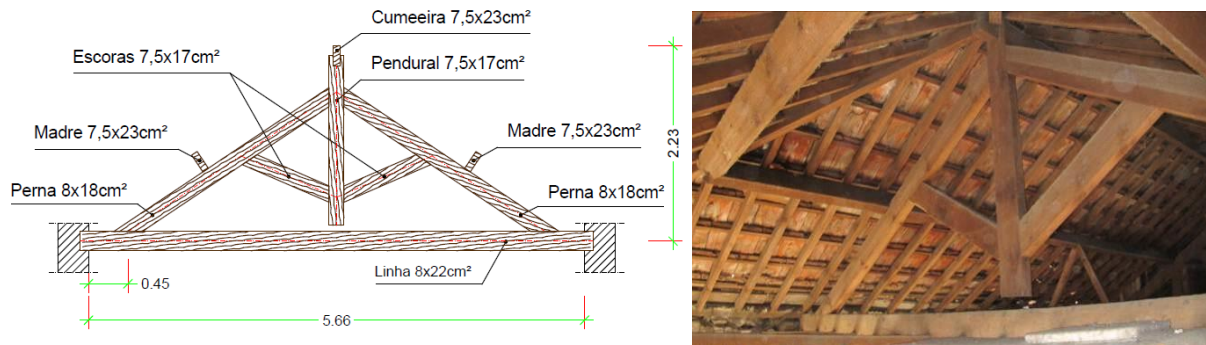
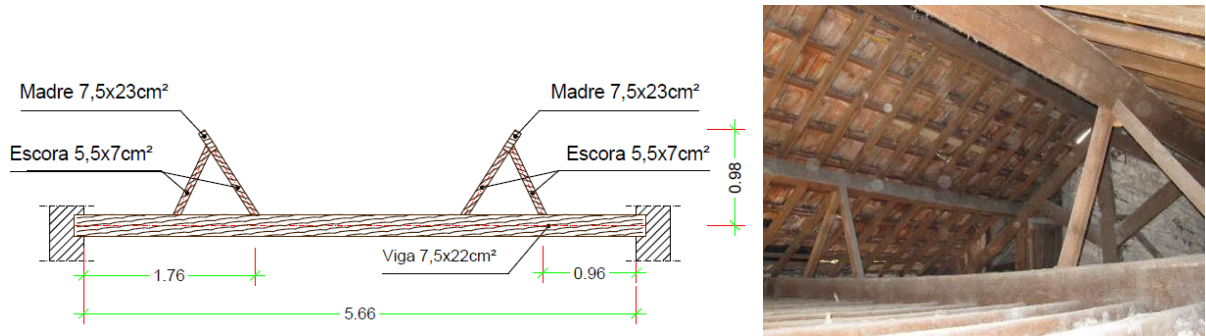


Figura 58 – Localização das coberturas Cob1 e Cob2 do Edifício Rua Barão São Cosme.

A cobertura Cob1, em estrutura de madeira do tipo folhosa é constituída por duas asnas do tipo Palladio, nos alinhamentos A1_1 e A3_1 com secções descritas na Figura 59.a), apresentando uma solução diferente no alinhamento A2_1, composta por uma viga e duas escoras por alinhamento de madre, Figura 59.b). Estas asnas encontram-se apoiadas nas paredes de empena em alvenaria de pedra com um vão de aproximadamente 5,70m.



a) Pormenor da asna A1_1.



b) Pormenor da asna A2_1.

Figura 59 – Elementos estruturais da cobertura Cob1 do Edifício Rua Barão São Cosme.

As asnas A1_1 e A3_1 servem de suporte aos dois rincões com secção de $7 \times 13 \text{cm}^2$, duas madres e cumeeira (ambas com secção transversal de $7,5 \times 23 \text{cm}^2$). Por sua vez, estes elementos servem de suporte às varas com cerca de $6 \times 7 \text{m}^2$ espaçadas de $0,35 \text{m}$, onde apoiam as ripas de suporte da telha.

Nesta cobertura existe uma clarabóia tronco-cónica sobre as escadas de ligação dos pisos 1 e 2, Figura 60, que se encontra apoiada na asna A3_1, na parede de tabique meira entre as duas coberturas e em vigas longitudinais de tecto dispostas nestes alinhamentos.



a) Vista pelo interior do edifício. b) Pormenor dos elementos de suporte.

Figura 60 – Clarabóia do Edifício Rua Barão São Cosme.

A cobertura Cob2, Figura 61, em estrutura de madeira do tipo folhosa é constituída por duas asnas de Palladio, designadas por A1_2 e A2_2 de tipologia semelhante à A1_1, que vencem um vão de aproximadamente 5,70m entre os apoios nas paredes de empena em alvenaria de tijolo maciço. Os rincões desta cobertura apresentam secções médias de $8 \times 14 \text{cm}^2$, com excepção de um rincão que tem secção de $7,5 \times 21 \text{cm}^2$. Não foi possível medir a secção das madres e das cumeeiras, estimando-se um diâmetro de 16cm para as vigas circulares e uma secção de $7,5 \times 21 \text{cm}^2$ para as vigas rectangulares.



a) Pormenor das asnas A2_2.

b) Elementos em madeira junto a asna A1_2.

Figura 61 – Elementos da cobertura Cob2 do Edifício Rua Barão São Cosme.

4.2.2.3. Caracterização dos danos estruturais

As paredes de alvenaria existentes, em granito e tijolo maciço, apresentam na generalidade um bom estado de conservação, não tendo sido observados danos estruturais significativos. No entanto, foram identificados nas paredes de empena, em particular no piso -1, sinais de presença de fungos, tal como se pode observar na Figura 62.



a) Ataque de fungos causados pela entrada de água observado na parede de empena do piso -1. b) Identificação de entrada de água na alvenaria de tijolo maciço do piso 2.

Figura 62 – Danos nas paredes de alvenaria de pedra no Edifício Rua Barão São Cosme.

As paredes de tabique interiores encontram-se em bom estado de conservação, observando-se alguma fissuração pontual nas paredes orientadas na direcção longitudinal do edifício, resultado da fluência dos pavimentos subjacentes, Figura 63.a).

As paredes em tabique exteriores do último piso encontram-se em razoável estado de conservação, observando-se alguma degradação por agentes atmosféricos, sendo necessário proceder à sua reabilitação, Figura 63.b).



a) Fissuração do tabique interior ao nível do piso 0. b) Degradação no tabique exterior do piso 2.

Figura 63 – Danos nas paredes de tabique do Edifício Rua Barão São Cosme.

O pavimento do piso 0 encontra-se, de uma forma geral, em mau estado de conservação devido aos inúmeros problemas detectados. Todo o pavimento apresenta degradações acentuadas com perda de secção transversal por ataques de fungos xilófagos e insectos

xilófagos (caruncho), Figura 64.a), potenciada pelas condições de humidade e falta de ventilação do piso -1. Foram também encontrados em algumas vigas com vários indícios de presença de insectos sociais, térmitas, Figura 64.b). Estes três agentes bióticos provocaram o colapso parcial do pavimento junto à entrada principal, Figura 64.c), e indícios de rotura nas vigas de secção rectangular que já se encontram escoradas, Figura 64.d).



a) Ataque de insectos xilófagos (caruncho).



b) Indícios da presença de insectos sociais (térmitas).



c) Colapso parcial do pavimento de madeira.



d) Vigas de secção rectangular escoradas.

Figura 64 – Danos no pavimento do piso 0 no Edifício Rua Barão São Cosme.

Foram também observados danos associados à deficiente concepção e à realização de intervenções pouco cuidadas, nomeadamente o corte de vigas de madeira para passagem de tubagens, Figura 65.a), e a aplicação de argamassa de cimento nos apoios. A viga de madeira disposta na direcção longitudinal do edifício encontra-se apoiada num pilar metálico com corrosão em estado avançado.



a) Corte do vigamento por intervenção descuidada. b) Corrosão avançada no prumo metálico.

Figura 65 – Danos observados no piso 0 no Edifício Rua Barão São Cosme.

Os pavimentos dos pisos 1 e 2 apresentam, em geral, um bom estado de conservação, embora se observem zonas mais degradadas devido aos ataques de agentes bióticos, nomeadamente nas paredes das empenas junto à fachada posterior e nas zonas onde se localizam as casas de banho, Figura 66.



a) Degradação zona junto à fachada posterior do piso 1. b) Degradação na zona da casa de banho ao nível do piso 2.

Figura 66 – Danos no pavimento do piso 1 e 2 no Edifício Rua Barão São Cosme.

As escadas de madeira de ligação entre os pisos 0 e 1 e entre os pisos 1 e 2 encontram-se em bom estado de conservação, não apresentando danos que comprometam o seu desempenho estrutural e estético.

Os elementos estruturais das coberturas Cob1 e Cob2 encontram-se globalmente em bom estado de conservação, apresentando alguns danos pontuais.

Na cobertura Cob1 as asnas A1_1 e A3_1 apresentam deformação fora-do-plano, Figura 67.a), e alguma degradação por fungos e insectos xilófagos (caruncho), embora com pouca intensidade. Contudo, a viga da asna A2_1, por encontra-se bastante degradada por insectos xilófagos (caruncho), verificando-se um elevado teor em água junto aos apoios, Figura 67.b).



a) Deformação fora-do-plano da asna A1_1.

b) Degradação acentuada junto ao apoio da asna A2_1.

Figura 67 – Danos na estrutura da cobertura Cob1 no Edifício Rua Barão São Cosme.

Na cobertura Cob2 a asna A1_2 apresenta um bom estado de conservação, observando-se alguma degradação por ataques de insectos xilófagos (caruncho), embora na linha da asna A2_2, conforme se pode observar pela Figura 68, este agente biótico provocou uma degradação acentuada com perda significativa de secção transversal, encontrando-se com elevada deformação.

Destaca-se ainda nas duas coberturas à degradação significativa nos frechais e rincões, por elevada entrada de água, Figura 69.a), e algumas fendas de secagem nas madres, Figura 69.b).



a) Vista geral da asna A2_2.

b) Pormenor da degradação significativa por ataques de insectos xilófagos (caruncho)

Figura 68 – Danos na asna A2_2 da cobertura Cob2 no Edifício Rua Barão São Cosme.



a) Degradação significativa nos frechais e rincões devido a elevada entrada de água na Cob1.

b) Fendas de secagem na madre existente na Cob1.

Figura 69 – Danos observáveis na cobertura Cob1 do Edifício Rua Barão São Cosme.

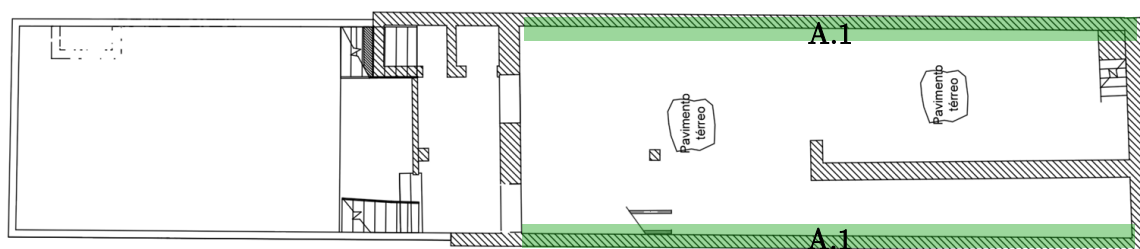
Com o objectivo de ilustrar a caracterização dos danos estruturais deste capítulo, na Figura 70 encontra-se o mapeamento de danos nas plantas estruturais. Da mesma forma que se procedeu para o Edifício Rua da Torrinhã, no mapeamento são utilizados os critérios definidos no Quadro 2 de modo a distinguir os vários danos, com uma designação em função do tipo de elemento afectado (os danos em alvenaria corresponde a letra A e na madeira a letra M) e nível de dano com escala de cores (os danos a verde não apresentam gravidade estrutural, os danos a amarelo correspondem a possibilidade de ser necessário

um reforço ligeiro e os danos a vermelho ilustram a necessidade de proceder se a intervenção).

Quadro 2 – Critérios para o mapeamento de danos do Edifício Rua Barão São Cosme.

Cor	Nível de dano
Verde	Dano ligeiro.
Amarelo	Dano médio.
Vermelho	Dano grave.

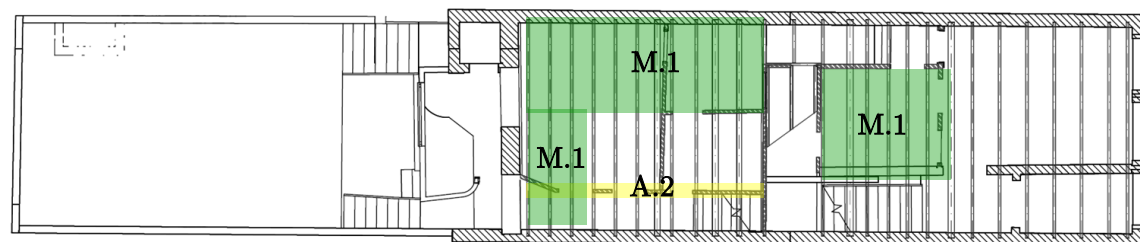
Designação	Descrição do dano
A.1	Manchas de humidade na alvenaria de pedra ou tijolo.
A.2	Fissuração na parede de tabique.
A.3	Degradação na parede de tabique
M.1	Degradação dos elementos de madeira.
M.2	Danos associados a construção no pavimento de madeira.
M.3	Fendas nas madres de cobertura.



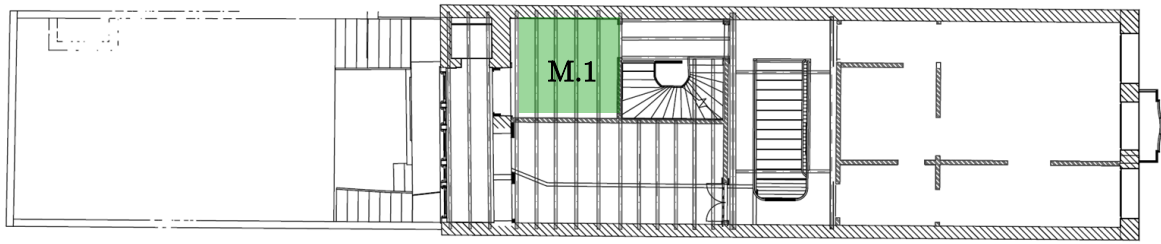
a) Piso -1.



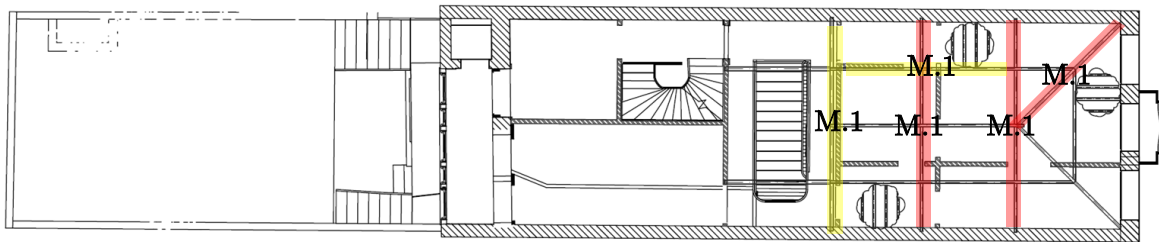
b) Piso 0.



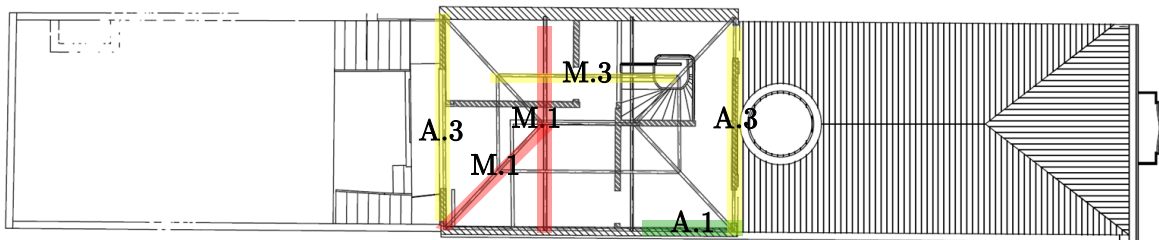
c) Piso 1.



d) Piso 2.



e) Cobertura Cob1.



f) Cobertura Cob2.



g) Nível de corte das plantas estruturais.

Figura 70 – Mapeamento de danos do Edifício Rua Barão São Cosme.

4.2.2.4. Análise dos resultados dos ensaios nos elementos de madeira

A inspeção visual foi complementada pela realização de 51 ensaios, com o Resistógrafo, o pilodyn e o higrómetro, em elementos de madeira dos três pavimentos, escadas e duas coberturas. No Anexo 2.1 são apresentados os resultados dos ensaios efectuados no edifício,

assim como um comentário das acções a realizar, nomeadamente manter (✓ - verde), ou substituir/reforçar (✗ - vermelho). É representada a localização dos ensaios nas plantas estruturais do edifício, que resultaram do levantamento dos elementos estruturais existentes, onde toda a descrição deste levantamento encontra-se no subcapítulo 4.2.2.2.

Os resultados dos ensaios com o Pilodyn permitiram avaliar o estado de conservação superficial da madeira, tendo o valor médio de penetração obtido sido de 16mm. Porém alguns elementos do pavimento do piso 0 e a generalidade da cobertura Cob2 apresentam um estado de degradação superficial mais acentuado, com valores de penetração entre os 20 e os 32mm, indicativos de ataques superficiais de aproximadamente 1,0 a 3,0cm nos elementos ensaiados.

Os valores obtidos com o higrómetro, em média de 21%, indicam a existência de um elevado teor em água, generalizado nos elementos de madeira do edifício, e potenciador do ataque de agentes bióticos.

Por sua vez, os resultados dos ensaios realizados com o Resistógrafo indicam na generalidade um bom estado de conservação dos elementos de madeira do piso 1, 2 e Cob1, sendo necessário realizar acções de substituição/reforço em alguns elementos. No entanto, confirmaram-se as impressões obtidas durante a inspecção visual do piso 0 e Cob2, revelando a degradação acentuada de alguns elementos estruturais ao longo da sua secção transversal que, como tal, deverão ser substituídos/reforçados.

4.2.3. Realização de ensaios e sondagens nos dois casos de estudo

A inspecção visual para caracterização geométrica, material e do estado de conservação dos elementos estruturais dos dois edifícios apresentados foi complementada e (ou) validada através da realização de ensaios não destrutivos, utilizando as técnicas descritas no subcapítulo 3.5.

Estes ensaios foram complementados pela abertura de janelas de sondagens em pavimentos e em paredes, de forma a permitir um levantamento mais completo das características dos elementos estruturais e (ou) validar as leituras realizadas pelos equipamentos utilizados. Esta campanha procurou minimizar o impacto nos elementos construtivos, através da realização de sondagens por amostragem, Figura 71.



a) Sondagem no pavimento do piso 2 no Edifício Rua da Torrinha.

b) Sondagem no pavimento do piso 2 no Edifício Rua Barão São Cosme.

Figura 71 – Abertura de janelas de sondagens.

4.2.4. Comparação das acções de reabilitação

Após a análise efectuada nas secções anteriores aos dois edifícios em estudo, resultado das actividades de inspecção e diagnóstico, são apresentadas de forma sucinta as principais conclusões destas fases, que englobam a avaliação da segurança estrutural e o reforço dos elementos existentes e o dimensionamento de novos elementos.

Em ambos os edifícios foram considerados os requisitos impostos pelo projecto de arquitectura, face à introdução de novos revestimentos, à construção de novos compartimentos e às demolições a realizar.

É importante realçar que as intervenções nestes edifícios deverão utilizar materiais e técnicas tradicionais de forma a garantir soluções tendencialmente reversíveis, compatíveis e pouco intrusivas.

4.2.4.1. Definição das propriedades geométricas, mecânicas e acções

A geometria considerada nos elementos estruturais existentes, nomeadamente vãos, secções transversais, espaçamentos entre elementos e espessuras, resulta do levantamento geométrico realizado na inspecção visual.

Para avaliação das paredes resistentes de alvenaria de granito, que compõem ambos os edifícios em estudo, foi adoptada uma resistência característica à compressão média estimada de 2,5MPa e módulos de deformabilidade vertical entre 3GPa e 5GPa, conforme valores obtidos em ensaios experimentais publicados por (Almeida et al., 2010). Assim, a resistência de cálculo à compressão será de 1,0MPa, assumindo um coeficiente parcial de segurança de 2,5 especificado no Eurocódigo 6 (CEN, 2009b).

Os ensaios e a inspecção visual realizados nos elementos de madeira permitiram concluir que estes são do tipo folhosa (castanho, *Castanea Sativa* Mill) nas secções circulares em ambos os edifícios, e do tipo resinosa (pinho nacional ou nórdico, *Pinus Pinaster* ou *Pinus Sylvestris*) nas secções rectangulares do Edifício Rua Barão São Cosme. Com estas informações, adoptou-se para análise dos elementos de madeira existentes e para o dimensionamento dos novos elementos, referidos no Quadro 3, os valores de cálculo das propriedades mecânicas descritas no Quadro 4. Estes valores seguem a metodologia do documento normativo EN338 (CEN, 2003) e Eurocódigo 5 (CEN, 2004). Foi considerada a classe de serviço 2 para as coberturas e a classe de serviço 1 para os pavimentos e escadas.

Quadro 3 – Elementos de madeira considerados na intervenção dos casos de estudo.

		Classe resistente	Tipo de elemento	Tipo de avaliação
Edifício Rua da Torrinha		D30	Elementos existentes	Avaliação da segurança estrutural actual
		C18	Elementos novos, com secção transversal rectangular	Dimensionamento/Reforço
Edifício Rua Barão São Cosme		D30	Elementos existentes, com secção transversal circular	Avaliação da segurança estrutural actual
		C18	Elementos existentes, com secção transversal rectangular e elementos novos, com secção transversal rectangular e circular	Avaliação da segurança estrutural actual e Dimensionamento/Reforço

Quadro 4 – Valores de cálculo das propriedades mecânicas dos elementos de madeira.

Classe Resistente	Tipo de Cargas	k_{mod}	$f_{m,d}$ (MPa)	$f_{t,o,d}$ (MPa)	$f_{c,0,d}$ (MPa)	$f_{c,90,d}$ (MPa)	$f_{v,d}$ (MPa)
D30	Permanentes	0,6	13,8	8,30	10,6	3,69	1,38
	Média duração (sobrecarga)	0,8	18,5	11,0	14,15	4,92	1,85
C18	Permanentes	0,6	8,31	5,08	8,31	0,23	0,92
	Média duração (sobrecarga)	0,8	11,1	6,77	11,1	0,31	1,23

Na avaliação dos elementos em betão armado a manter do Edifício Rua da Torrinha, optou-se, por simplificação pois não se justificava a realização de ensaios numa área reduzida, uma classe de resistência do betão com características semelhantes às de um betão C12/15.

Na quantificação das acções permanentes (G_k), para além do peso próprio dos elementos estruturais (vigas de pavimento, asnas, lajes de betão armado), para os materiais de revestimento dos pavimentos e tectos (soalho e os tectos estucados) do Edifício Rua da Torrinha e Edifício Rua Barão São Cosme, considerou-se uma carga distribuída de $0,60\text{kN/m}^2$ e $0,75\text{ kN/m}^2$, respectivamente, devido à existência de materiais distintos nos edifícios. Relativamente aos materiais de revestimento das coberturas (telhas, ripas, varas e isolamento), considerou-se para ambos os edifícios uma carga distribuída de $0,80\text{kN/m}^2$.

No Edifício Rua Barão São Cosme, e em particular nos compartimentos com camada de

betonilha e revestimento cerâmico, admitiu-se uma carga distribuída de $1,85\text{kN/m}^2$, e nos pavimentos que suportavam paredes interiores de tabique considerou-se uma carga distribuída de $0,50\text{kN/m}^2$.

Na quantificação das acções variáveis (Q_k), face à utilização de carácter privado (habitação) em ambos os edifícios, assumiu-se os valores regulamentares, ou seja, carga distribuída de $2,0\text{kN/m}^2$ nos pavimentos, $3,0\text{kN/m}^2$ nas escadas, e $0,30\text{kN/m}^2$ nas coberturas ordinárias.

Foi ainda considerada a acção do vento nas coberturas, quantificada pela localização dos edifícios na zona A com uma rugosidade aerodinâmica do tipo I.

Estas acções foram combinadas segundo as considerações regulamentares para os Estados Limites Últimos (ELU) e aos Estados Limites de Serviço (ELS), considerando-se em particular o Estado Limite de Deformação (ELD). No que diz respeito aos estados limites de serviço para elementos de madeira dos pavimentos, foi verificada a deformação e vibração.

Todas as ponderações tiveram por base os elementos recolhidos nas acções de inspecção e diagnóstico, na aplicação da regulamentação vigente e recomendações internacionais, nomeadamente:

- R.S.A. - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes - Dec. Lei n.º 235/83 de 31 de Maio, (R.S.A., 1983);
- Eurocódigo 0 (EC0) – Bases para o projecto de estruturas, (CEN, 2009c);
- Eurocódigo 1 (EC1) – Acções em estruturas. Parte 1-1: Acções gerais, NP EN 1991-1-1, (CEN, 2009a);
- Eurocódigo 2 (EC2) - Projecto de estruturas de Betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1992-1-1, (CEN, 2010a);

- Eurocódigo 3 (EC3) - Projecto de estruturas de Aço. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1993-1-1, (CEN, 2010b);
- Eurocódigo 3 (EC3) - Projecto de estruturas de Aço. Parte 1-8: Projecto de ligações, NP EN 1993-1-8, (CEN, 2010c);
- Eurocódigo 5 (EC5) - Projecto de estruturas de Madeira. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1995-1-1, (CEN, 2004);
- Eurocódigo 6 (EC6) - Projecto de estruturas de Alvenaria. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Regras para alvenaria armada e não armada. NP EN 1996-1-1, (CEN, 2009b);
- ICOMOS (2004) - Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico do ICOMOS, (ICOMOS, 2004).

4.2.4.2. Comparação da avaliação de segurança e dimensionamento estrutural

Na sequência dos subcapítulos anteriores, conclui-se que ambos os edifícios em estudo se encontram em bom estado de conservação, necessitando de intervenções ligeiras face aos danos observados, podendo os seus elementos estruturais ser mantidos.

Faz-se em seguida uma breve descrição do resultado da avaliação de segurança e das soluções preconizadas no dimensionamento estrutural, sendo possível observar as tabelas de cálculo que auxiliaram estas acções no Anexo 1.2 e no Anexo 2.2, e as peças desenhadas no Anexo 1.3 e no Anexo 2.3, referentes ao Edifício Rua da Torrinha e Edifício Rua Barão São Cosme.

De uma forma geral, as paredes de alvenaria de pedra dos dois casos de estudo não apresentam danos estruturais relevantes. As cargas verticais transmitidas pelos pavimentos e cobertura na base das paredes resistentes de alvenaria de pedra correspondem, em Estado Limite Último (ELU), a valores de tensão inferiores a 1.0MPa

(resistência de cálculo à compressão), não se prevendo que possam ocorrer danos de compressão.

Por análise dos danos encontrados nas paredes de tabique, concluiu-se que é necessário, para além do tratamento preventivo dos elementos de madeira contra agentes bióticos, proceder às seguintes acções:

- No Edifício Rua da Torrinha, reforçar as paredes de tabique exteriores do último piso com placas OSB (oriented strand board) por forma a conferir-lhes maior resistência no plano, e substituir integralmente o tabique exterior existente na fachada principal do piso 2 por uma nova parede em frontal de madeira, conforme especificado nas peças desenhadas do Anexo 2.3.
- Por sua vez, no Edifício Rua Barão São Cosme a intervenção nas paredes exteriores do último piso foi mais ligeira, passando por repor o revestimento exterior. No entanto será necessário reforçar com placas OSB de 15mm em ambas as faces das paredes de tabique do piso 1 (por suportarem as vigas de pavimento do piso sobrejacente e as escadas de acesso ao piso 2), e do piso 2 (por suportarem a escada de acesso ao piso superior) e piso 3.

Relativamente aos elementos estruturais de madeira dos pavimentos, escadas e cobertura, foi realizada a verificação de segurança apresentada em detalhe no Anexo 1.2 e no Anexo 2.2.

Na generalidade, ambos os edifícios em estudo necessitam de intervenções de reabilitação estrutural, destacando se seguintes conclusões da verificação da segurança:

- No Edifício Rua da Torrinha:
 - Os pavimentos das zonas CompA-1, CompB-1, CompA-2 e CompD-2 não verificam os ELS (por deformação e vibração), o que é consentâneo com as

vibrações e deformações encontradas no local. Neste sentido, estes pavimentos necessitam de um reforço ligeiro;

- O pavimento da zona CompA-3 não verifica o ELS, e tendo em conta o seu mau estado de conservação, necessitará de uma intervenção mais pesada;
 - Face à remoção da parede de tabique interior longitudinal ao edifício ao nível do piso 0, definida no projecto de arquitectura, será necessário promover um reforço mais significativo do pavimento da zona CompB-1;
 - Ao nível da cobertura as madres existentes não verificam as exigências de ELS, sendo necessário proceder ao seu reforço e substituição das peças mais degradadas.
- No Edifício Rua Barão São Cosme:
 - O pavimento de madeira do piso 0 encontra-se em mau estado de conservação, apresentando muitos elementos em estado de degradação avançado, e por isso, partindo da decisão conjunta com a equipa de arquitectura, será globalmente substituído;
 - As vigas do pavimento ao nível do piso 1, entre as caixas de escadas central e a fachada principal, verificam a segurança aos ELU e ELS. Todavia será necessário reforçar o restante pavimento junto a fachada posterior, devido à demolição (definida no projecto de arquitectura) de uma parede de tabique interior que lhe serve de apoio;
 - O pavimento do piso 2 verifica a segurança aos ELU e ELS. Contudo será necessário reforçar o pavimento na zona da casa de banho;
 - Os elementos de cobertura verificam na generalidade a segurança face à regulamentação em vigor. Todavia, é necessário reforçar as linhas das asnas

existentes e substituir a asna A2_1 por uma asna semelhante às existentes por não verificarem a segurança aos ELU e ELS;

- As madres de suporte a clarabóia não verificam a segurança, sendo necessário proceder ao seu reforço.

Os elementos estruturais das escadas, dos dois edifícios de estudo verificam os ELU e os ELS. Em ambos os edifícios foi necessário introduzir novos lanços de escadas preconizados no projecto de arquitectura.

A partir da avaliação da segurança e caracterização dos danos estruturais apresenta-se uma síntese das acções de intervenção para o Edifício Rua da Torrinha (através do Quadro 5 e Quadro 7) e para o Edifício Rua Barão São Cosme (através do Quadro 6 e Quadro 8).

Esta síntese transcreve o dimensionamento dos novos elementos estruturais e dos elementos de reforço, devidamente detalhados na memória de cálculo exposta no Anexo 1.2 e no Anexo 2.2, assim como nas plantas estruturais e nos pormenores necessários à execução, detalhadas no Anexo 1.3 e no Anexo 2.3.

Note-se que a estratégia de reforço adoptada no Edifício Rua da Torrinha, quer para os pavimentos, quer para as coberturas, foi a de introduzir novos elementos intercalados com os existentes, por forma a diminuir a sua área de influência e, conseqüentemente, as cargas instaladas e os respectivos rácios de segurança.

Por sua vez, foi utilizada uma solução de reforço distinta no Edifício Rua Barão São Cosme, através da fixação lateral de novas peças de madeira às antigas, com recurso a parafusos roscados.

Estas soluções foram preconizadas a pensar na facilidade de execução em obra. No Edifício Rua da Torrinha, as vigas de pavimento são de secção circular e por isso a solução de intercalar as vigas existentes com novas vigas de madeira era a solução mais exequível.

Por sua vez, no Edifício Rua Barão São Cosme os pavimentos a reforçar são constituídos por vigas de madeira de secção rectangular onde estas são fixadas com facilidade às novas vigas também em secção rectangular.

Quadro 5 – Síntese das intervenções nos pavimentos e escadas no Edifício Rua da Torrinha.

	Zona	Ação de intervenção
Piso 1	CompA-1	Reforço com 1 viga nova ($12 \times 18 \text{cm}^2$) em cada 2 intervalos.
	CompB-1	Reforço com 1 viga nova ($12 \times 18 \text{cm}^2$) por cada intervalo.
	CompC-1	Sem intervenção.
	CompD-1	Sem intervenção.
Piso 2	CompA-2	Reforço com 1 viga nova ($12 \times 18 \text{cm}^2$) em cada 2 intervalos.
	CompB-2	Reforço com 1 viga nova ($12 \times 18 \text{cm}^2$) em cada 2 intervalos.
	CompC-2	Sem intervenção.
	CompD-2	Reforço com 1 viga nova ($12 \times 0,18 \text{cm}^2$) em cada 2 intervalos.
Piso 3	CompA-3	Reforço com vigas novas ($12 \times 18 \text{cm}^2$) espaçadas de 0,60m.
	CompB-3	Reforço com vigas novas ($12 \times 18 \text{cm}^2$) espaçadas de 0,60m.
Escada central (entre os pisos 0 e 2)		Sem intervenção.
Escada de ligação do piso 2 ao piso 3		Demolição dos elementos da escada existente. Pernas novas ($12 \times 22 \text{cm}^2$) e vigas novas de patamar para materializarem a nova escada posicionada no mesmo alinhamento da escada central. Nova cadeia ($12 \times 22 \text{cm}^2$) ao nível do piso 3.

Quadro 6 – Síntese das intervenções nos pavimentos e escadas no Edifício Rua Barão São Cosme.

Zona		Acção de intervenção
Piso 0	Todo pavimento	Substituição integral do pavimento, com novas vigas ($\varnothing 20\text{cm}$ e $\varnothing 16\text{cm}$) e reutilização de vigas existentes ($\varnothing 11\text{cm}$ e $\varnothing 15\text{cm}$).
		Substituição da viga de suporte intermédio ($\varnothing 26\text{cm}$), por 1 viga nova ($\varnothing 26\text{cm}$).
Piso 1	Entre fachada principal e caixa de escadas	Novos tarugos ($8 \times 16\text{cm}^2$), a meio vão.
	Entre caixa de escadas e fachada posterior.	Reforço com 1 viga nova ($8 \times 22\text{cm}^2$) em cada viga existente (secção menor).
		Reforço com 1 viga nova ($16 \times 22\text{cm}^2$) em cada viga existente (secção maior).
		Colocação de tarugos ($8 \times 16\text{cm}^2$).
Piso 2	Compartimento da casa de banho	Reforço com vigas novas ($8 \times 16\text{cm}^2$) espaçadas de 0,50m.
		Colocação de tarugos ($8 \times 16\text{cm}^2$).
	Escada de ligação dos pisos -1 e 0	Novas pernas ($8 \times 22\text{cm}^2$).
	Escada de ligação do piso 0 ao piso 1	Substituição da perna intermédia por nova ($8 \times 22\text{cm}^2$). Reforço da cadeia existente no piso 1 com nova cadeia ($8 \times 22\text{cm}^2$).
	Escada de ligação dos pisos 1 e 2	Sem intervenção.

Ao nível das coberturas, para o Edifício Rua da Torrinha foram dimensionados novos elementos de reforço/substituição para a cobertura existente (designada por Cober.A) e para as novas coberturas Cober.B e Cober.C a construir.

Quadro 7 – Síntese das intervenções nas coberturas do Edifício Rua da Torrinha.

Acção de intervenção	
Cober.A	Reforço/Substituição com novas madres ($0,12 \times 0,22\text{m}^2$), conforme a disposição nas plantas estruturais da Figura 73.
	Colocação de nova cumeeira ($0,12 \times 0,24\text{m}^2$) e nova madre ($0,12 \times 0,24\text{m}^2$) para suporte de equipamentos, conforme a disposição nas plantas estruturais no Anexo 1.3.
	Colocação de 2 novas madres ($0,12 \times 0,24\text{m}^2$) para suporte da clarabóia, conforme a disposição nas plantas estruturais da Figura 73.
Cober.B (nova)	Nova cumeeira ($0,12 \times 0,24\text{m}^2$), conforme a disposição nas plantas estruturais no Anexo 1.3.
	Nova asna A1_B, conforme a disposição e secções nas plantas estruturais no Anexo 1.3. Nova asna A2_B com 0.50m de espaçamento, conforme a disposição e secções nas plantas estruturais da Figura 73.
Cober.C (nova)	Nova madre ($0,10 \times 0,10\text{m}^2$) com 0,50m de espaçamento, conforme a disposição nas plantas estruturais da Figura 73.

Por sua vez, a intervenção nas coberturas do Edifício Rua Barão São Cosme foi mais acentuada, face à insuficiente capacidade resistente dos elementos e danos detectados.

Quadro 8 – Síntese das intervenções nas coberturas do Edifício Rua Barão São Cosme.

	Acção de intervenção
Cob1	Substituição da asna no alinhamento A2_1 por uma asna de Palladio, conforme a disposição e secções nas plantas estruturais da Figura 75.
	Reforço/Substituição com nova linha ($0,08 \times 0,22\text{m}^2$) na asna A1_1.
	Reforço/Substituição com nova linha ($0,12 \times 0,26\text{m}^2$) na asna A3_1.
	Substituição dos rincões, por novos ($0,08 \times 0,22\text{m}^2$).
	Colocação com novas pernas ($0,08 \times 0,16\text{m}^2$) para reforço das madres (impedindo a instabilidade lateral-torsional).
	Colocação de novas madres ($0,08 \times 0,22\text{m}^2$) para suporte da clarabóia, conforme ilustrados na Figura 75.
	Substituição do frechal por novo ($0,08 \times 0,08\text{m}^2$) na envolvente da cobertura.
Cob2	Reforço/Substituição com nova linha ($0,08 \times 0,22\text{m}^2$) na asna A1_2 e A2_2.
	Reforço/Substituição com nova perna ($0,08 \times 0,16\text{m}^2$) na asna A2_2.
	Novo rincão ($0,08 \times 0,16\text{m}^2$).
	Substituição do frechal por novo ($0,08 \times 0,08\text{m}^2$) na envolvente da cobertura.

Foi realizada a verificação de segurança dos elementos em betão armado a manter do Edifício Rua da Torrinha, nomeadamente da laje existente na varanda da fachada posterior do piso 1 (LM1). Como é possível constatar pela verificação detalhada no Anexo 1.2, a laje maciça LM1 verifica a segurança para os E.L.U. para as condições de apoio existentes. Contudo será efectuada a demolição do sistema triangulado, e por isso foi dimensionada uma estrutura metálica composta por 2 perfis metálicos HEA140 e 1 perfil metálico UPN160, ambos de classe de aço S275.

A varanda do piso 2 deste edifício é igualmente composta por uma laje, embora não tenha sido possível caracterizar devidamente a sua constituição e sistema estrutural e por isso a sua verificação de segurança será realizada posteriormente, durante a fase de demolição.

Ainda referente ao Edifício Rua da Torrinha, foi preconizada a construção de novas paredes de alvenaria resistente com blocos de betão para suporte das novas coberturas dos arrumos e lavandaria (novas construções localizadas no logradouro) bem como da nova

sala junto a fachada posterior. Estes deverão ser maciços do grupo 1 de acordo com a EN 1996-1:1, apresentando uma tensão de rotura característica mínima de 6MPa, com argamassa de assentamento de classe M5, ou superior, sugerindo-se assim a utilização de bloco maciço de betão da Artebel ou equivalente.

Conclui-se através da comparação da avaliação de segurança e do dimensionamento estrutural que ambos os edifícios necessitam de intervenções ligeiras, apresentando-se no Anexo 1.3 e no Anexo 2.3, referentes ao Edifício Rua da Torrinha e Edifício Rua Barão São Cosme, as peças desenhadas que resultaram do Projecto de Estabilidade elaborado pelo NCREP e do qual foi acompanhado a sua realização

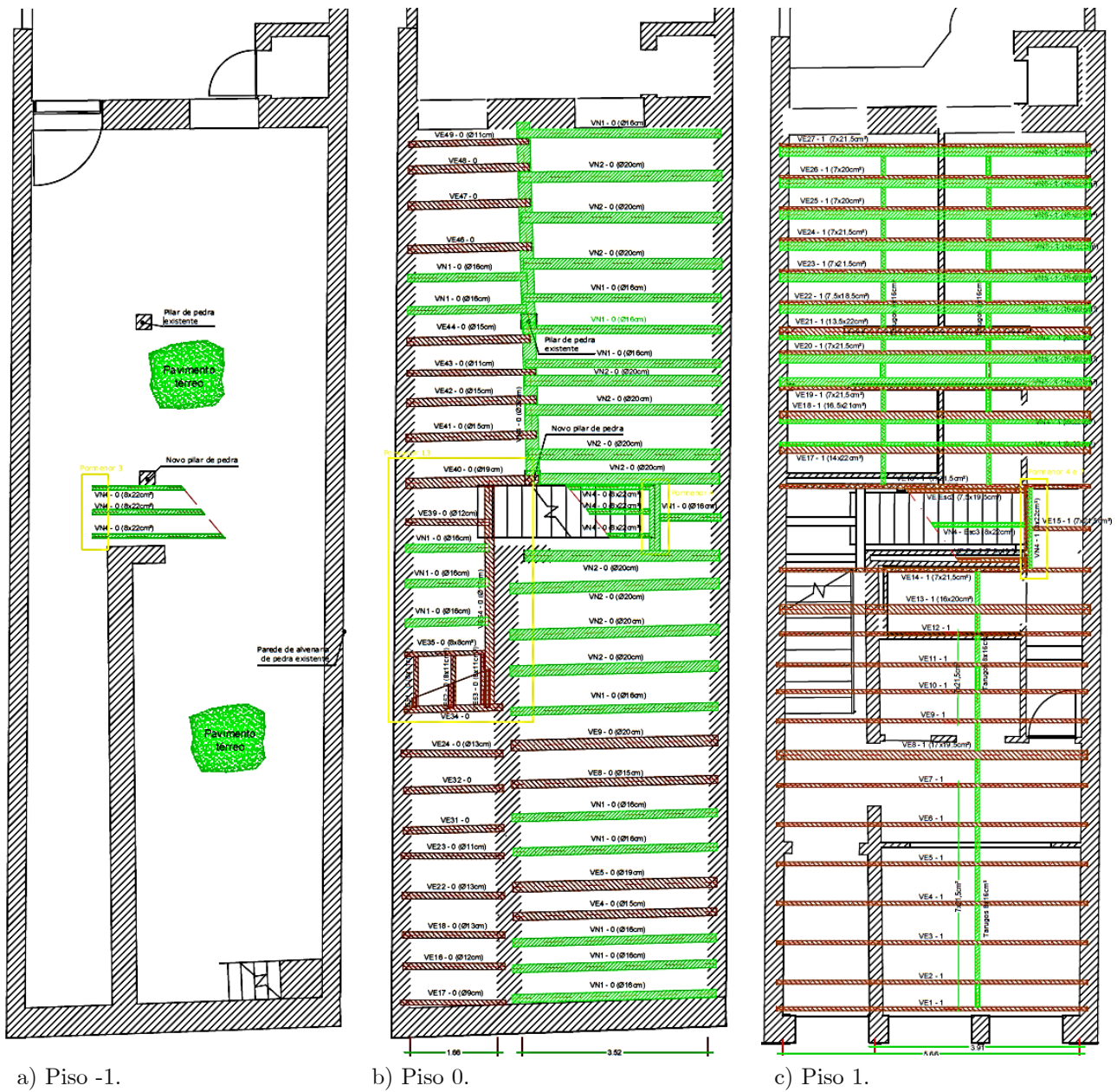
Na Figura 72 à Figura 75 são ilustradas as plantas estruturais para os dois edifícios em estudo, dando-se importância aos elementos estruturais que estão identificados por uma escala de cor, nomeadamente: os novos elementos de madeira (identificados a verde), os elementos de madeira existentes a manter (identificados a castanho) e os novos elementos metálicos (identificados a amarelo).



a) Piso 3.

b) Cobertura.

Figura 73 – Plantas estruturais do piso 3 e cobertura do Edifício Rua da Torrinha (plantas sem escala).

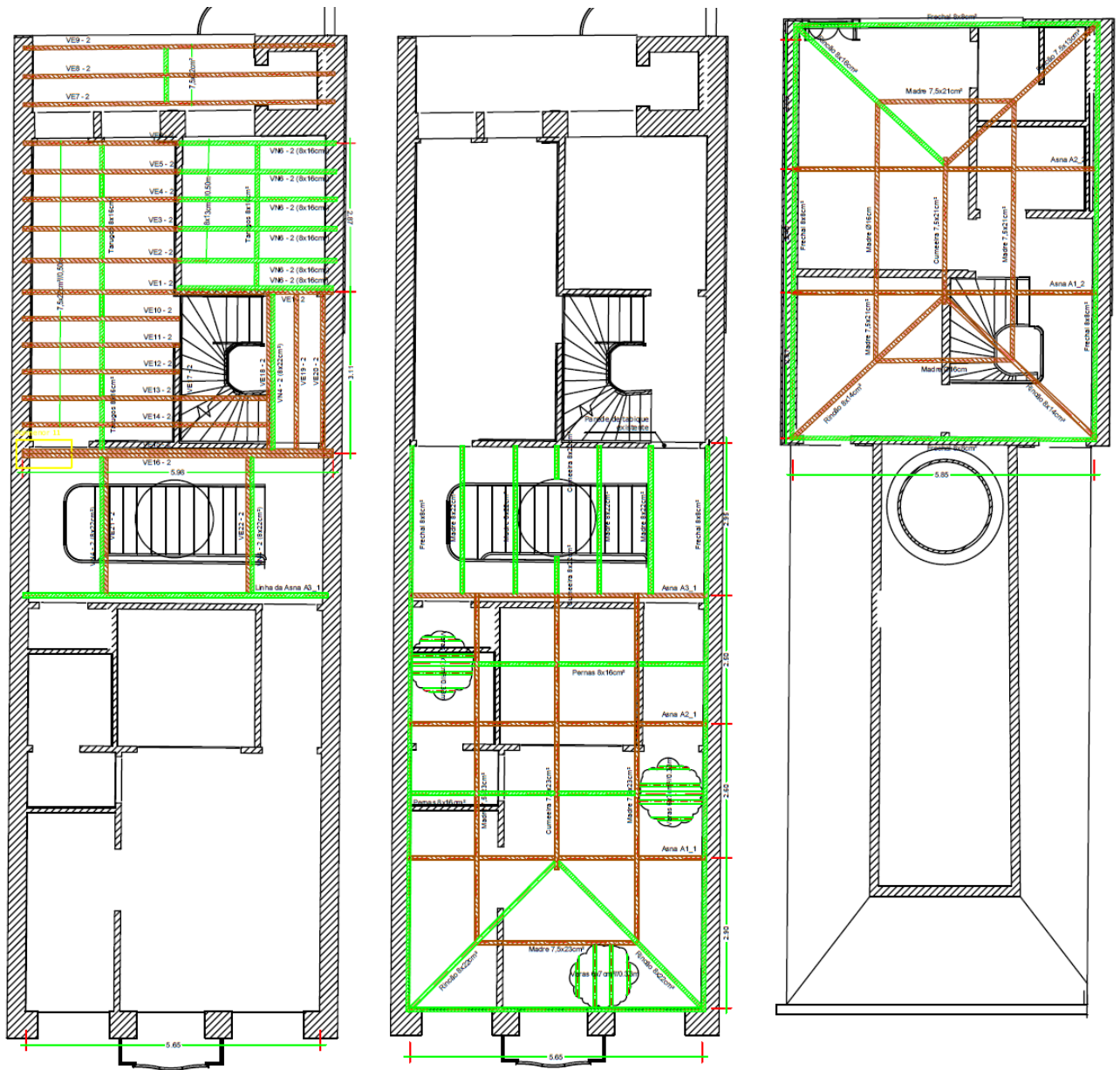


a) Piso -1.

b) Piso 0.

c) Piso 1.

Figura 74 – Plantas estruturais dos pisos -1, 0 e 1, do Edifício Rua Barão São Cosme (plantas sem escala).



a) Piso 2.

b) Cobertura Cob1.

c) Cobertura Cob2.

Figura 75 – Plantas estruturais do piso 2 e coberturas, do Edifício Rua Barão São Cosme (plantas sem escala).

4.2.4.3. Medidas gerais de intervenção

A análise efectuada anteriormente permitiu avaliar o estado de conservação e a segurança estrutural dos edifícios casos de estudo, e definir o tipo de intervenção a realizar, envolvendo nomeadamente substituição, reabilitação e (ou) reforço de alguns dos seus elementos estruturais. Esta intervenção encontra-se resumida nas peças desenhadas (plantas estruturais e pormenores) apresentadas no Anexo 1.3 e no Anexo 2.3.

Para além destas soluções, de carácter estrutural, será necessário proceder a medidas de intervenção que promovam a estabilidade dos elementos construtivos existentes, quer estruturais, quer de revestimento.

As paredes de alvenaria de pedra, em ambos os edifícios de estudo, serão mantidas e reabilitadas, procedendo a colmatação das juntas com argamassas compatíveis de cal hidráulica natural sem cimento (eventualmente do tipo T30V da Tassullo ou nas zonas mais degradadas/fragilizadas proceder a reconstrução local e/ou injeção da argamassa do tipo FEN-X/B da Tassullo). De forma a salvaguardar a sua correcta ventilação, não será conveniente utilizar revestimentos impermeáveis, tais como argamassas de cimento e tintas plásticas. De modo a melhorar a capacidade resistente e o comportamento do edifício, em particular às acções horizontais, as paredes deverão ser devidamente ligadas aos elementos estruturais dos pavimentos e da cobertura.

Os elementos existentes de madeira, presentes nos pavimentos, escadas, coberturas e paredes de tabique deverão ser devidamente limpos e aspirados para se proceder à aplicação de um produto de tratamento contra fungos e insectos xilófagos do tipo Xylophene S.O.R.40 ou equivalente.

Os novos elementos de madeira deverão receber também um produto de prevenção contra agentes bióticos em autoclave de duplo vácuo com um produto do tipo Xylophene S.O.R.40 ou equivalente.

Através das acções de inspecção visual, conclui-se que as acções globais de reabilitação/conservação da cobertura deverão ser complementadas pela substituição parcial dos elementos secundários, tais como:

- Substituição de cerca de 50% das varas, colocando-se novas peças de madeira maciça da classe C18, com secção transversal de $0,08 \times 0,08 \text{m}^2$ na cobertura existente (Cober.A) do Edifício Rua da Torrinha;

- Substituição da totalidade dos frechais e de aproximadamente 30% das varas, colocando-se novas peças de madeira maciça da classe C18, com secção transversal de $0,08 \times 0,08 \text{m}^2$ nas coberturas existentes (Cob1 e Cob2) do Edifício Rua Barão São Cosme;
- Substituição integral das telhas e do ripado das coberturas existentes de ambos os edifícios.

Com a realização das medidas de intervenção sugeridas, assim como das soluções de reforço/substituição definidas em projecto, conclui-se que ambos os edifícios encontram-se em razoável/bom estado de conservação, necessitando de acções ligeiras: de reabilitação na estrutura em madeira dos pavimentos, escadas e cobertura, face às soluções de reforço necessárias para verificação da segurança, imposta pela regulamentação actual; e de substituição dos elementos existentes que se encontram degradados, geralmente por agentes abióticos (água) e bióticos (fungos e insectos xilófagos).

Em particular no Edifício Rua Barão São Cosme, o pavimento do piso 0 necessitou de uma substituição generalizada dos elementos devido a degradação acentuada por agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos).

Realça-se a importância na integração de um plano de manutenções periódicas aos vários elementos que compõe o edifício, contemplando, por exemplo, verificações dos elementos em madeira na cobertura e dos sistemas de recolha e drenagem de águas pluviais.

4.3. Implementação de procedimentos tipo para a inspecção de estruturas

Perante a descrição efectuada nos capítulos anteriores, é perceptível a importância da inspecção na sequência das actividades que lhe sucedem para a reabilitação de edifícios, nomeadamente as actividades de diagnóstico e projecto.

Contudo, como refere (Rodrigues, 2013), são escassos, em inspecções de edifícios, documentos técnicos que visam estabelecer procedimentos e normas a seguir pela equipa de inspecção, ao contrário do que se sucede em inspecções de obras de arte.

Face a este problema, a empresa de estágio (NCREP) a partir do conhecimento e experiência acumulada no domínio da reabilitação e reforço de estruturas existentes ao longo dos anos de actividade, estabeleceu uma metodologia interna.

No acompanhamento das várias inspecções realizadas no estágio esta metodologia expedita foi transmitida. Porém, foram detectadas algumas falhas na sua realização. Uma vez que o NCREP não tinha nenhum documento que orientasse a realização de inspecções, surgiu a oportunidade de implementar um procedimento tipo em formato de *checklist*, pensado numa estrutura simples, organizada e objectiva, vocacionada para a inspecção de edifícios correntes.

O procedimento desenvolvido é composto por três fichas, nomeadamente: Procedimento para a Inspeção Preliminar (designada por PIP), Procedimento para a Inspeção Detalhada (designada por PID), e lista de Meios de Apoio à Inspeção (designada por MAI).

O resultado final do procedimento desenvolvido a implementar no NCREP contou com participação da sua equipa de trabalho, a fim de avaliar e adequar o seu carácter prático nas inspecções futuras a realizar.



CONSULTORIA
EM REABILITAÇÃO
DO EDIFICADO
E PATRIMÓNIO

Inspeção Preliminar

Nome do trabalho

Código do trabalho

Procedimento para a inspeção preliminar

PIP

01| Identificação

Responsável NCREP: Data: / /

Requerente: Contactos:

Endereço:

Prazos: Tipo de Trabalho:

(I/D, Projecto, Parecer)

02| Dados Gerais

Âmbito do trabalho: (Ex: Só cobertura)

N.º de pisos	Época de construção	Tipologia construtiva	Uso da construção
.....

03| Procedimento

A. Solicitar elementos fotográficos.

B. Solicitar peças desenhadas do levantamento geométrico.

C. Identificar endereço (coordenadas, rua, localidade, etc.).

Pesquisa:

D. Recolher testemunhos de pessoas ligadas à obra.

E. Recolher e analisar documentação (através da pesquisa histórica nos arquivos municipais, dossier dos projectos, pareceres técnicos, registos de intervenções, etc.).

F. Identificar ano de construção.

G. Caracterizar o sistema construtivo (tipo de estrutura, materiais).

H. Identificar intervenções efectuadas (elementos introduzidos/substituídos).

Planeamento:

I. Avaliar as condições/necessidades de acesso, limpeza e iluminação.

J. Identificar as potenciais zonas de risco.

K. Identificar a necessidade da abertura de janelas de sondagem.

L. Definir a estratégia da Inspeção Detalhada.

M. Identificar o equipamento necessário à inspeção (ver MAI - meios de apoio à inspeção).

N. Descrever com detalhe o que se pretende executar.

O. Preparar plantas ou desenhos esquemáticos da estrutura.

04| Observações

.....

.....

.....

.....

.....

05| Referências

Este documento é a folha de rosto do processo e o seu preenchimento antecede o PID.



Inspeção Detalhada

Nome do trabalho _____

Código do trabalho _____

Procedimento para a inspeção detalhada

PID

01| Identificação

Responsável NCREP: _____ Data: ____ / ____ / ____

Requerente: _____ Contactos: _____

Endereço: _____ Tipo de Trabalho: _____

(I/D, Projecto, Parecer)

02| Dados Gerais

Âmbito do trabalho: _____

Inspector(es): _____

03| Procedimento

Antes da Inspeção Detalhada:

A. Verificar lista de equipamento (ver MAI - meios de apoio à inspeção).

B. Verificar meios de acesso à estrutura (chaves, identificações, autorizações).

Reconhecimento da estrutura:

C. Efectuar um reconhecimento global da estrutura (Analisar a disposição dos elementos estruturais e observar construções vizinhas).

D. Registo fotográfico global (compartimentos, fachadas, cobertura, etc.).

E. Identificar o tipo de danos existentes.

F. Definir nomenclatura na divisão de espaços e elementos estruturas (sugestão: CompA-1, para definir o compartimento A do piso 1).

Levantamento dos elementos estruturais (paredes, pavimentos e cobertura):

G. Representar graficamente os elementos estruturais (em plantas, alçados e cortes).

H. Caracterizar os elementos (tipo de material, secção, espaçamento, etc.).

I. Registo fotográfico (geral vs. pormenor).

Levantamento dos danos/causas:

J. Caracterizar os danos/causas observadas e avaliar o Estado de Conservação (sugestão: bom, razoável e mau) dos elementos:

J.i Das paredes de alvenaria e tabique.

J.ii Dos pavimentos/escadas.

J.iii Da cobertura.

K. Verificar as zonas críticas (entregas, entradas de água, paredes meeiras, etc.).

L. Registo fotográfico (danos).

M. Atribuir um nível ao estado de conservação geral da estrutura.

N. Atribuir % de substituição dos elementos não estruturais (soalho, varas) (se solicitado).

O. Realizar os ensaios in situ não-destrutivos (com registo fotográfico).

P. Avaliar a necessidade de ensaios in situ adicionais.

Q. Avaliar a necessidade de monitorização (Ex: instalação de fissurómetros).

R. Registo das zonas restritas que não foram inspeccionadas.

04| Observações

05| Referências

Este documento é elaborado posteriormente ao PIP.



CONSULTORIA
EM REABILITAÇÃO
DO EDIFICADO
E PATRIMÓNIO

Meios de apoio à inspecção

Nome do trabalho

Código do trabalho

Lista de equipamentos para as inspecções

MAI

01| Identificação

Responsável NCREP: Data: / /

02| Lista de equipamento

Identificar Confirmar

Equipamento de Protecção Individual (EPI)

A. Vestuário Reflector.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B. Equipamento de protecção (luvas, capacete, botas de segurança, protecção auditiva, etc.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C. Sinalização (emergência e rodoviária).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D. Equipamento antiqueda.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ferramentas essenciais

E. Material de escrita (canetas, giz, marcador).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F. Fichas de inspecção.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G. Peças desenhadas (plantas ou desenhos esquemáticos).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H. Martelo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I. Ponteiro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J. Formão.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
K. Pé de cabra.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L. Fita métrica e (ou) medidor a laser.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M. Lanterna carregada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
N. Máquina fotográfica carregada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O. Binóculos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P. Higrómetro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q. Detector de metais.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R. Paquímetro.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S. Martelo de perfuração/demolição.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Meios de acesso auxiliar

P. Escadas metálicas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Q. Plataforma.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Instrumentos de ensaio in situ não destrutivos

R. Pilodyn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S. Resistógrafo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T. Ferrosan PS 200.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
U. Esclerómetro de Schmidt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outro:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

03| Referências

Este documento auxilia os procedimentos PIP e PID.

5. Considerações finais

Com este trabalho pretendeu-se apresentar as actividades desenvolvidas durante o período do estágio curricular realizado na empresa NCREP, descrevendo as actividades de I/D bem como as acções de reabilitação/reforço/substituição definidas em fase de projecto de reabilitação de edifícios, considerando em particular os edifícios centenários do Porto. Por sua vez, fez-se uma descrição de um documento de trabalho desenvolvido para uso interno na empresa, que reúne os procedimentos necessários para a inspeção de estruturas.

Para fundamentar o conhecimento da tipologia construtiva dos edifícios antigos do Porto, foi realizada uma caracterização dos elementos estruturais que constituem as paredes, pavimentos e coberturas, assim como dos elementos construtivos que foram utilizados em intervenções mais recentes nestes edifícios, nomeadamente de betão armado ou metálicos.

Em suma, os edifícios antigos do Porto são constituídos na sua generalidade: por paredes exteriores resistentes em granito, paredes interiores em tabique (por vezes com função estrutural) e estrutura em madeira nos pavimentos, escadas e cobertura. Quando são intervencionados a partir do início do século XX, são geralmente utilizadas elementos metálicos ou em betão armado.

O parque edificado do Porto é constituído por inúmeros edifícios antigos que, face às escassas acções de manutenção, se encontram muito degradados. As intervenções de reabilitação permitem uma nova utilização destes edifícios, preservando o seu valor patrimonial, cultural, e o restabelecimento da sua integridade, garantindo simultaneamente um desenvolvimento mais sustentável da cidade.

Foi evidenciada a importância das fases de inspeção e diagnóstico, essenciais para o sucesso dos projectos de reabilitação, auxiliando a definição de medidas de intervenção de reabilitação/reforço que melhor se adequam às características físicas da estrutura.

A inspecção visual foi mencionada, referindo-se em particular o levantamento e caracterização estrutural, o registo dos danos observados e a consequente avaliação visual do estado de conservação. Apresentaram-se os principais danos estruturais observados em edifícios antigos do Porto, tendo em conta o elemento construtivo afectado, nomeadamente a alvenaria, madeira e os novos elementos introduzidos após intervenções.

O diagnóstico, com base nos resultados da fase de inspecção, avalia as causas/danos e verifica a segurança estrutural dos elementos, de forma a determinar as medidas de intervenção necessárias à reabilitação do edificado.

Foi referida a importância do resultado destas actividades na realização de projectos de reabilitação que, através da sistematização e organização da informação, deverão apresentar uma análise crítica e cuidada dos problemas, de forma a justificar todas as medidas de intervenção necessárias num relatório final. Referiram-se as ferramentas e técnicas de ensaio mais utilizadas na realização de I/D em edifícios característicos do Porto, tais como a recolha da informação histórica, a avaliação expedita da existência de danos nos elementos de madeira, a realização de ensaios não destrutivos como o resistógrafo, Ferrosan, entre outros.

O presente relatório foi desenvolvido com base no acompanhamento do trabalho efectuado pelo NCREP nas actividades de I/D e de projecto no âmbito da reabilitação das construções da cidade do Porto. De modo a descrever este acompanhamento, foram apresentados em pormenor dois casos de estudo, designados por Edifício Rua da Torrinha e Edifício Rua Barão São Cosme, através de uma descrição geral, da caracterização dos elementos estruturais e do levantamento de danos.

Concluiu-se que, face ao razoável/bom estado de conservação da estrutura, ambos edifícios necessitaram apenas de acções de reforço/substituição nos elementos estruturais em madeira dos pavimentos, escadas e cobertura.

Desta forma, verifica-se a importância da utilização das actividades de I/D nos edifícios antigos a intervir, a fim de permitir um reaproveitamento dos elementos existentes.

Através do acompanhamento dos trabalhos realizados pelo NCREP, conclui-se que, na generalidade dos edifícios antigos, e em particular nos dois casos de estudo, é necessário prever medidas ligeiras de reforço/substituição para intervir elementos existentes que se encontram degradados por agentes abióticos e por agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos).

Realça-se ainda a importância de estabelecer um plano de manutenções periódicas aos vários elementos do edifício, dando particular atenção aos elementos da cobertura, fachadas e compartimentos térreos.

Finalmente, perante a falta de documentos técnicos no âmbito das inspeções de estruturas, surgiu a necessidade de elaborar um conjunto de procedimentos que orientasse o NCREP na fase de inspeção. Nesse sentido, foi desenvolvido e implementado um documento de trabalho que orienta a metodologia de trabalho desta empresa.

Concluiu-se que o estudo e a aprendizagem ao longo de todo o estágio, bem como os objectivos pretendidos, foram alcançados com sucesso. As actividades acompanhadas no NCREP, compiladas neste trabalho, permitiram fundamentar as acções de inspeção, diagnóstico e projecto, necessárias à reabilitação de edifícios antigos com valor histórico.

5.1. Trabalhos futuros

Para complementar os trabalhos desenvolvidos no NCREP, sugere-se a implementação futura das seguintes acções:

- Complementar a caracterização dos danos descritos nos relatórios de I/D, com o seu mapeamento nas plantas estruturais;
- Proceder à optimização das folhas de cálculo de elementos estruturais;

- Implementar a tecnologia BIM (Building Information Modeling) para se potenciar a interacção entre as várias especialidades envolvidas num projecto, e em particular entre a estabilidade e a arquitectura. Esta sugestão encontra-se actualmente em estudo.

Referências bibliográficas

Almeida C., Guedes J., Arêde A., & Costa A., 2010. Caracterização geométrica e mecânica de paredes em perpiano de granito. Reabilitar 2010 - Conservação e Reabilitação de Estruturas. LNEC, Lisboa. 5 pp.

Appleton J., 2003. Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção. 1.^a Edição. Edições Orion, Amadora. 454 pp.

Arêde A., Guedes J., Rodrigues S., Costa A., & Gramaxo J., 2009. Seminário Internacional de Reforço e Reabilitação - Ligações Estruturais. Seminário SIRR 09. 76 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2003. EN 338 – Structural timber – Strength classes. Office for Official Publications of the European Communities, Brussels, Belgium. 14 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2004. Eurocódigo 5 – Projecto de estruturas de Madeira – Parte 1-1: Regras gerais – Regras comuns e regras para edifícios, NP EN 1995-1-1. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 137 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2009a. Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios, NP EN 1991-1-1. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 47 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2009b. Eurocódigo 6 – Projecto de estruturas de Alvenaria – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios – Regras para alvenaria armada e não armada, NP EN 1996-1-1. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 128 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2009c. Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas, NP EN 1990. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 88 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2010a. Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1992-1-1. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 64 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2010b. Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, NP EN 1993-1-1. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 116 pp.

CEN - Comité Europeu de Normalização, 2010c. Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-8: Projecto de ligações , NP EN 1993-1-8. Norma Europeia, IPQ, Portugal. 146 pp.

Costa A., 2013. Elementos de apoio à disciplina de “Estruturas de Madeira e de Alvenaria” do Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas. Estruturas. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Costa A., Arêde A., Ferreira D., Paupério A., Guedes J.M., Silva J.A., & Romão X., 2013. Património – Intervenção. Clássica – Artes Gráficas, Porto. 378 pp.

Freitas V.P., & al. e., 2012. Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos. 1.^a Edição. Greca, Artes gráficas, Porto. 300 pp.

GoogleMaps, 2014a. Imagem por satélite. In: <https://www.google.pt/maps/place/Rua+da+Torrinha/@41.152911,-8.6215308,424m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0xd246503f1bd037b:0xb7259086e712df99>

(consultado em 5 de Maio de 2014).

GoogleMaps, 2014b. Imagem por satélite. In: <https://www.google.pt/maps/place/Rua+Bar%C3%A3o+S%C3%A3o+Cosme/@41.14575>

54,-

[8.5992474,845m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0xd2464ec1c00083b:0x7385b94aa390ae44](https://www.icomos.org/pt/pt/8.5992474,845m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0xd2464ec1c00083b:0x7385b94aa390ae44)

(consultado em 5 de Maio de 2014).

ICOMOS, 2004. Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico do ICOMOS. 42 pp.

Ilharco T., 2008. Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 317 pp. (mestrado em Reabilitação do Património Edificado).

Martitegui F.A., Sánchez F.P., Herrero M.E., Maldonado I.B., & Fernández F.G., 2002. Intervención en estructuras de madeira. Artes Gráficas Palermo, Madrid. 476 pp.

NCREP, 2011. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício da Rua do Almada, N° 528. Porto. 65 pp.

NCREP, 2012a. Conhecer para reabilitar. Construir, jornal quinzenal., Porto. 2 pp.

NCREP, 2012b. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifícios da Rua dos Caldeireiros, n° 67-69 e 71-73. Porto. 92 pp.

NCREP, 2013a. Projecto de Estabilidade / Memória Descritiva e Justificativa / Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Rua de Diu, Porto. Porto. 38 pp.

NCREP, 2013b. Projecto de Execução - Casa de Melgaço. Porto. 5 pp.

NCREP, 2013c. Projeto de Estabilidade - Edifício da Rua do Rosário n.º 141, Porto. Porto. 40 pp.

NCREP, 2013d. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício da Rua São Bento da Vitória, n° 42/46. Porto. 89 pp.

NCREP, 2013e. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural dos pavimentos de madeira - Edifício da Rua Sousa Viterbo n° 105, Porto. Porto. 29 pp.

NCREP, 2014a. Apresentação. In: <http://www.ncrep.pt/> (consultado em 25 de Maio de 2014).

NCREP, 2014b. Parecer Técnico-Edifício na Rua Costa Cabral n.º 1050, Porto. Porto. 9pp.

NCREP, 2014c. Projecto de Estabilidade / Memória Descritiva e Justificativa - Edifício Rua da Torrinha 71, Porto. Porto. 47 pp.

NCREP, 2014d. Projeto de Execução de Estabilidade / Memória Descritiva - Moradia da Rua Guerra Junqueiro 291, Porto. Porto. 16 pp.

NCREP, 2014e. Reabilitação da cobertura de madeira / Projecto de execução - Edifício Rua Santa Helena 88, Porto. Porto. 5 pp.

NCREP, 2014f. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Praça Coronel Pacheco 75, Porto. Porto. 64 pp.

NCREP, 2014g. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Rua Alexandre Braga n° 56/58, Porto. Porto. 58 pp.

NCREP, 2014h. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Rua de Santos Pousada 599, Porto. Porto. 36 pp.

NCREP, 2014i. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Rua do Pinheiro, Porto. Porto. 38 pp.

NCREP, 2014j. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural - Edifício Rua Monte da Luz, Porto. Porto. 42 pp.

NCREP, 2014k. Relatório de inspeção e diagnóstico estrutural - Salão Teatro da Póvoa de Varzim. Porto. 120 pp.

NCREP, 2014l. Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural e Definição de Medidas de Intervenção - Edifício Rua Barão São Cosme, Porto. Porto. 44 pp.

Proceq, 2014. Descrição do equipamento Digi-Schmidt para ensaios em betão armado. In: <https://www.proceq.com> (consultado em 2 de Junho de 2014).

R.S.A. -, 1983. Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes - Dec. Lei n.º 235/83 de 31 de Maio. Regulamentos de Estruturas Português. 96 pp.

Rodrigues C.F.G., 2013. Elementos de apoio à disciplina de “Inspeção e Reforço de Estruturas” do Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas. Estruturas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. pp.

Roque J.C.A., 2002. Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria Universidade do Minho. 352 pp. (mestrado em Engenharia Civil).

Segurado J.E.S., 1942. Trabalhos de carpintaria civil. Biblioteca de Instrução Profissional. 4.ª Edição. Livraria Bertrand, Lisboa. 385 pp.

Teixeira J.J.L., 2004. Descrição do sistema construtivo da casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitectónica em Portugal. Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto. 215 pp. (Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica).

Anexos

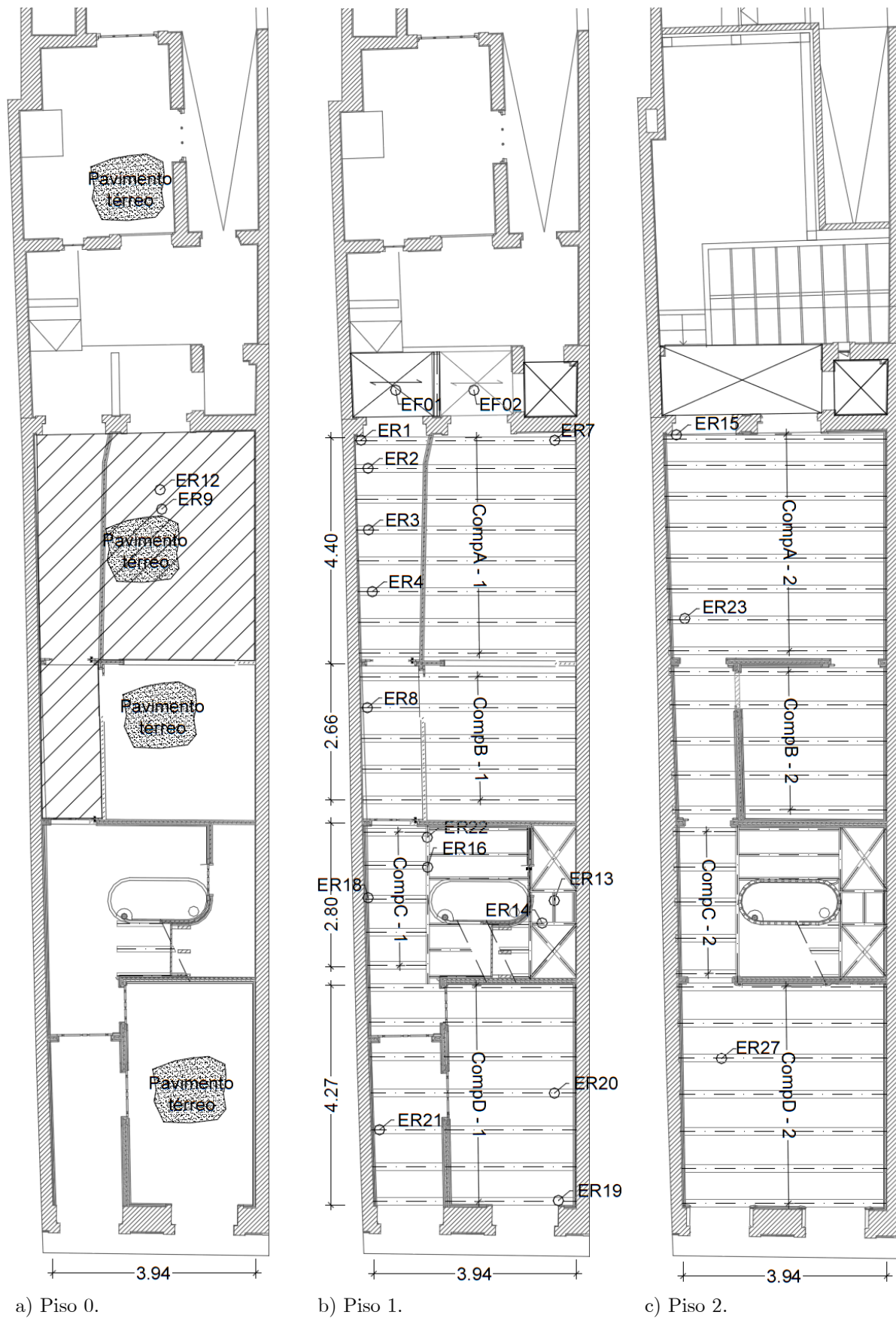
**Anexo 1.1 – Edifício Rua da Torrinha,
resultados dos ensaios experimentais**

Como referido no capítulo 4.2.1.4 do documento principal, a inspeção visual ao Edifício Rua da Torrinha foi complementada pela realização de 38 ensaios não destrutivos em elementos de madeira. Nesta campanha foram realizados ensaios com o Resistógrafo (modelo RESI F300-S da IML) em zonas especificamente escolhidas, para avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais. Estes ensaios foram complementados com ensaios de Pilodyn e higrómetro.

Na Figura 1 e Figura 2 é representada a localização dos ensaios nas plantas estruturais do edifício, que resultaram do levantamento dos elementos estruturais existentes.

No Quadro 1 apresentam-se os resultados dos registos aos ensaios realizados, assim como um comentário das acções a realizar, nomeadamente manter (✓ - verde), ou substituir/reforçar (✗ - vermelho).

Os resultados do Resistógrafo são apresentados nos gráficos expostos no Quadro 2 após tratamento da informação em *software* específico, disponibilizado pelo fabricante, cujas abcissas correspondem à dimensão da peça ensaiada (mm) e as ordenadas a um valor designado “valor de Resistógrafo”. É possível observar alguma heterogeneidade na gama de valores obtidos existindo inclusivamente, nalguns casos, degradações internas e superficiais com alguma importância. A enumeração dos ensaios no Quadro 2 é identificada por “*Measurement no.*”, que corresponde à enumeração “ER” designada nas planta estruturais (Figura 1 e Figura 2) e no resumo dos ensaios experimentais (Quadro 1).

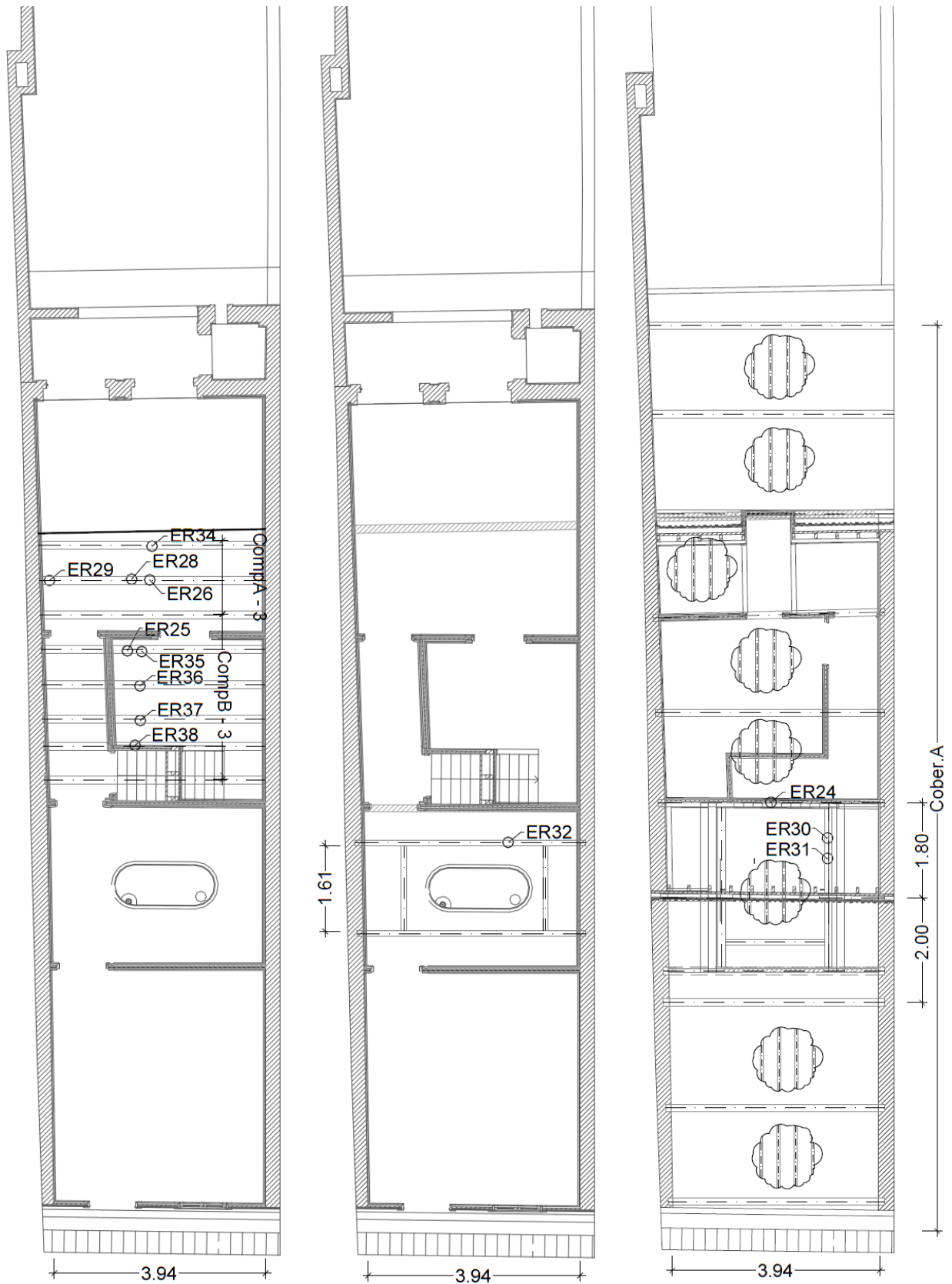


a) Piso 0.

b) Piso 1.

c) Piso 2.

Figura 1 – Plantas estruturais do piso 0, 1 e 2, com a localização dos ensaios (sem escala).



a) Piso 3.

b) Suporte da clarabóia.

c) Cobertura.

Figura 2 – Plantas estruturais do piso 3, estrutura de suporte da clarabóia e cobertura, com a localização dos ensaios (sem escala).

Quadro 1 – Quadro resumo dos ensaios experimentais realizados nos elementos de madeira.

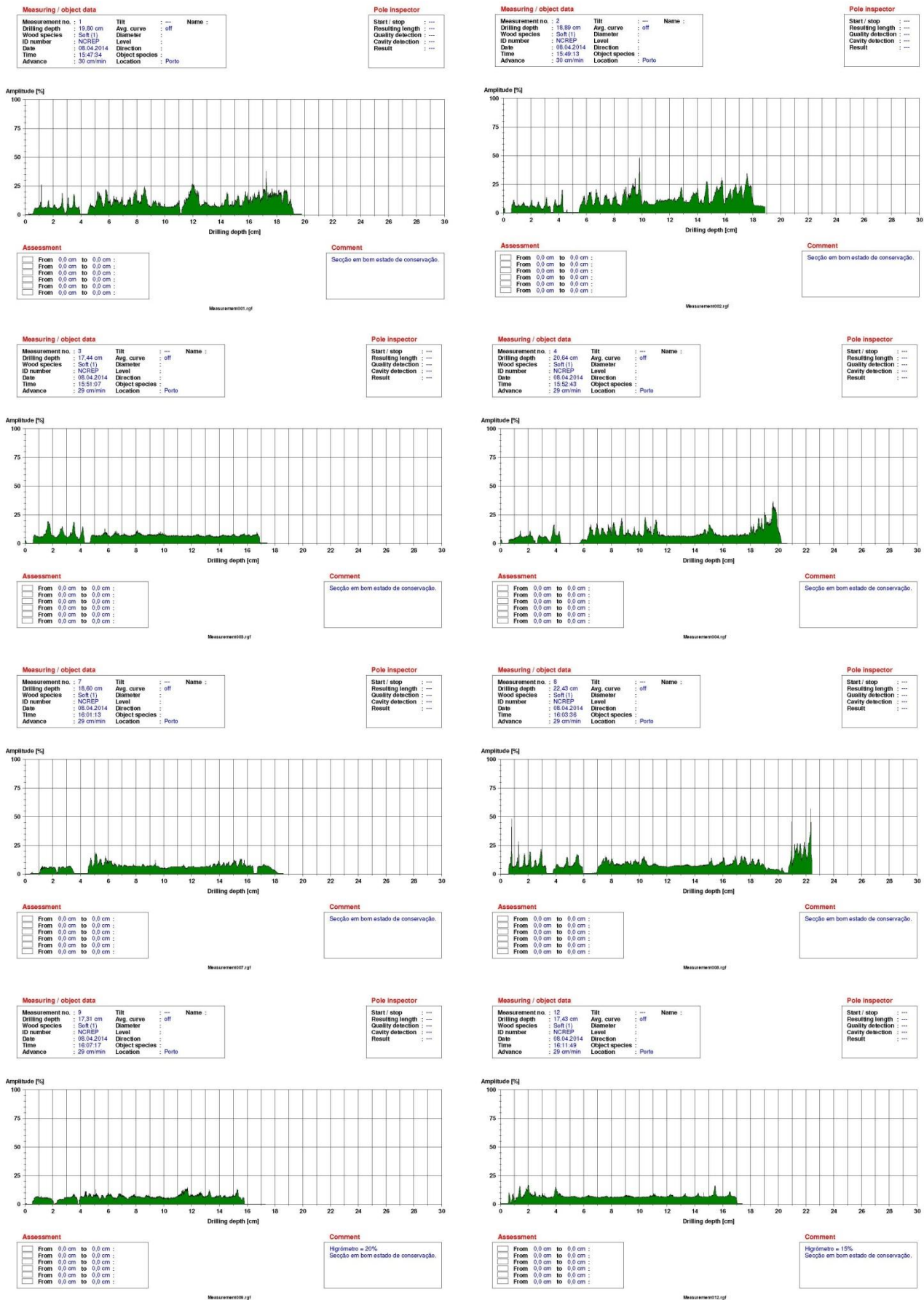
Localização	Elemento	Secção	Ensaio	Resultados dos ensaios		Estado
				Pilodyn (mm)	Higrómetro (%)	
Piso 0	Viga Pavimento	ø15cm	ER9	-	20	✓
	Viga Pavimento	6×17cm ²	ER12	-	15	✓
				Média	18	
				Desvio Padrão	2,50	
Piso 1	VE1 - 1	ø15cm	ER1	-	-	✓
	VE2 - 1	ø15cm	ER2	-	-	✓
	VE4 - 1	ø15cm	ER3	-	-	✓
	VE6 - 1	ø15cm	ER4	-	-	✓
	VE1 - 1	ø15cm	ER7	-	-	✓
	VE10 - 1	ø18cm	ER8	-	-	✓
	Perna	6,5×15cm ²	ER13	-	17	✓
	Cadeia	6,5×22cm ²	ER14	-	16	✓
	Cadeia	6,5×22cm ²	ER16	-	-	✓
	VE16 - 1	ø17cm	ER18	-	-	✗
	VE25 - 1	ø15cm	ER19	-	-	✓
	VE22 - 1	ø15cm	ER20	-	-	✓
	VE23 - 1	ø15cm	ER21	-	-	✓
Cadeia	6,5×22cm ²	ER22	-	-	✓	
				Média	17	
				Desvio Padrão	0,50	

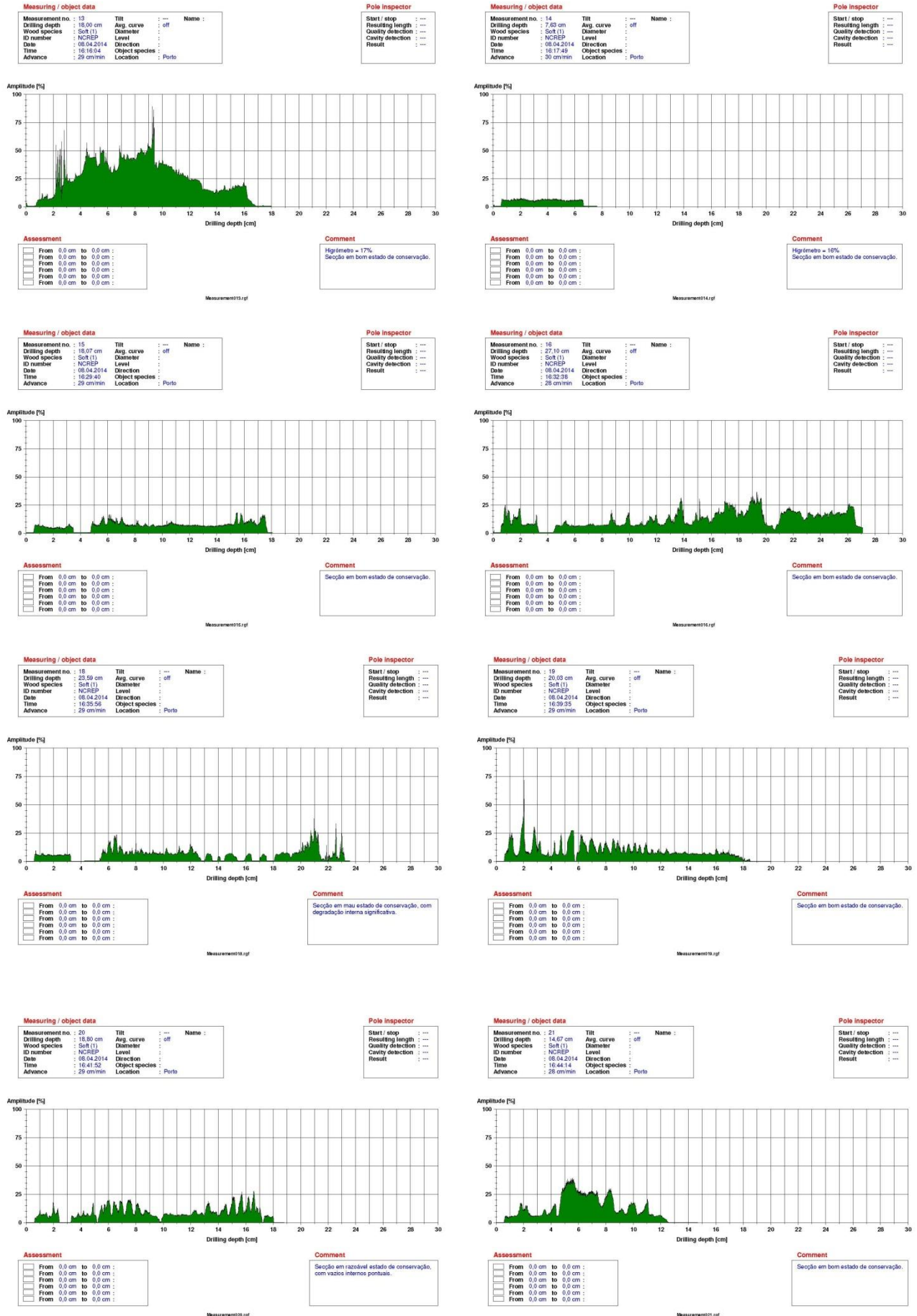
Substituição

Localização	Elemento	Secção	Ensaio	Resultados dos ensaios		Estado
				Pilodyn (mm)	Higrómetro (%)	
Piso 2	VE1 - 2	ø15cm	ER15	-	-	✓
	VE1 - 2	ø15cm	ER23	-	-	✓
	VE22 - 2	ø15cm	ER27	22	15	✓
			Média	22	15	
			Desvio Padrão	0,00	0,00	
Piso 3	VE4 - 3	ø15cm	ER25	-	15	✓
	VE2 - 3	ø15cm	ER26	-	15	✓
	VE2 - 3	ø15cm	ER28	26	16	✓
	VE2 - 3	ø15cm	ER29	-	-	✓
	VE1 - 3	8×7cm ²	ER34	23	16	✗
	VE4 - 3	ø15cm	ER35	25	15	✓
	VE5 - 3	8×7cm ²	ER36	25	15	✓
	VE6 - 3	ø15cm	ER37	25	15	✓
	VE7 - 3	8×7cm ²	ER38	23	15	✓
			Média	25	15	
			Desvio Padrão	1,12	0,43	
Cobertura	Madre	ø15cm	ER24	-	15	✓
	Escora	ø14m	ER30	-	-	✓
	Escora	ø14m	ER31	-	-	✓
	Viga sup. tecto	ø15cm	ER32	-	-	✓
			Média	-	15	
			Desvio Padrão	-	0,00	

Substituição

Quadro 2 – Quadro dos ensaios com o Resistógrafo nos elementos de madeira.



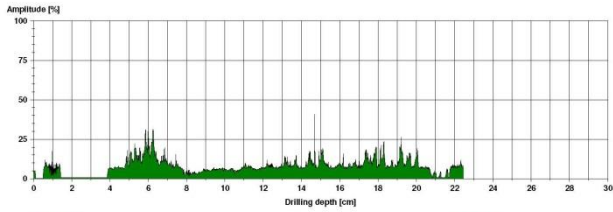


Measuring / object data		
Measurement no. :	22	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	22.45 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	15.04.2014	Direction :
Time :	15:50:16	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	

Measuring / object data		
Measurement no. :	23	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	25.03 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	15.04.2014	Direction :
Time :	16:04:44	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

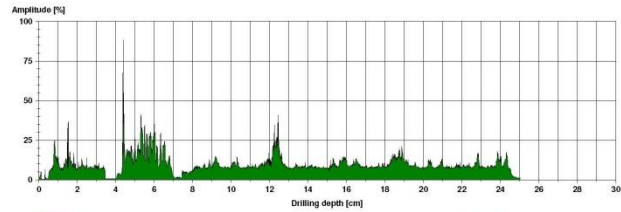
Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Seção em bom estado de conservação.

Measurement22_2x04a.rtf



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Seção em bom estado de conservação.

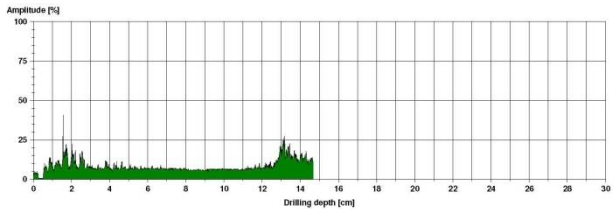
Measurement23_2x04a.rtf

Measuring / object data		
Measurement no. :	24	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	14.67 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	15.04.2014	Direction :
Time :	16:10:55	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	

Measuring / object data		
Measurement no. :	25	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	15.24 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	15.04.2014	Direction :
Time :	16:29:32	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

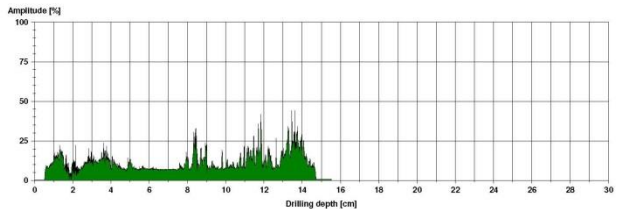
Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Higrómetro = 15%
Seção em bom estado de conservação.

Measurement24_2x04a.rtf



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Higrómetro = 15%
Seção em bom estado de conservação.

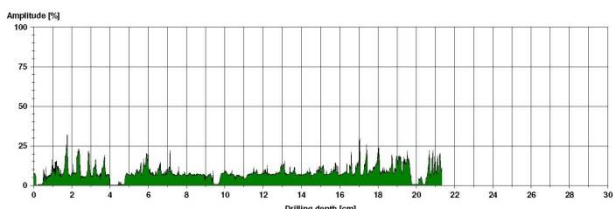
Measurement25_2x04a.rtf

Measuring / object data		
Measurement no. :	26	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	21.34 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	15.04.2014	Direction :
Time :	16:41:08	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	

Measuring / object data		
Measurement no. :	27	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	16.58 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	24.04.2014	Direction :
Time :	18:10:28	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

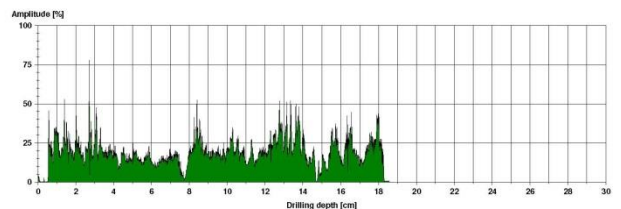
Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Higrómetro = 15%
Seção em bom estado de conservação.

Measurement26_2x04a.rtf



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Higrómetro = 15%
Piledyn = 22mm
Seção em rasca/bom estado de conservação, com vazio interno pontual.

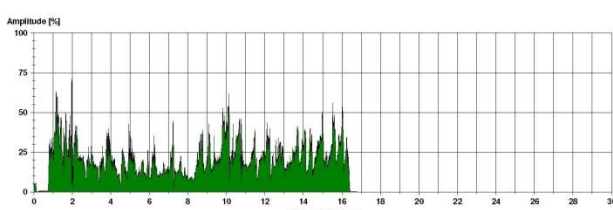
Measurement27_2x04a.rtf

Measuring / object data		
Measurement no. :	28	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	18.77 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	24.04.2014	Direction :
Time :	18:28:44	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	

Measuring / object data		
Measurement no. :	29	Tilt : -- Name :
Drilling depth :	17.07 cm	Avg. curve : off
Wood species :	Soft (1)	Diameter :
ID number :	NCREP	Level :
Date :	24.04.2014	Direction :
Time :	18:28:28	Object species : Porto
Advance :	29 cm/min	Location :

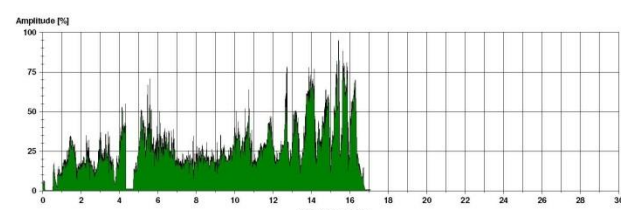
Pole Inspector		
Start / stop :	---	Resulting length : --
Quality detection :	---	Cavity detection : --
Result :	---	



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Higrómetro = 16%
Seção em bom estado de conservação.

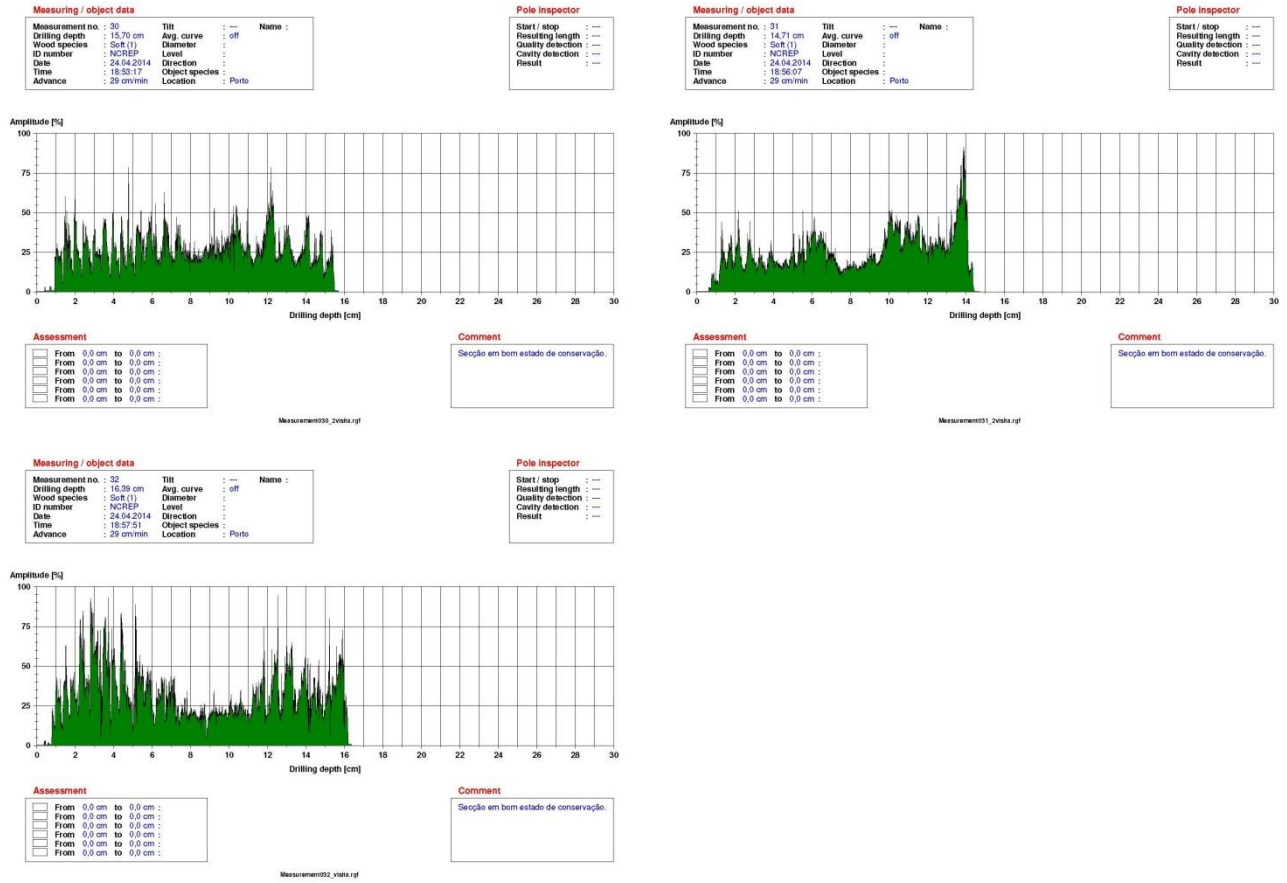
Measurement28_2x04a.rtf



Assessment	
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>
From 0.0 cm to 0.0 cm :	<input type="checkbox"/>

Comment
Seção em bom estado de conservação.

Measurement29_2x04a.rtf



Measuring / object data

Measurement no. : 32	Tilt : --	Name :
Drilling depth : 16.39 cm	Avg. curve : off	
Wood species : Soft (1)	Diameter : --	
ID number : NCRREP	Level : --	
Date : 24.04.2014	Direction : --	
Time : 18:57:21	Object species : --	
Advance : 29 cm/min	Location : Porto	

Pole Inspector

Start / stop : --	
Resulting length : --	
Quality detection : --	
Cavity detection : --	
Result : --	

Amplitude [%]

Drilling depth [cm]

Assessment

From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :

Measurement32_2vista.rfl

Comment

Secção em bom estado de conservação.

**Anexo 1.2 – Edifício Rua da Torrinha,
memória de cálculo.**

Apresentam-se neste anexo os principais aspectos do dimensionamento e avaliação da segurança estrutural realizada aos elementos estruturais existentes e dos novos elementos que sejam necessários para garantir a integridade da estrutura do Edifício Rua da Torrinha.

No capítulo 4.2.4.1 do documento principal é descrita a geometria dos elementos estruturais, os materiais utilizados, as cargas actuantes e o enquadramento regulamentar.

Como referido anteriormente, na avaliação da segurança estrutural foram consideradas as alterações definidas no projecto de arquitectura.

A avaliação e o dimensionamento estrutural foram auxiliados, sempre que necessário, por programas de cálculo automático de análise estrutural, fazendo a verificação aos Estados Limite Últimos (ELU) e Estados Limite de Serviço (ELS), considerando-se em particular o Estado Limite de Deformação e Estado Limite de Vibração para os elementos de madeira dos pavimentos.

O Quadro 1 expõe a verificação de segurança dos elementos de madeira a manter no edifício (pavimentos, escadas e cobertura).

Quadro 1 – Rácios (valores actuantes/valores resistentes) da avaliação de segurança dos elementos de madeira a manter.

Zona	Elemento	Zona	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Carregamento		Características e propriedades			E.L.U. Flexão (sem bamb.)		E.L.U. Corte	E.L.U. Esmag. apoio	E.L.S. - Deformação				E.L.S. - Vibração		
					g _k (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²)	Matéria	Classe de serviço	b (mm)	h ou ø (mm)	Rácio (G+Q)	Rácio (G)	Rácio	Rácio	u _{inst} total (mm)	1º Critério u _{inst} EL/300	u _{inst} total (mm)	2º Critério u _{inst} EL/250	Frequência (Hz)	Rácio
Piso 1	Vigas de pav.	CompA- 1	4,4	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,78	0,14	0,22	0,07	31,81	14,50	39,89	17,40	4,89	1,36
Piso 1	Vigas de pav.	CompB- 1	4,2	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,73	0,13	0,21	0,07	27,68	14,00	34,71	16,80	5,24	1,18
Piso 1	Vigas do soff.	CompC- 1	1,3	0,7	0,83	3	D30	1	0	180	0,06	0,01	0,06	0,03	0,20	4,17	0,25	5,00	74,03	0,02
Piso 1	Vigas de pav.	CompD- 1	2,9	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,35	0,06	0,14	0,05	6,43	9,67	8,06	11,60	10,99	0,37
Piso 2	Vigas de pav.	CompA- 2	4,4	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,78	0,14	0,22	0,07	31,81	14,50	39,89	17,40	4,89	1,36
Piso 2	Vigas de pav.	CompB- 2	2,9	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,35	0,06	0,14	0,05	6,43	9,67	8,06	11,60	10,99	0,37
Piso 2	Vigas do soff.	CompC- 2	1,3	0,7	0,83	3	D30	1	0	180	0,06	0,01	0,06	0,03	0,20	4,17	0,25	5,00	74,03	0,02
Piso 2	Vigas de pav.	CompD- 2	4,1	0,6	0,77	2	D30	1	0	150	0,69	0,13	0,20	0,07	25,16	13,67	31,55	16,40	5,50	1,07
Piso 3	Vigas de pav.	CompA- 3	4,3	0,7	0,75	2	D30	1	0	150	0,86	0,16	0,24	0,08	33,52	14,17	41,92	17,00	4,79	1,44
Piso 3	Vigas de pav.	CompB- 3	2,9	0,7	0,75	2	D30	1	0	150	0,40	0,07	0,17	0,06	7,43	9,67	9,29	11,60	10,29	0,43
Esc. Piso0-1	Vigas de Pat.	CompC- 1	1,3	0,6	0,70	3	D30	1	65	160	0,13	0,04	0,25	0,03	0,46	4,33	0,56	5,20	49,15	0,04
Esc. Piso0-1	Cadeira	CompC- 1	3	1,6	0,64	3	D30	1	65	220	0,80	0,09	1,07	0,12	10,86	9,83	13,08	11,80	9,62	0,34
Esc. Piso0-1	Cadeira	CompC- 1	3	1,6	0,64	3	D30	1	65	220	0,69	0,08	0,92	0,10	9,37	9,83	11,41	11,80	10,03	0,34
Esc. Piso0-1	Perna	CompC- 1	2,7	0,5	0,71	3	D30	1	65	150	0,34	0,08	0,34	0,04	5,25	8,83	6,36	10,60	11,70	0,37
Esc. Piso0-1	Perna		2,2	0,5	0,71	3	D30	1	0	110	0,41	0,18	0,17	0,04	6,27	7,33	7,59	8,80	10,66	0,54
Cobertura	Madre	Cobertura A	4	1	0,88	0,3	D30	2	0	160	0,44	0,08	0,12	0,04	12,57	13,33	20,07	16,00	5,87	3,12

É possível observar que alguns elementos não verificam a segurança ou os ELS, por isso foi necessário dimensionar elementos de reforço que se apresentam em seguida, no Quadro 2 e Quadro 3, os rácios de segurança resultantes do dimensionamento dos novos elementos de reforço/substituição.

Salienta-se que a estratégia de reforço adoptada, quer para os pavimentos, quer para as coberturas, foi a de introduzir novos elementos de madeira intercalados com os existentes, por forma a diminuir a sua área de influência e consequentemente as cargas instaladas e os respectivos rácios.

Quadro 2 – Rácios (valores actuautes/valores resistentes) do dimensionamento para elementos de madeira.

Zona	Elemento	Zona	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Carregamento		Características e propriedades das vigas				E.L.U. Flexão (sem bamb.)	E.L.U. Com bamb.	E.L.U. Corte	E.L.S. - Deformação				E.L.S. - Vibração	
					Revestimentos (kN/m ²)	gk (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²)	Tipo de madeira	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Rácio (G+Q)	Rácio	Rácio	u _{inst,total} (mm)	1º Critério u _{instEI/300}	u _{lim,total} (mm)	2º Critério u _{limEI/250}	Frequência (Hz)
Soluções de Reforço Pavimentos																			
Piso 1/Piso2	Reforço	CompA-1/2 + CompB/D-2	4,4	0,3	0,4	0,78	2	Maciça	C18	120	180	0,33	0,33	0,22	7,60	14,50	9,54	17,40	10,01
Piso 1	Reforço	CompB- 1	4,4	0,3	0,5	0,90	2	Maciça	C18	120	180	0,35	0,35	0,23	7,94	14,50	10,07	17,40	9,53
Soluções de Novos Elementos																			
Piso 3	Vigas de pav.	CompA/B-3	4,4	0,6	0,4	0,68	2	Maciça	C18	120	220	0,43	0,43	0,35	8,12	14,50	10,08	17,40	10,02
Cobertura	Cumeeira	Cober.A	4,2	2	0,8	0,86	0,3	Maciça	C18	120	224	0,61	0,61	0,44	10,02	13,83	16,54	16,60	6,79
Cobertura	Perna A2_B	Cober.B	3,3	0,3	0,45	0,60	0,30	Maciça	C18	100	100	0,20	0,20	0,09	5,30	10,83	8,63	13,00	9,91
Cobertura	Cumeeira	Cober.B	4,6	2,2	0,5	0,50	0,3	Maciça	C18	120	224	0,59	0,59	0,39	11,57	15,33	17,63	18,40	7,05
Cobertura	Madre	Cober.C	2,2	0,6	0,5	0,51	0,3	Maciça	C18	100	100	0,20	0,20	0,13	1,87	7,17	2,92	8,60	15,73
Piso 3	Pernas escadas	CompB-3	4,4	0,3	0,4	0,91	2	Maciça	C18	120	220	0,44	0,44	0,16	3,67	14,50	4,66	17,40	14,09

Foi realizada a verificação de segurança da laje existente na varanda da fachada posterior do piso 1 (LM1) para os ELU, segundo o Eurocódigo 2 (EC2). Nesta análise foram adoptadas as seguintes hipóteses de cálculo: (i) a laje encontra-se simplesmente apoiada na parede de empena e na viga em consola e (ii) encontra-se armada apenas numa direcção.

Quadro 4 – Verificação de segurança da laje em betão armado LM1.

Piso Designação		Caracterização dos materiais		Caracterização da laje maciça					Carregamento		E.L.U. Flexão (Momento Factor Positivo)					
		f_{yk} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Recobrimento efetivo e geral (cm)	Vão (m)	h - espessura (m)	b (m)	d (m)	Revestimentos (KN/m ²)	Sobrecarga (KN/m ²)	Secção	A_s^* (cm ² /m)	M_{rd}^* (kN.m/m)	M_{ed}^* (kN.m/m)	Rácio	
Piso1	LM1	S235	C12	3,00	1,60	0,15	1,00	0,1170	1,00	2,0	Vão	Ø6 //0,150	1,88	4,41	3,0	0,68

Como é possível constatar pela análise do Quadro 4, a laje maciça LM1 verifica a segurança para os E.L.U.

Como se prevê a demolição do sistema triangulado, viga e escora, que suporta a laje maciça da varanda do piso 1 (LM1), foi também dimensionada uma estrutura metálica composta por 2 perfis metálicos HEA140 e 1 perfil metálico UPN160, ambos de classe de aço S275, conforme se apresenta no Quadro 5.

Na varanda do piso 2 prevê-se também a colocação de um perfil metálico UPN160 de classe de aço S275, uma vez que não foi possível caracterizar devidamente a sua constituição e sistema estrutural e que deverá ser realizada posteriormente, durante a fase de demolição.

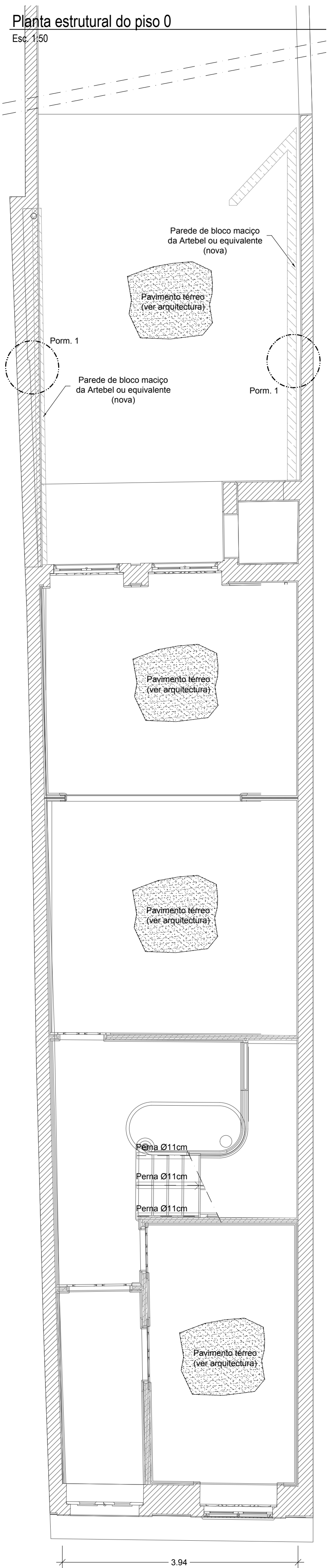
Quadro 5 – Dimensionamento da estrutura metálica para suporte da varanda existente nos pisos 1 e 2.

Pavimento		Características Pavimento		Características Resistentes	Característica Geométricas	E.L.U. Flexão	E.L.U. Corte	E.L.S. Deformação			
		Vão (m)	Largura inf (m)					Aço	h (mm)	b (mm)	Rácio
Varanda piso 1	HE 140 A	3,15	0,50	S275	133	140	0,41	0,13	6,46	10,50	0,61
Varanda piso 2	UPN 160	3,15	0,63	S275	160	65	0,40	0,10	5,94	10,50	0,57

Anexo 1.3 – Edifício Rua da Torrinha, peças desenhadas.

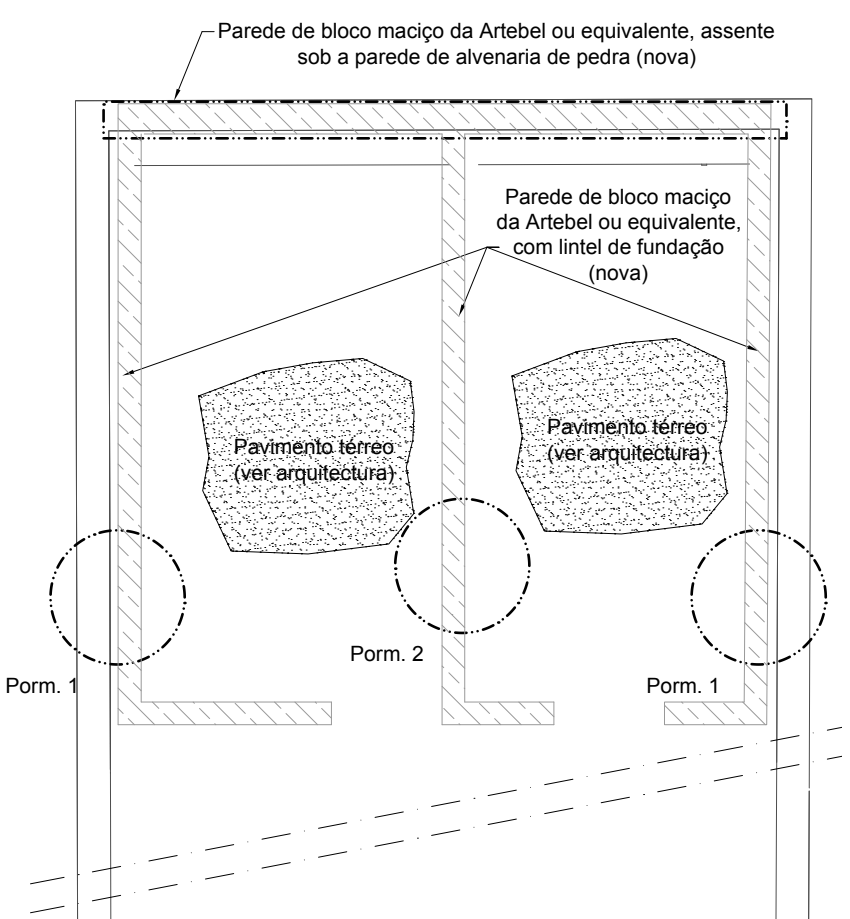
Planta estrutural do piso 0

Esc. 1:50

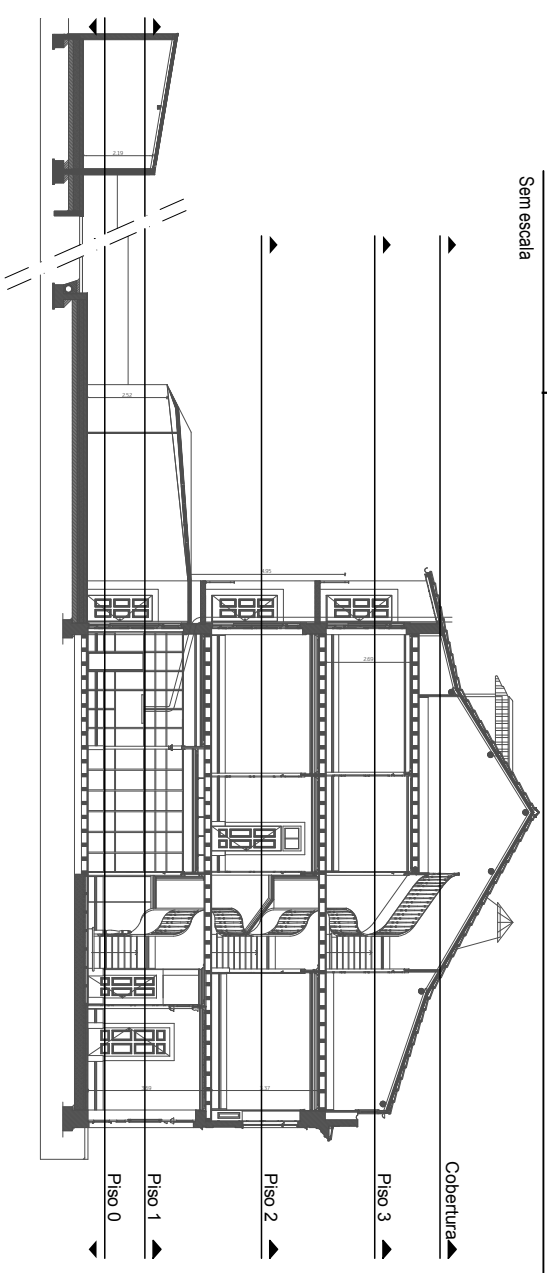


Planta estrutural do piso 0 (anexo no logradouro)

Esc. 1:50



- Legenda:
- Parede de alvenaria de pedra
 - Parede de bloco maciço da Artebel ou equivalente
 - Parede de tabique a manter



Nível de corte das plantas estruturais

Semiescala

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpoza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)
---	--------------

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

Pontas e Chapas em Geral	SZ75JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO
Parafusos	DIN 931 - 8.8	- Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2.5
Porcas	DIN 934 - 8	PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	- Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2.5
Chumbadores (em geral)	S355J0	- Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8	- Camada de tinta anti-fogo

NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.

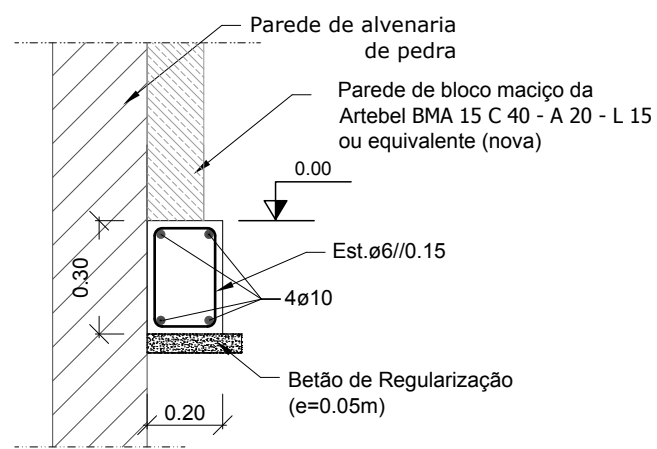
NOTAS GERAIS

- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

Nome		Data		Escala	
Edifício Rua da Torrinha 71, Porto		05/2014		1:50	
Projecto		Fase		Fase	
Planta estrutural do piso 0		N_201_4021_000		EXE	
Projectista		Desenhista		Data	
V.L. FO		V.L. FO		01	
Aprovado		Verificado		00	
JMG					

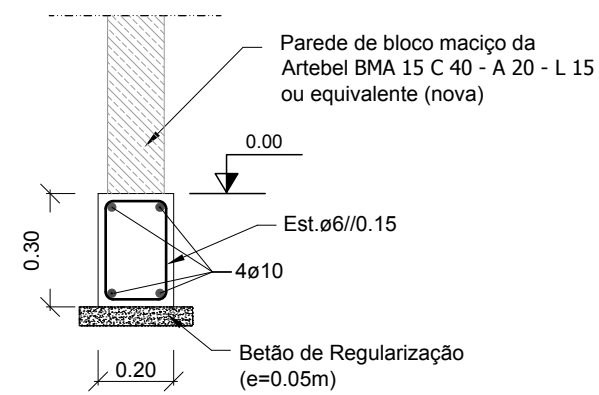
Pormenor 1 - lintel de fundação da parede de bloco maciço da Artebel ou equivalente

Esc. 1:20



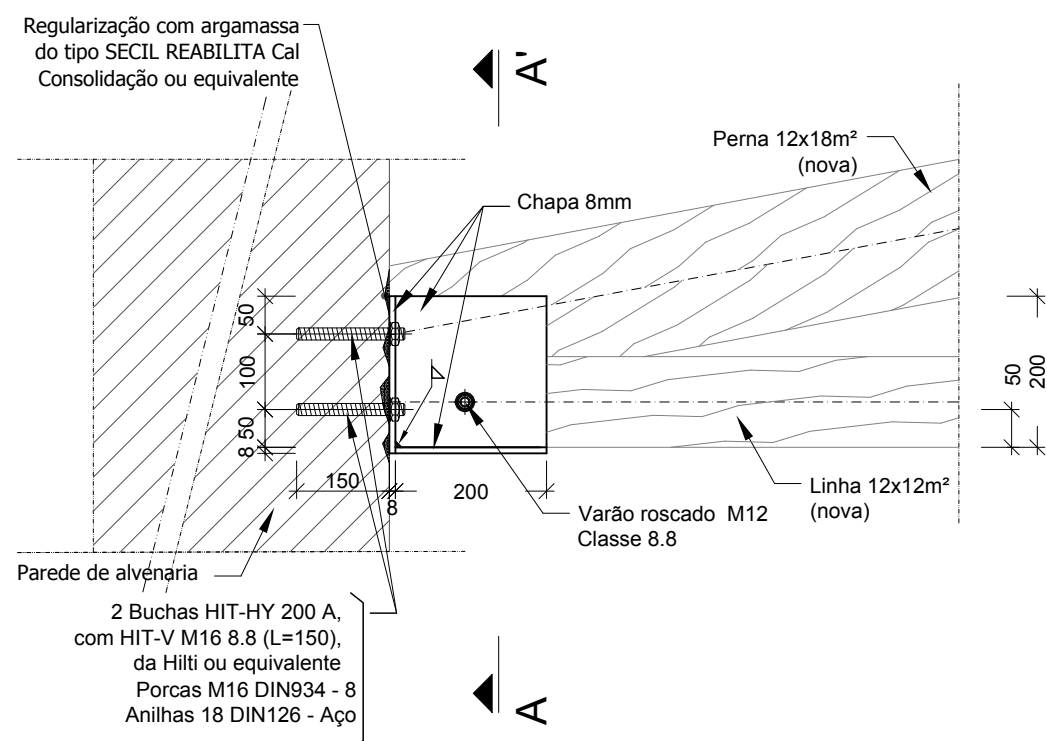
Pormenor 2 - lintel de fundação da parede de bloco maciço da Artebel ou equivalente

Esc. 1:20



Pormenor 3.1 - ligação entre a linha da asna A1_B e as paredes de alvenaria de pedra

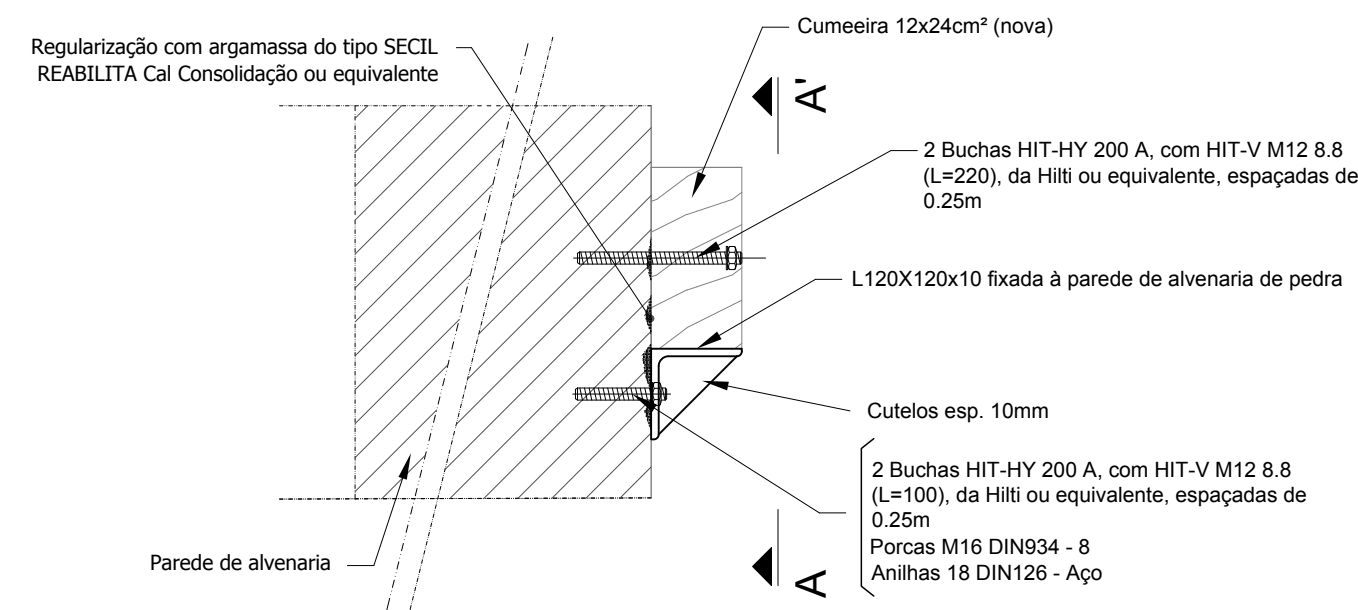
Esc. 1:10



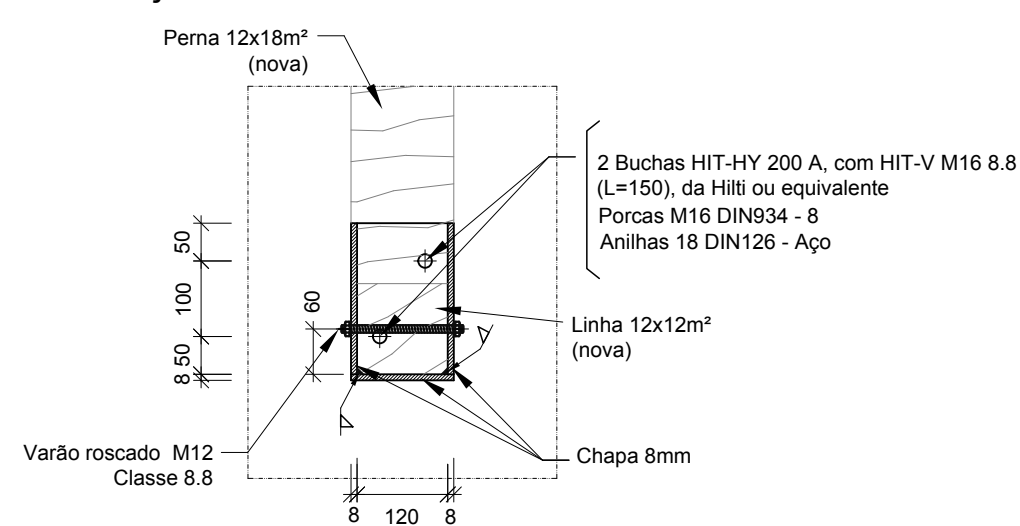
NOTA:
A ligação entre a linha da asna A3_B e as paredes de alvenaria de pedra terá a mesma solução aqui apresentada, sendo necessário ajustar as dimensões da chapa em função da linha com secção 10x10cm² (nova).

Pormenor 3.2 - apoio da cumeeira da cobertura Cober.B na parede de alvenaria de pedra

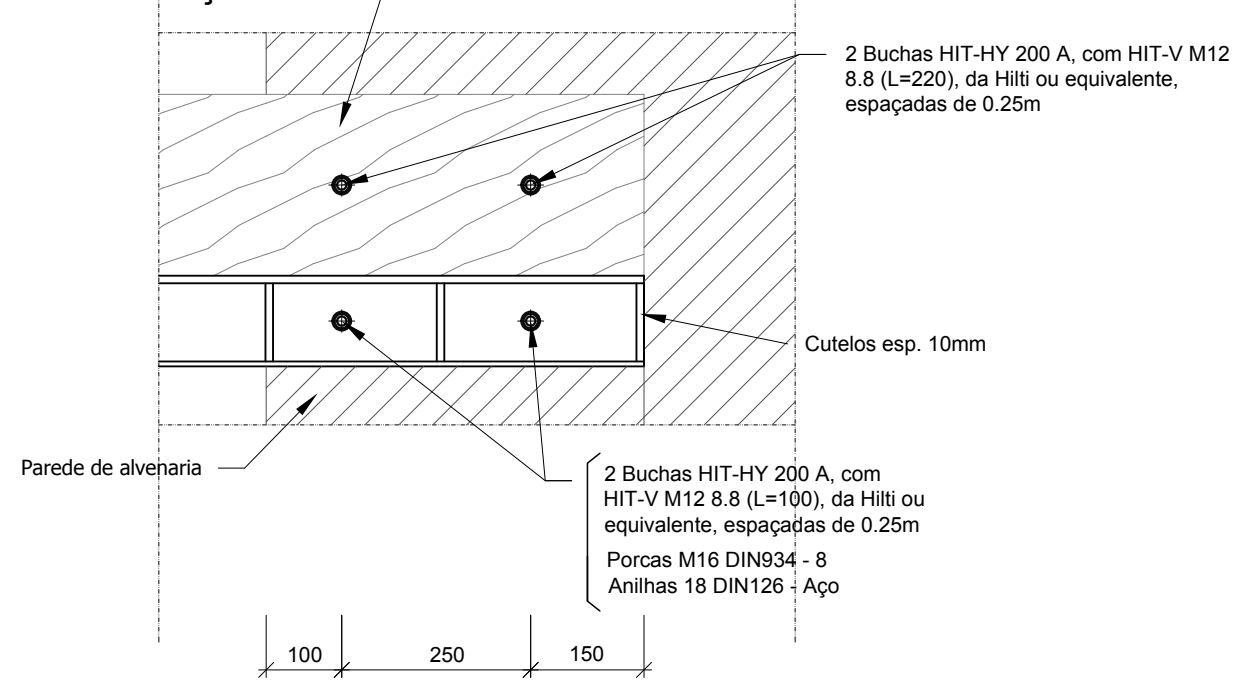
Esc. 1:10



Alçado AA'

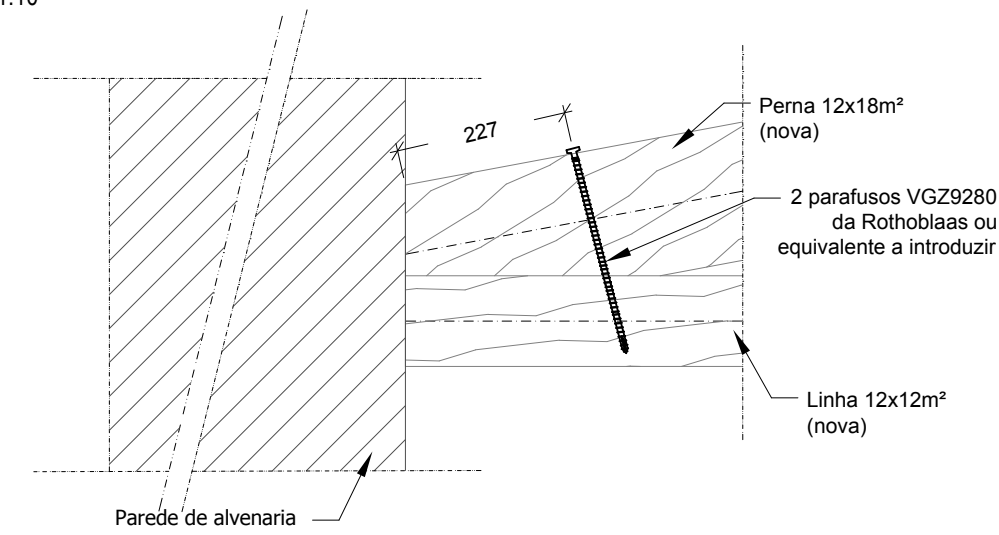


Alçado AA'



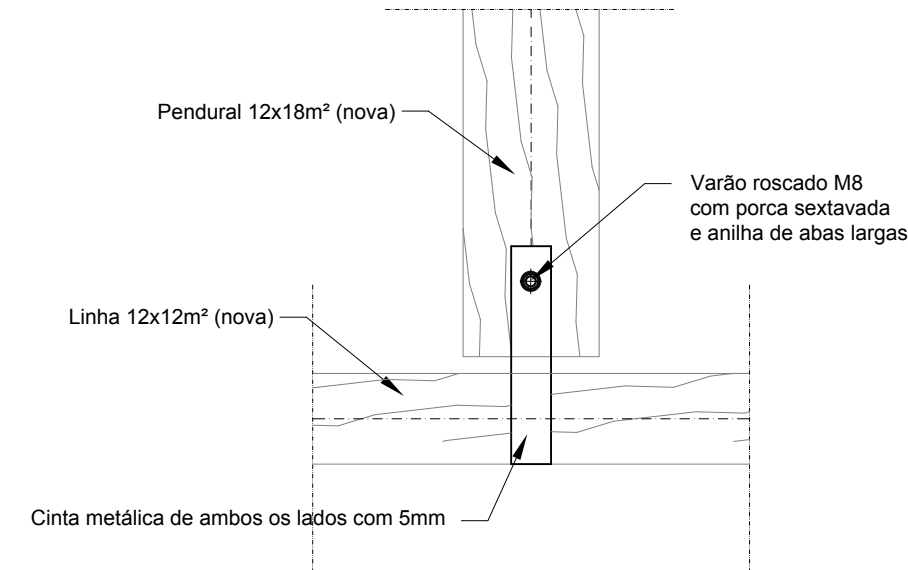
Pormenor da ligação entre perna e linha da asna A1_B

Esc. 1:10



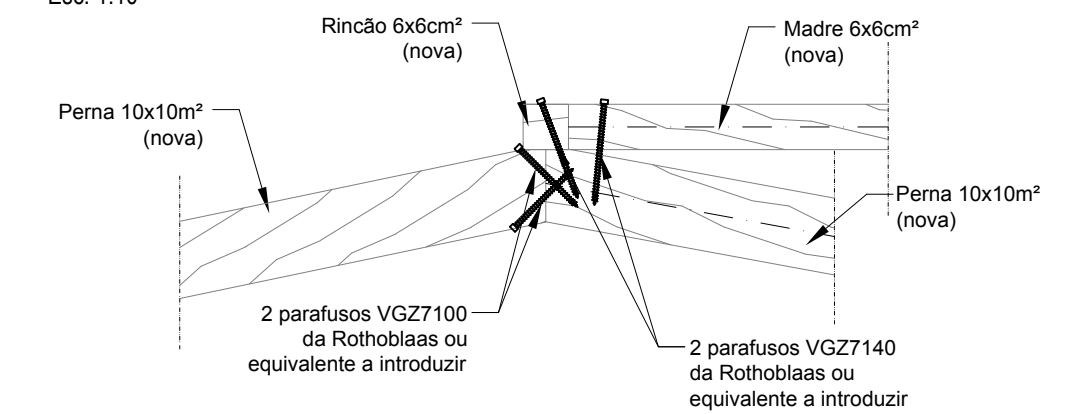
Pormenor da ligação entre linha e pendural da asna A1_B

Esc. 1:10



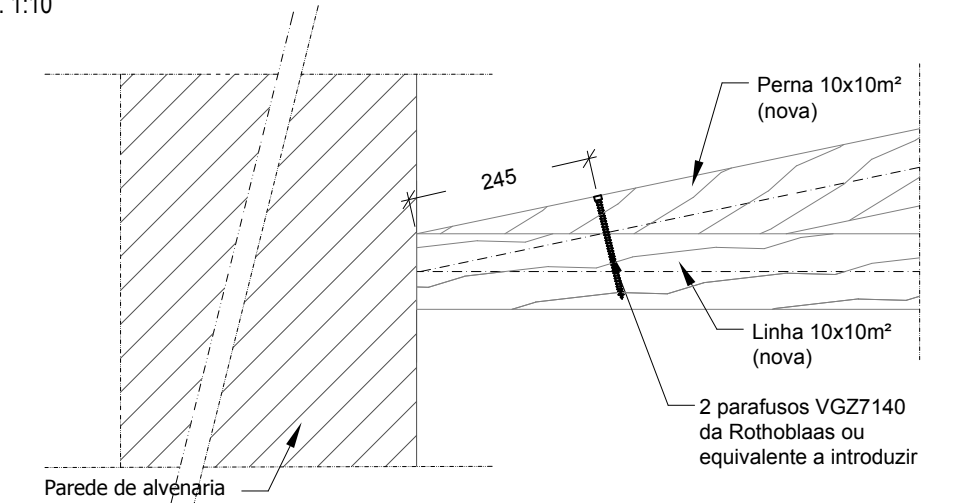
Pormenor da ligação entre pernas da asna A3_B

Esc. 1:10



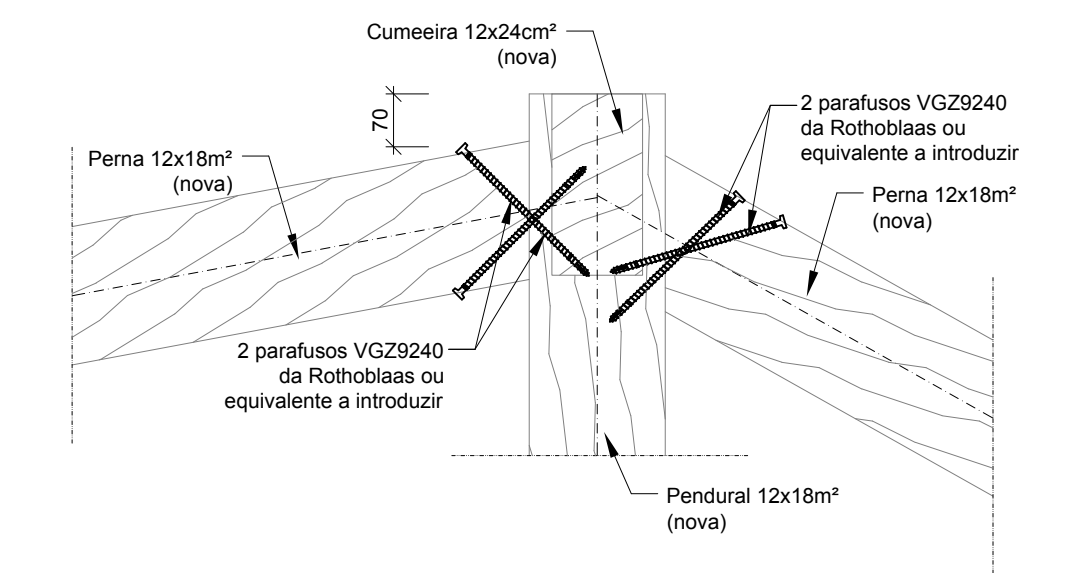
Pormenor da ligação entre perna e linha da asna A3_B

Esc. 1:10



Pormenor da ligação entre perna e pendural da asna A1_B

Esc. 1:10



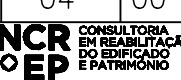
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS		
AÇOS	ESQUEMAS DE PINTURA	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5
Parafusos	DIN 931 - 8.8	PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5
Porcas	DIN 934 - 8	- Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	- Camada de tinta anti-fogo
Chumbadouros (em geral)	S355J0	- Acabamento em poliuretano - 125 µ
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8	NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.

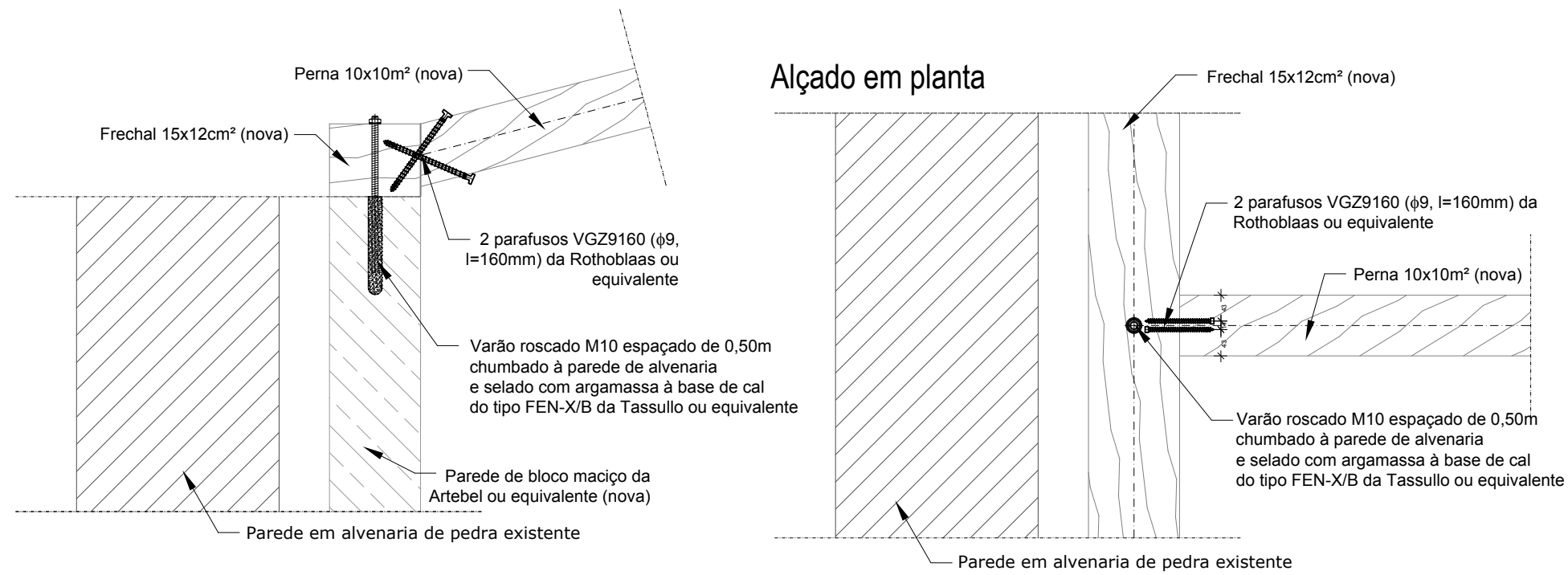
NOTAS GERAIS	
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.	
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.	

Obras	Edifício Rua da Torrinha 71, Porto	Data	05/2014	Escala	Várias
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_201_A0214	Capítulo	000EXE
Projectos	VL, FO	Desenhos	VL, FO	Aprovou	JMG
		Verificou			



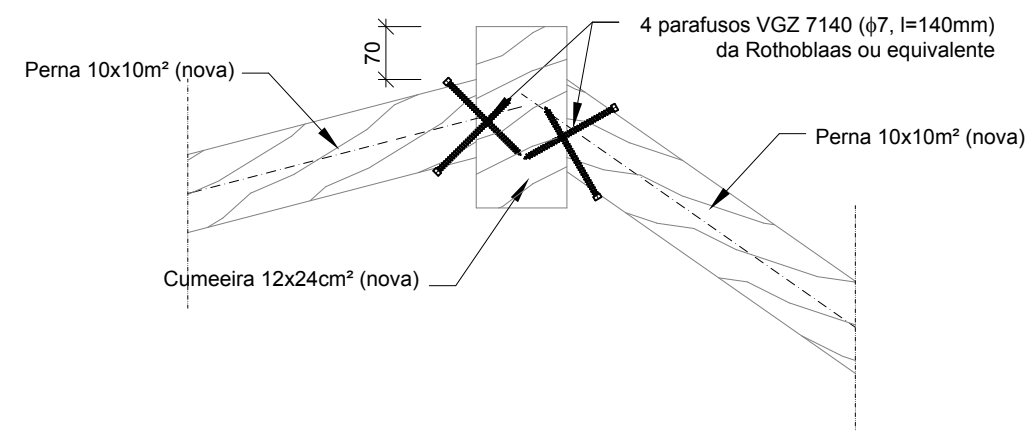
Pormenor 4 - ligação entre a asna A2_B e frechal e o frechal e a parede de bloco maciço da Artebel ou equivalente

Esc. 1:10



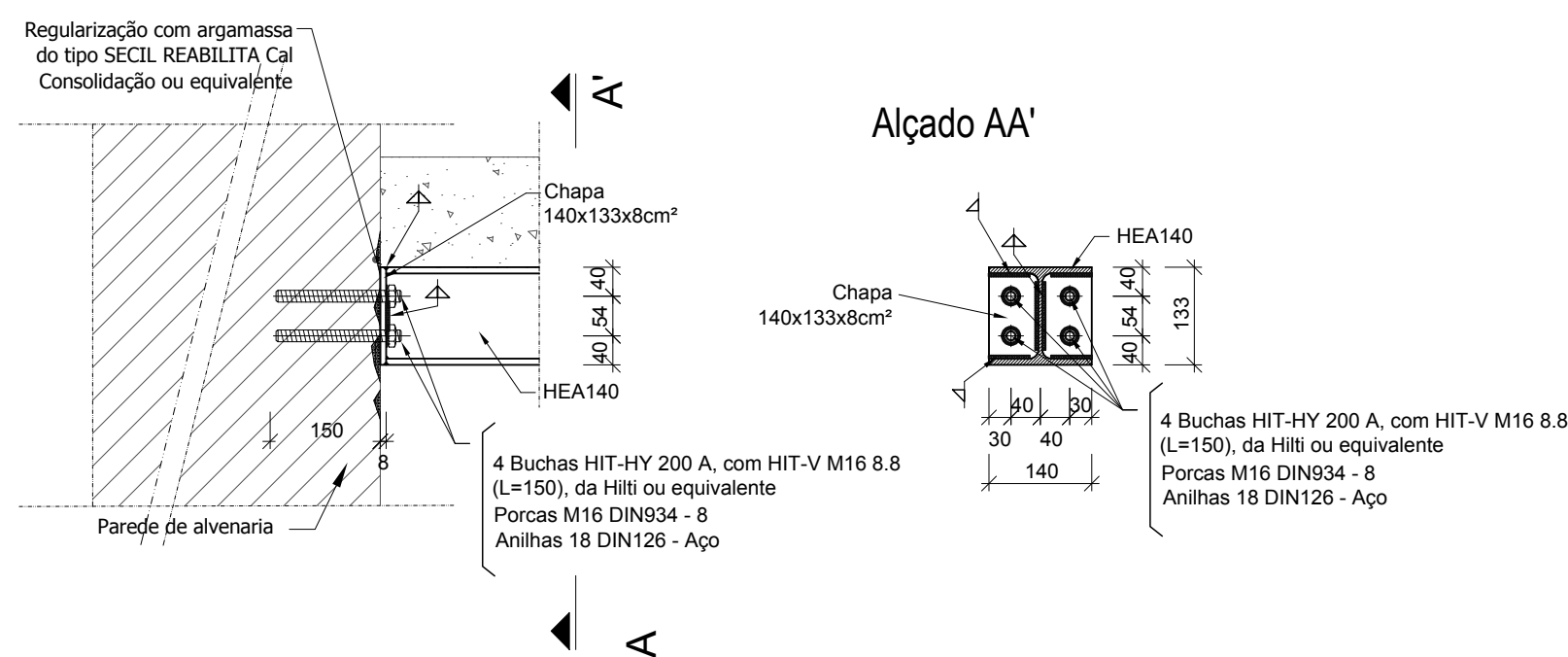
Pormenor 5 - ligação entre pernas e cumeeira da asna A2_B

Esc. 1:10



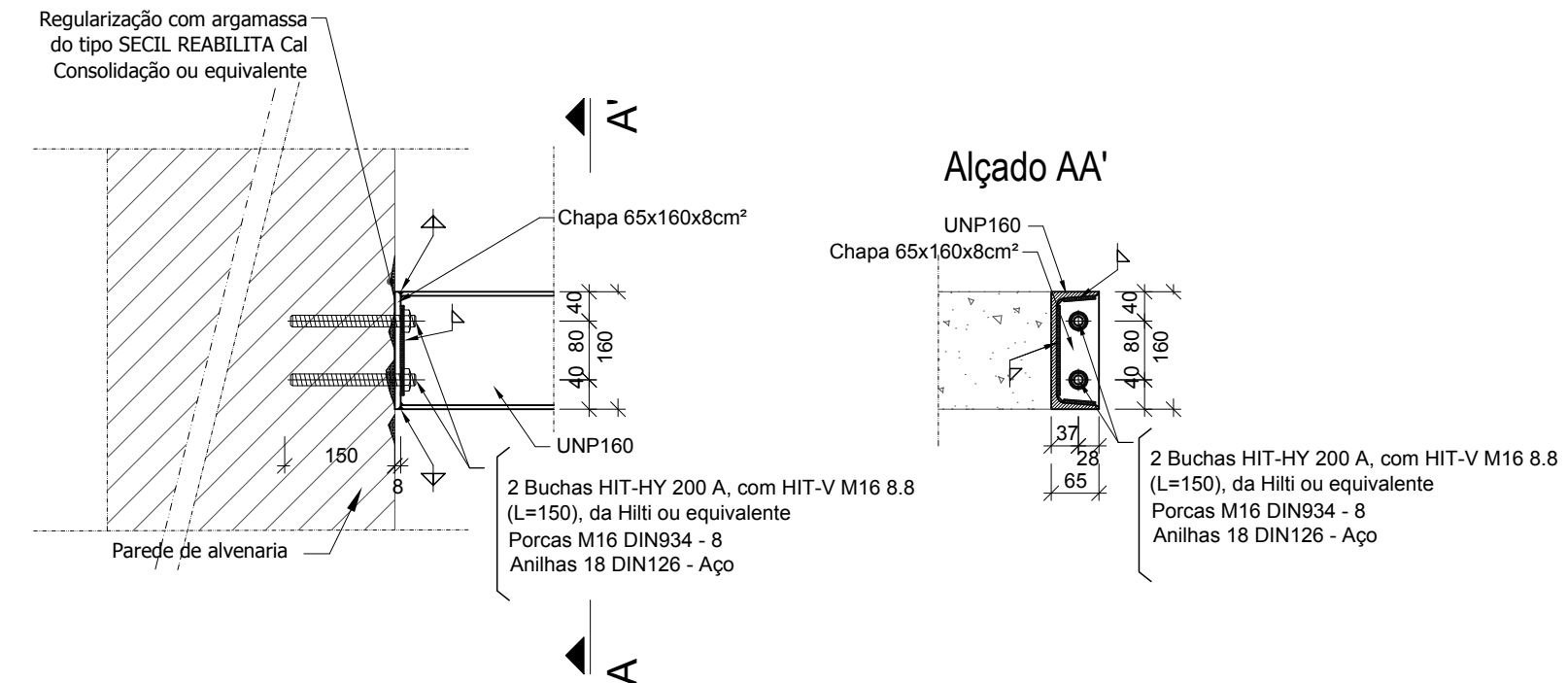
Pormenor 6.1 - ligação do perfil metálico HEA140 à parede de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



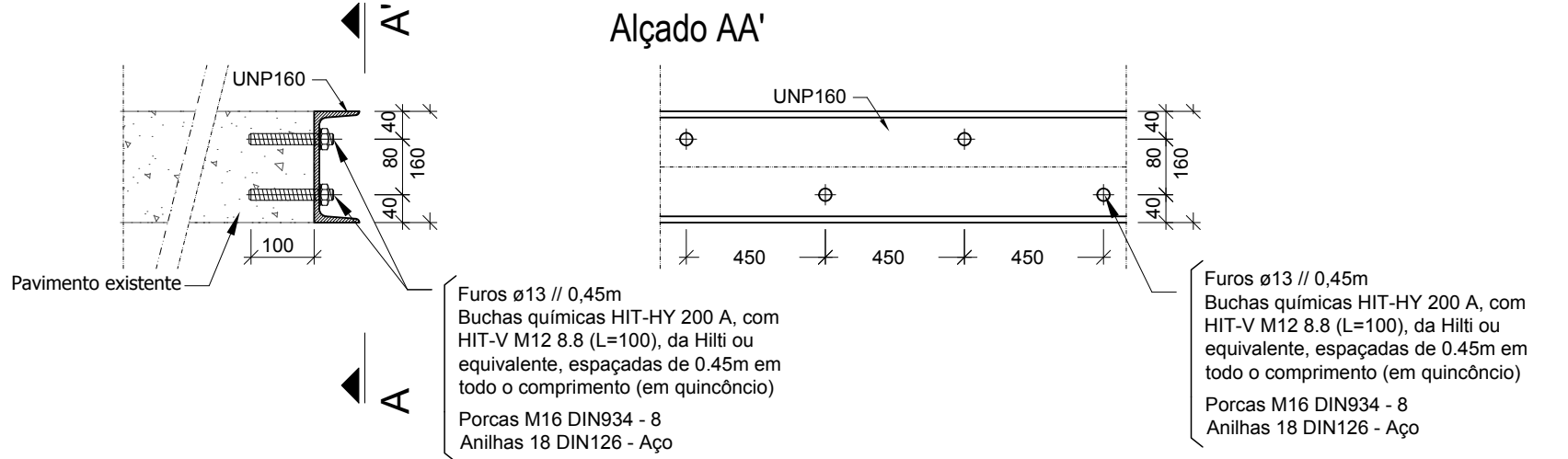
Pormenor 6.2 - ligação do perfil metálico UNP160 à parede de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



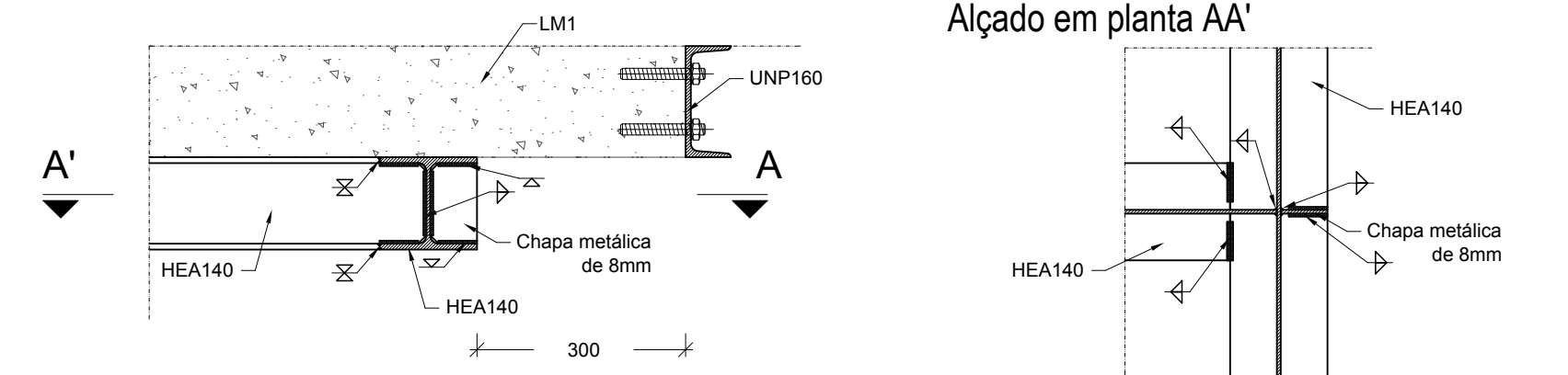
Pormenor 6.3 - ligação do perfil metálico UNP160 ao pavimento

Esc. 1:10



Pormenor 7 - ligação entre perfis metálicos HEA140

Esc. 1:10



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS	
AÇOS	ESQUEMAS DE PINTURA
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Parafusos	DIN 931 - 8.8
Porcas	DIN 934 - 8
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço
Chumbadouros (em geral)	S355J0
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8
ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	
PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 - Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ - Camada de tinta anti-fogo - Acabamento em poliuretano - 125 µ	
NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.	

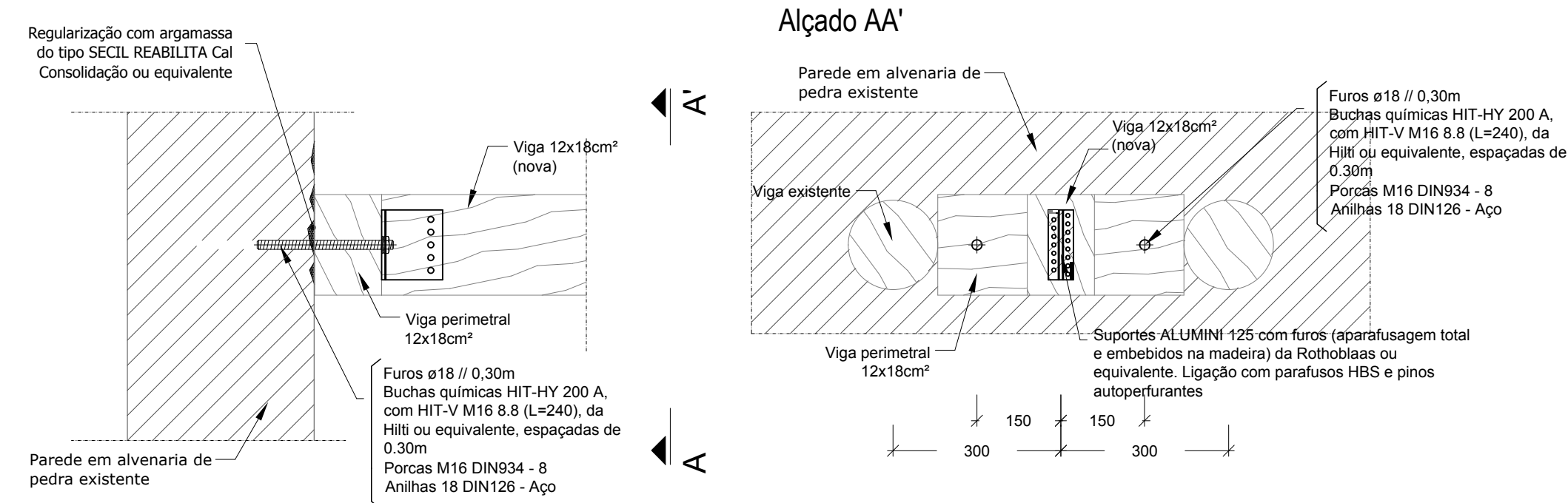
NOTAS GERAIS	
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.	
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.	

Obra	Edifício Rua da Torrinha 71, Porto	Data	05/2014	Escala	1:10
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_201_A0214	Capítulo	000EXE
Projectos	VL, FO	desenhou	VL, FO	Aprovou	JMG
Verificou					



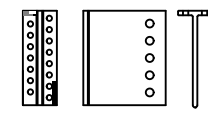
Pormenor 8.1 - Apoio das novas vigas de pavimento nas paredes de alvenaria de pedra, intercaladas com as existentes

Esc. 1:10



NOTA:
Deverá se feita a consolidação da alvenaria de pedra nas zonas de fixação das buchas químicas (a definir em obra)

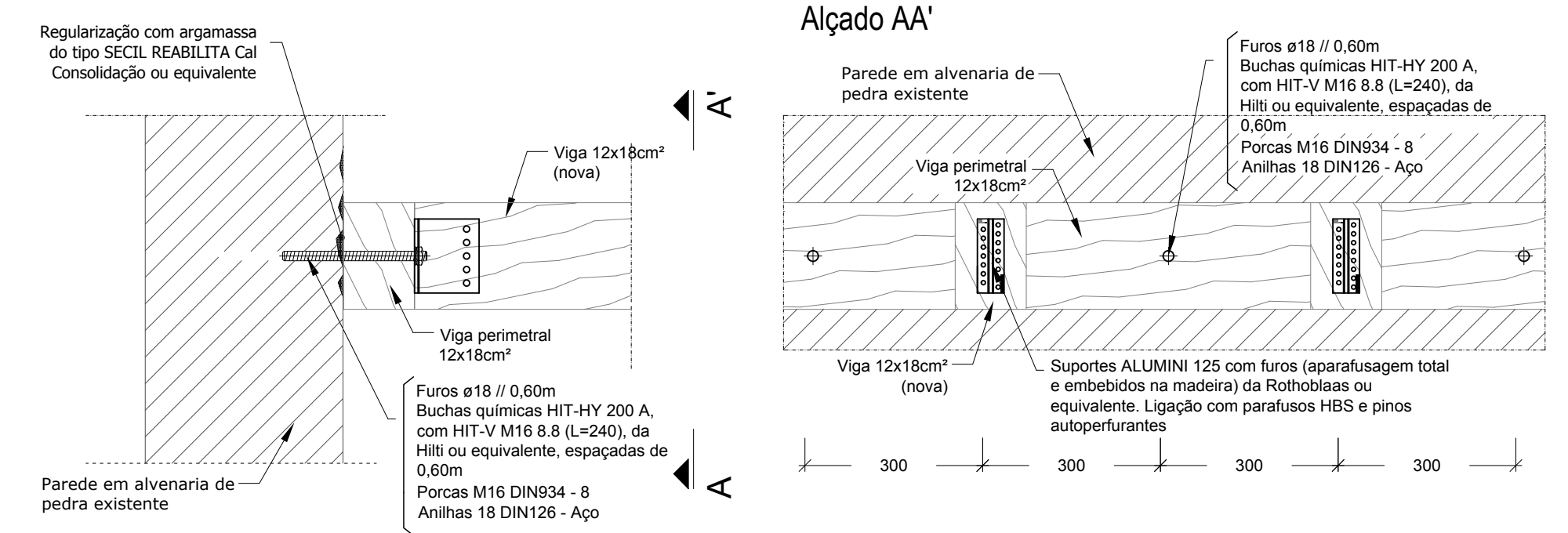
Pormenor de suporte ALU MINI 125 com furos (aparafusagem total)



Furos ø18 // 0,30m
Buchas químicas HIT-HY 200 A, com HIT-V M16 8.8 (L=240), da Hilti ou equivalente, espaçadas de 0,30m
Porcas M16 DIN934 - 8
Anilhas 18 DIN126 - Aço

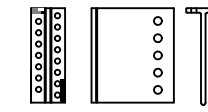
Pormenor 8.2 - Apoio das novas vigas de pavimento nas paredes de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



NOTA:
Deverá se feita a consolidação da alvenaria de pedra nas zonas de fixação das buchas químicas (a definir em obra)

Pormenor de suporte ALU MINI 125 com furos (aparafusagem total)



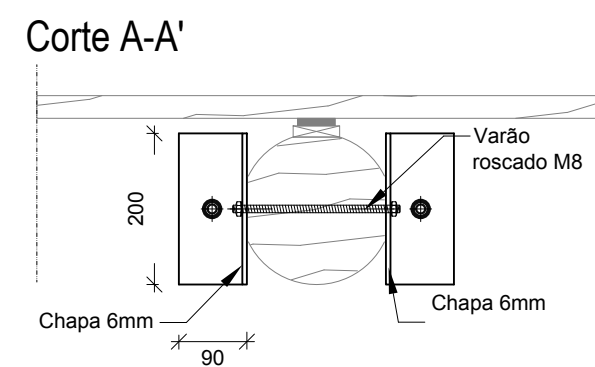
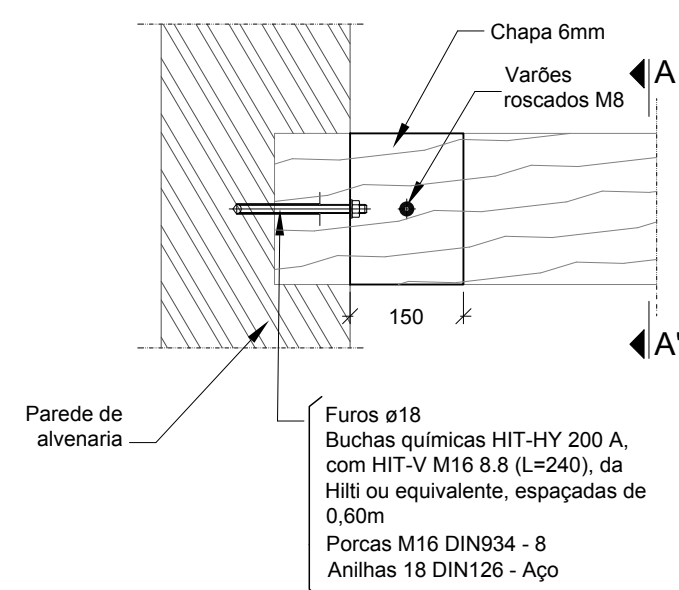
Furos ø18 // 0,30m
Buchas químicas HIT-HY 200 A, com HIT-V M16 8.8 (L=240), da Hilti ou equivalente, espaçadas de 0,30m
Porcas M16 DIN934 - 8
Anilhas 18 DIN126 - Aço

Pormenor 8.3 - reforço estrutural de vigas de madeira existentes degradadas na zona dos apoios

Esc. 1:10

Opção 1

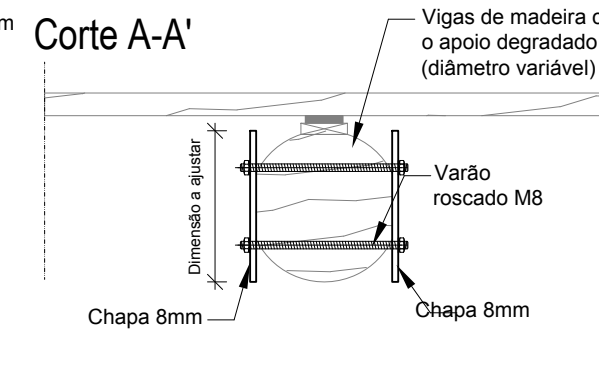
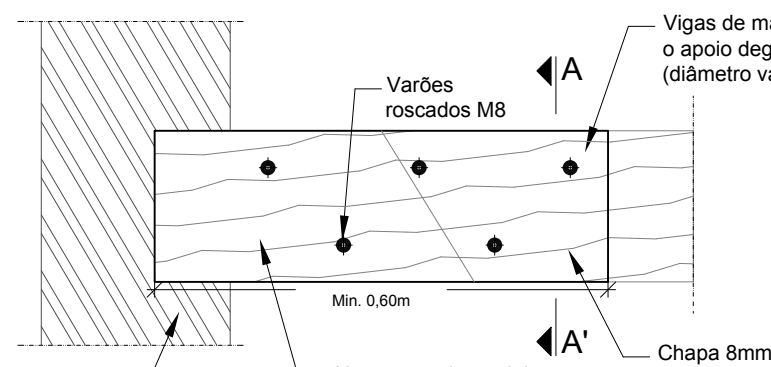
Esc. 1:10



NOTA:
As faces das vigas devem ser regularizadas para receberem as chapas metálicas.

Opção 2

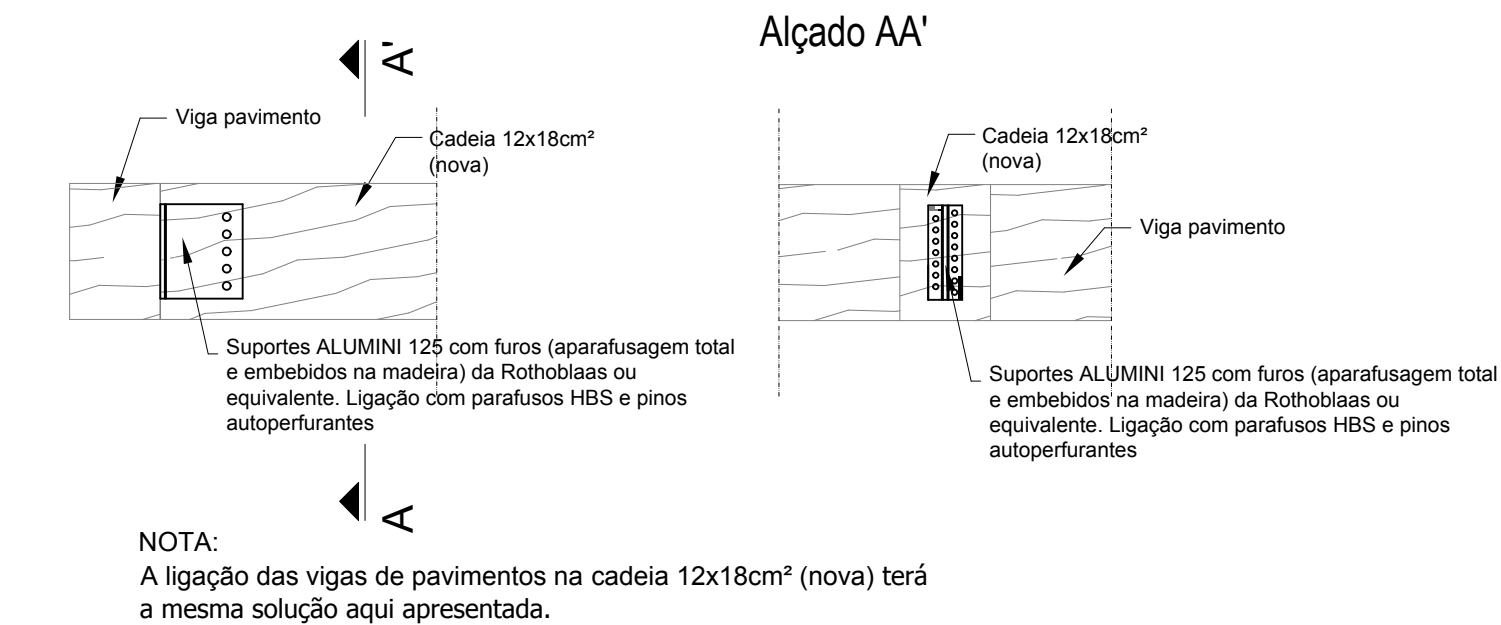
Esc. 1:10



NOTA: As faces das vigas devem ser regularizadas para receberem as chapas metálicas

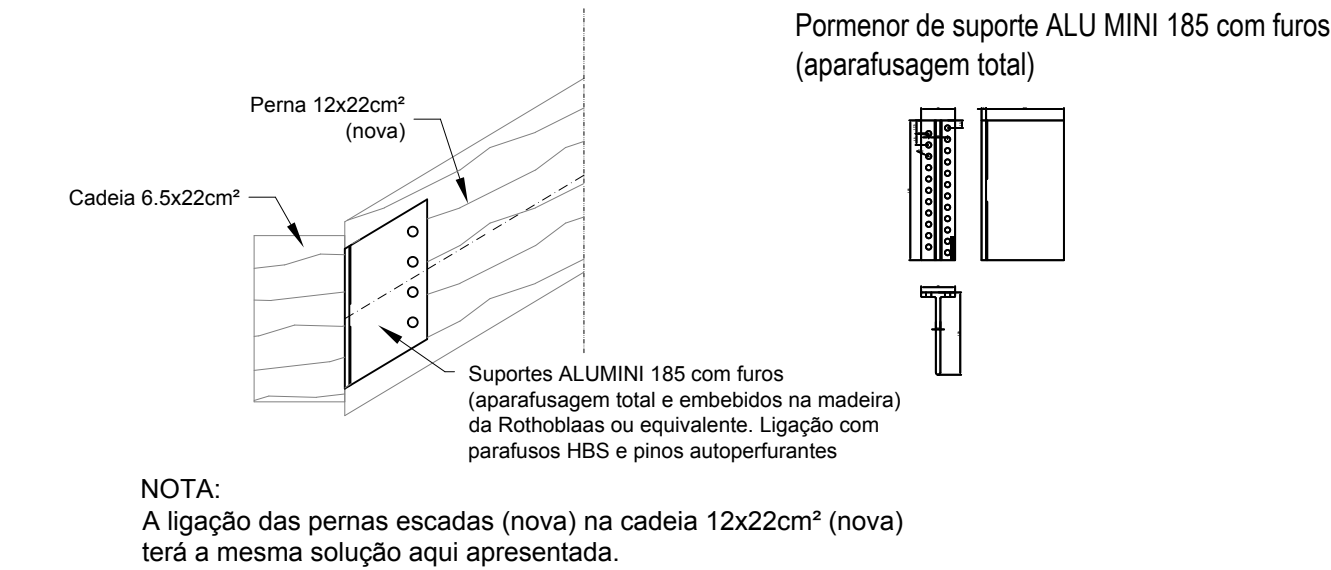
Pormenor 8.4 - ligação da cadeia (nova) nas vigas de pavimento

Esc. 1:10



Pormenor 9.1 - ligação pernas escadas (nova) na cadeia existente 6.5x22cm²

Esc. 1:10



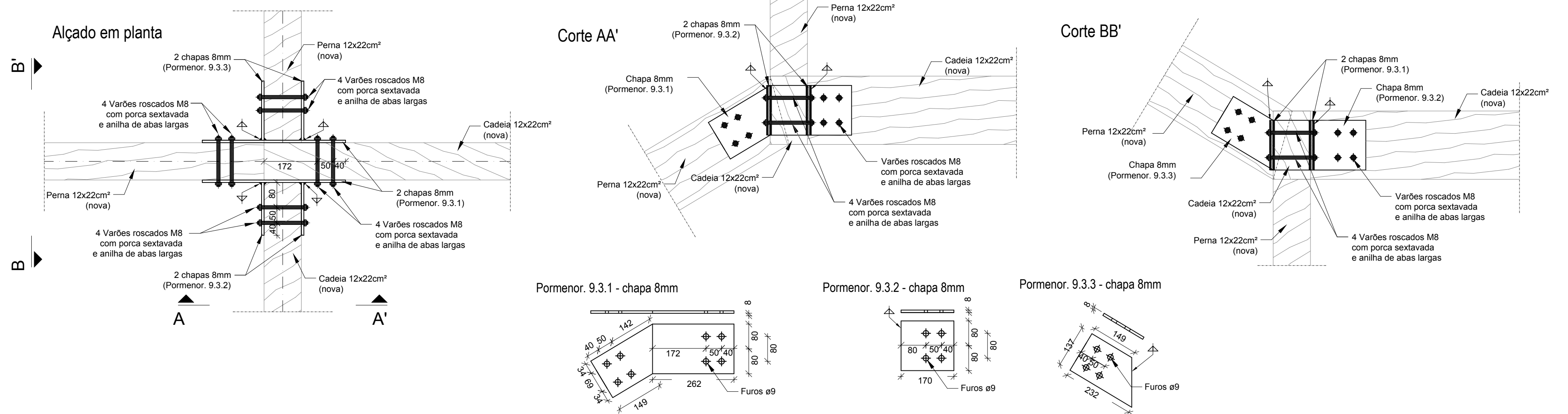
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO		
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)	
Armaduras	A500	
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA		
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)	
MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS		
AÇOS	ESQUEMAS DE PINTURA	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5
Parafusos	DIN 931 - 8.8	PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 - Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ - Camada de tinta anti-fogo - Acabamento em poliuretano - 125 µ
Porcas	DIN 934 - 8	NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	
Chumbadouros (em geral)	S355J0	
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8	
NOTAS GERAIS		
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.		
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.		

Obras	Edifício Rua da Torrinha 71, Porto	Data	05/2014	Escala	1:10
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_201_A0214	Capítulo	000EXE
Projecto	VL, FO	desenho	VL, FO	Aprovou	JMG
Verificou					



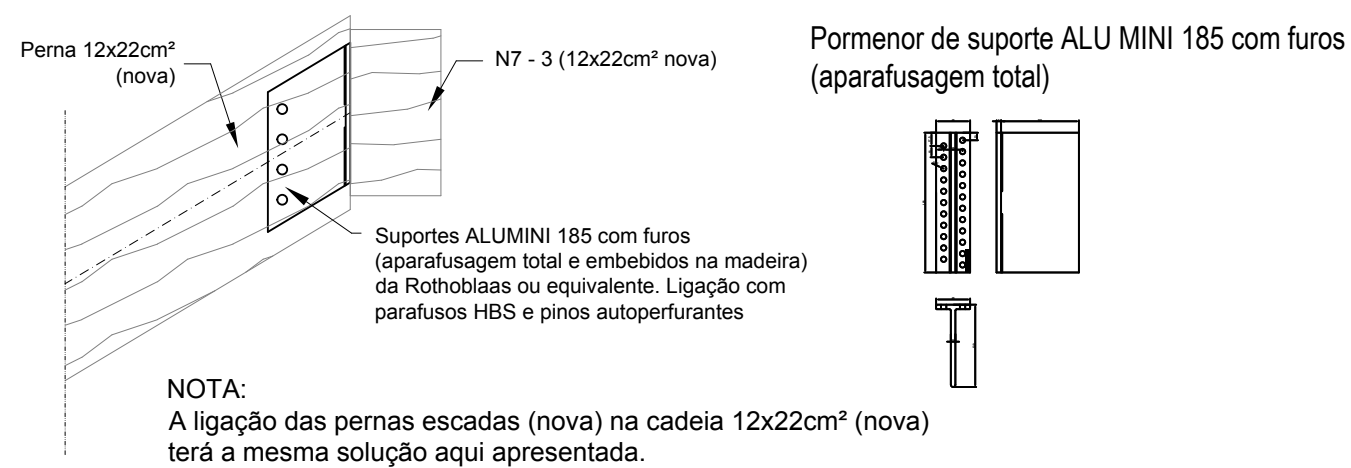
Pormenor 9.3 - ligação dos elementos das escadas ao nível do patamar

Esc. 1:10



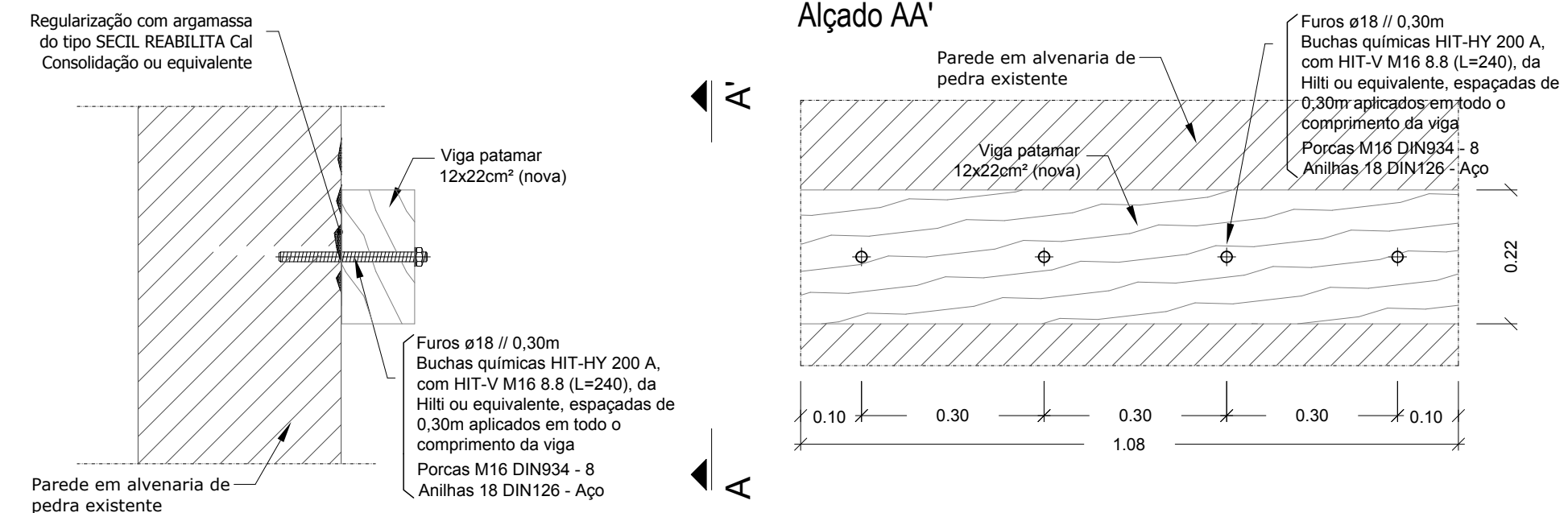
Pormenor 9.2 - ligação perna escadas (nova) na VN7 - 3 (12x22cm² nova)

Esc. 1:10



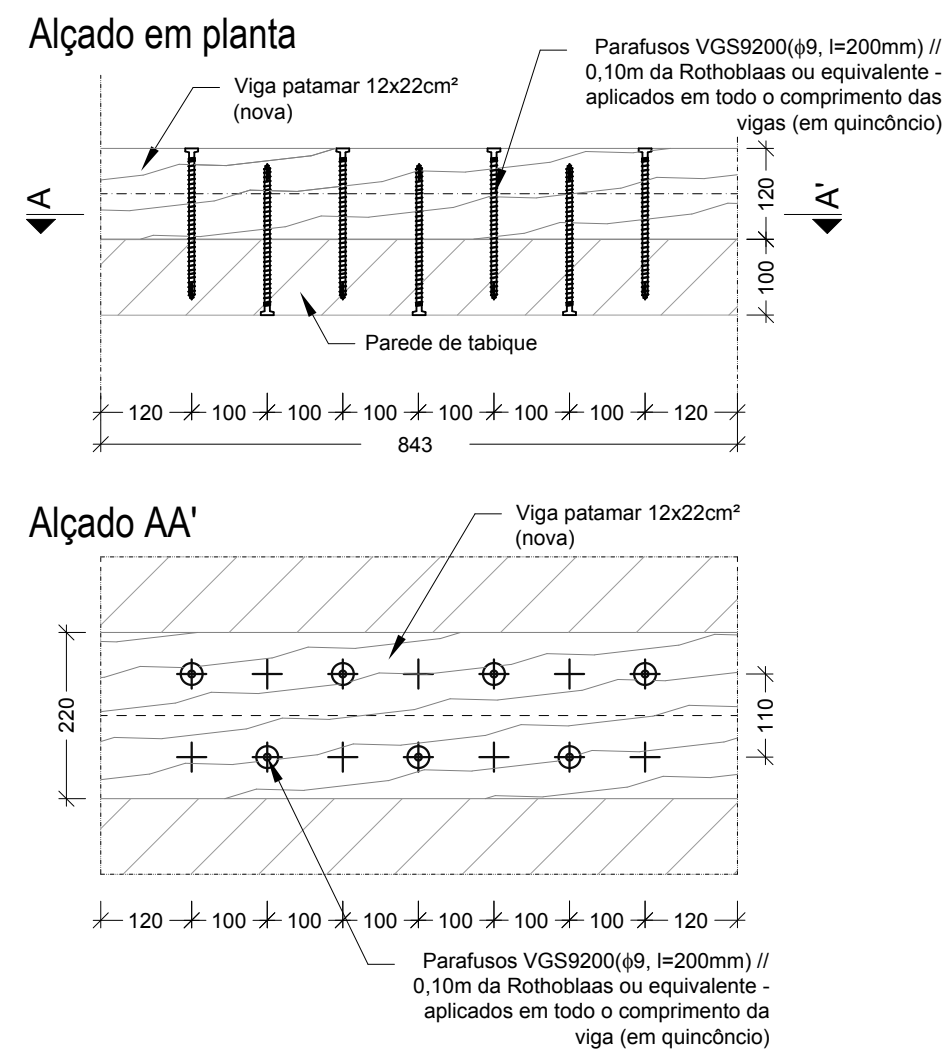
Pormenor 10.2 - fixação viga patamar 12x22cm² (nova) na paredes de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



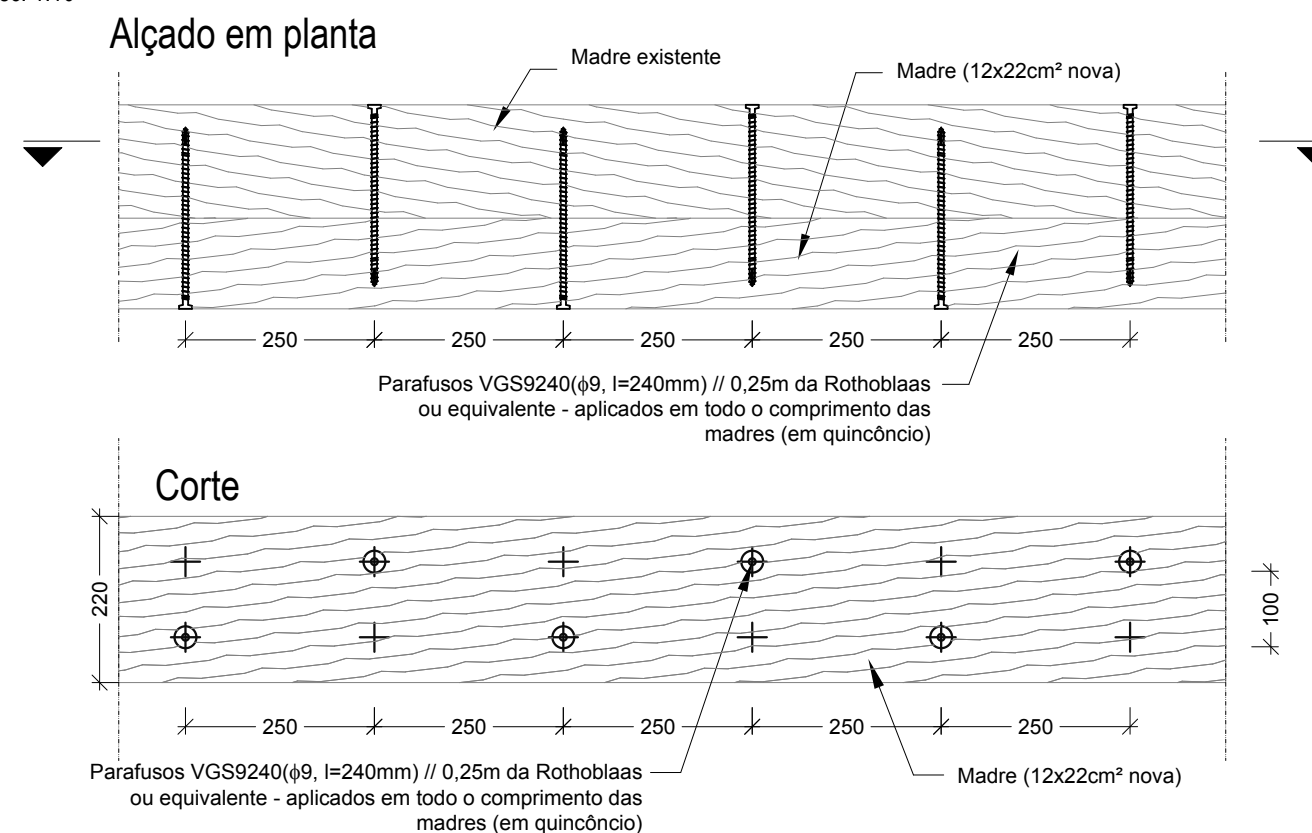
Pormenor 10.1 - ligação viga patamar 12x22cm² (nova) na parede de tabique

Esc. 1:10



Pormenor 11 - Ligação lateral entre madres existentes e madres novas de secção 12x22cm²

Esc. 1:10



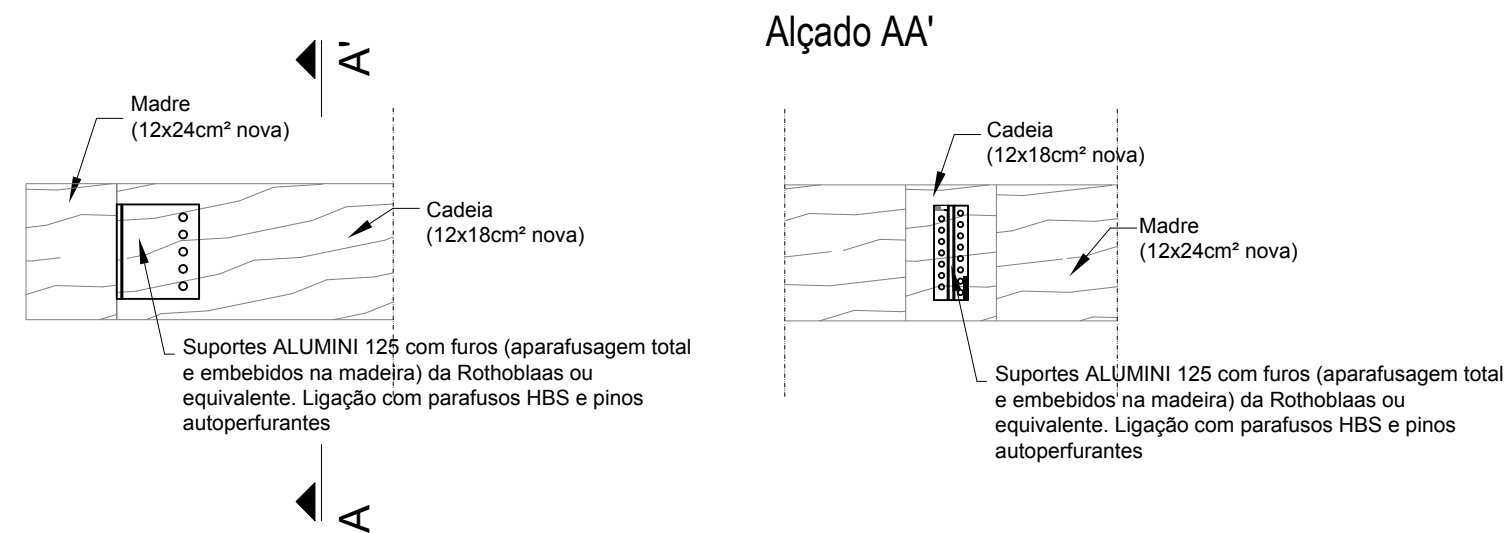
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)
MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS	
AÇOS	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Parafusos	DIN 931 - 8.8
Porças	DIN 934 - 8
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço
Chumbadouros (em geral)	S355J0
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8
ESQUEMAS DE PINTURA	
ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO	
- Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	
PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO	
- Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	
- Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ	
- Camada de tinta anti-fogo	
- Acabamento em poliuretano - 125 µ	
NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.	
NOTAS GERAIS	
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.	
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.	

Obra	Edifício Rua da Torrinha 71, Porto	Data	05/2014	Escala	1:10
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_201_A0214	Capítulo	000EXE
Projecto	VL, FO	desenho	VL, FO	Aprovou	JMG
Verificou					



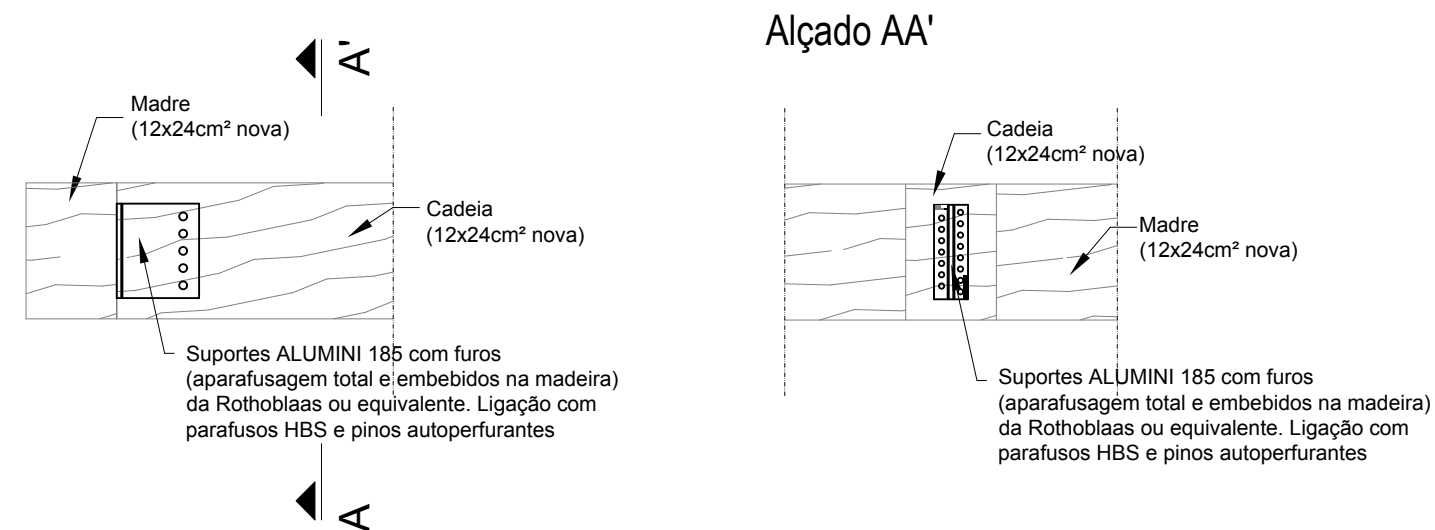
Pormenor 12.1 - ligação das cadeias (12x18cm² nova) nas madres (nova) de cobertura

Esc. 1:10



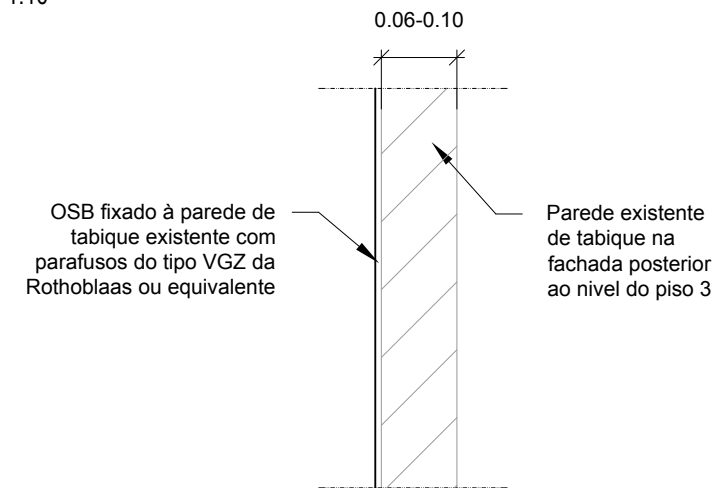
Pormenor 12.2- ligação das cadeias (12x24cm² nova) nas madres (nova) de cobertura

Esc. 1:10



Pormenor 14 - reforço paredes de tabique na fachada posterior ao nível do piso 3

Esc. 1:10

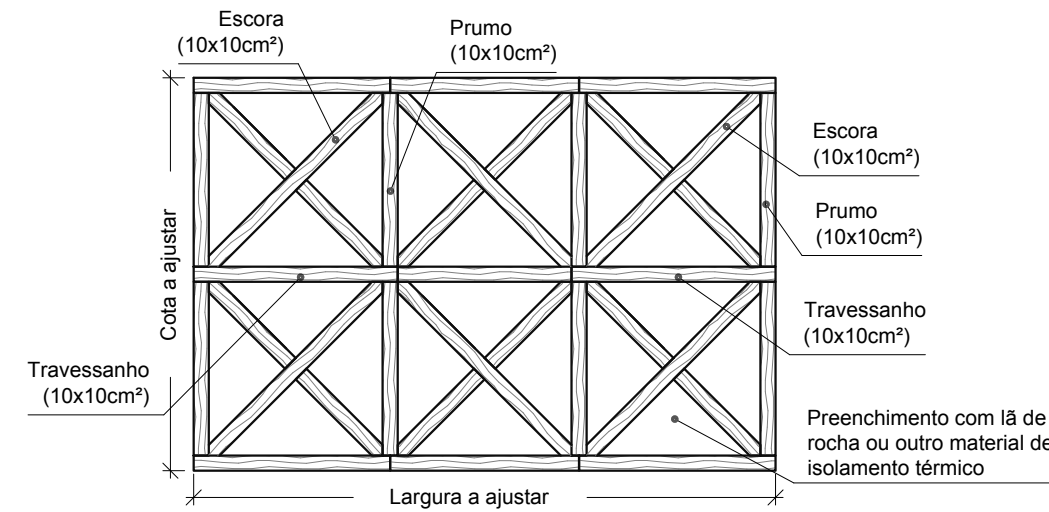


Pormenor 13 - Construção de nova parede de frontal na fachada principal

Esc. 1:10

Alçado

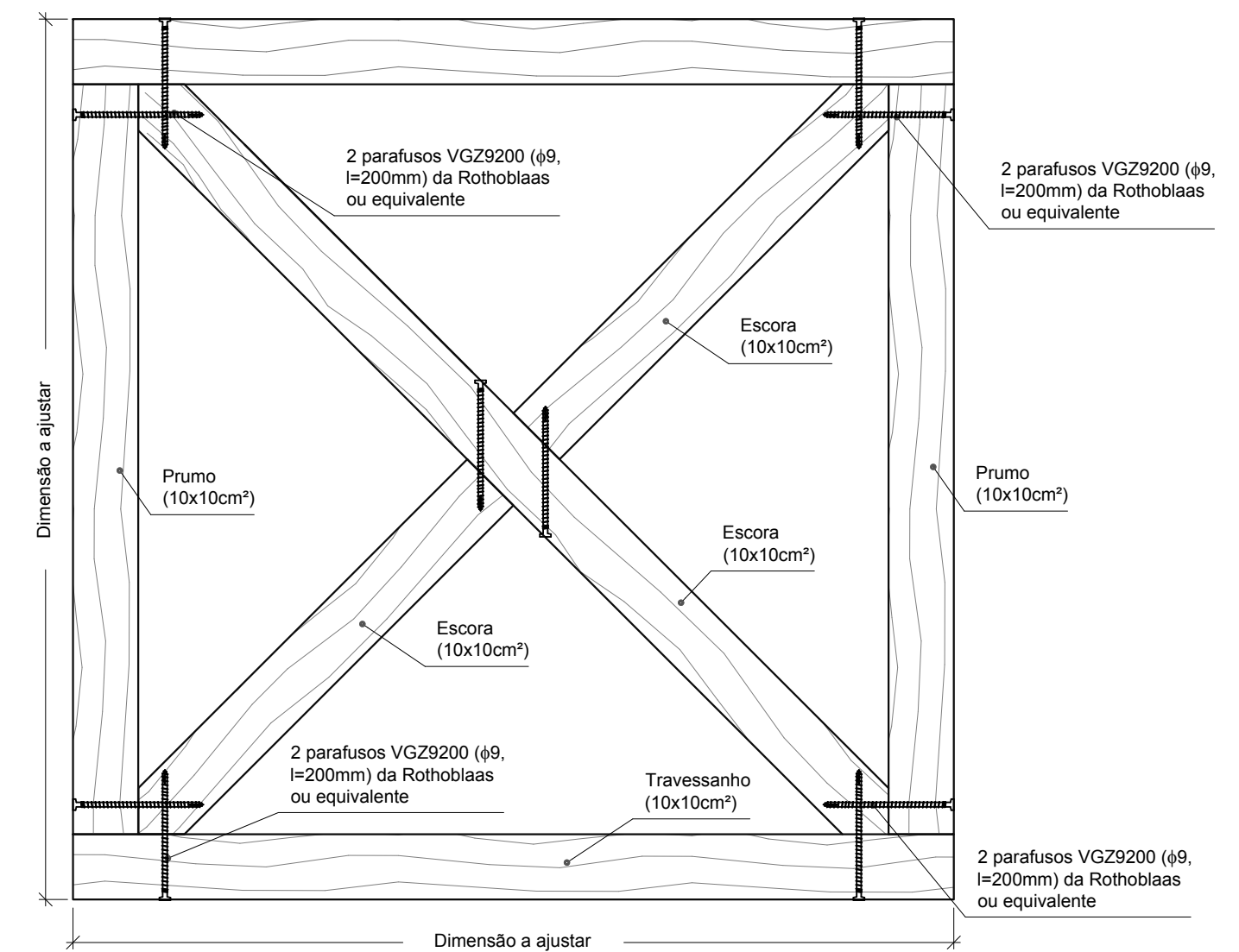
Esc. 1:50



NOTA:
A ligação entre os elementos dos novos frontais será realizada através de parafusos VGZ9200 (ø9mm) ou equivalente

Pormenor de frontal

Esc. 1:10



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	C18 (Maciça)

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS		
AÇOS		ESQUEMAS DE PINTURA
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 - Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ - Camada de tinta anti-fogo - Acabamento em poliuretano - 125 µ NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.
Parafusos	DIN 931 - 8.8	
Porcas	DIN 934 - 8	
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	
Chumbadouros (em geral)	S355J0	
Varões Roscados	Aço da Classe 8.8	

NOTAS GERAIS

- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.
 - Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

Obras	Edifício Rua da Torrinha 71, Porto	Data	05/2014	Escala	1:10
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_201_A0214	Capítulo	000EXE
Projectos	VL, FO	desenhos	VL, FO	Aprovou	JMG
Verificou	-	Rev. nº	08	00	



**Anexo 2.1 – Edifício Rua Barão São Cosme,
resultados dos ensaios experimentais.**

Como referido no capítulo 4.2.2.4 do documento principal, a inspeção visual no Edifício Rua Barão São Cosme foi complementada pela realização de 51 ensaios não destrutivos em elementos de madeira. Nestas campanhas foi realizado ensaios com o Resistógrafo (modelo Resistograph 4452-P da Rinntech), Pilodyn e higrómetro, em zonas especificamente escolhidas, para avaliar o estado de conservação.

Na Figura 1 e Figura 2 é representada a localização dos ensaios nas plantas estruturais do edifício, que resultaram do levantamento dos elementos estruturais existentes.

No Quadro 1 apresentam-se os resultados dos registos aos ensaios realizados, assim como um comentário das acções a realizar, nomeadamente manter (✓ - verde), ou substituir/reforçar (× - vermelho).

Os resultados do Resistógrafo são apresentados no Quadro 2. Optou-se por mostrar os gráficos obtidos directamente no papel impresso pelo equipamento de ensaio, cujas abcissas correspondem à dimensão da peça ensaiada (mm) e as ordenadas a um valor designado “valor de Resistógrafo”, é possível observar alguma heterogeneidade na gama de valores obtidos existindo inclusivamente, nalguns casos, degradações internas e superficiais com alguma importância.

Os ensaios são identificados pela enumeração “ER” designado nas plantas estruturais (Figura 1 e Figura 2) e no resumo dos ensaios experimentais (Quadro 1).

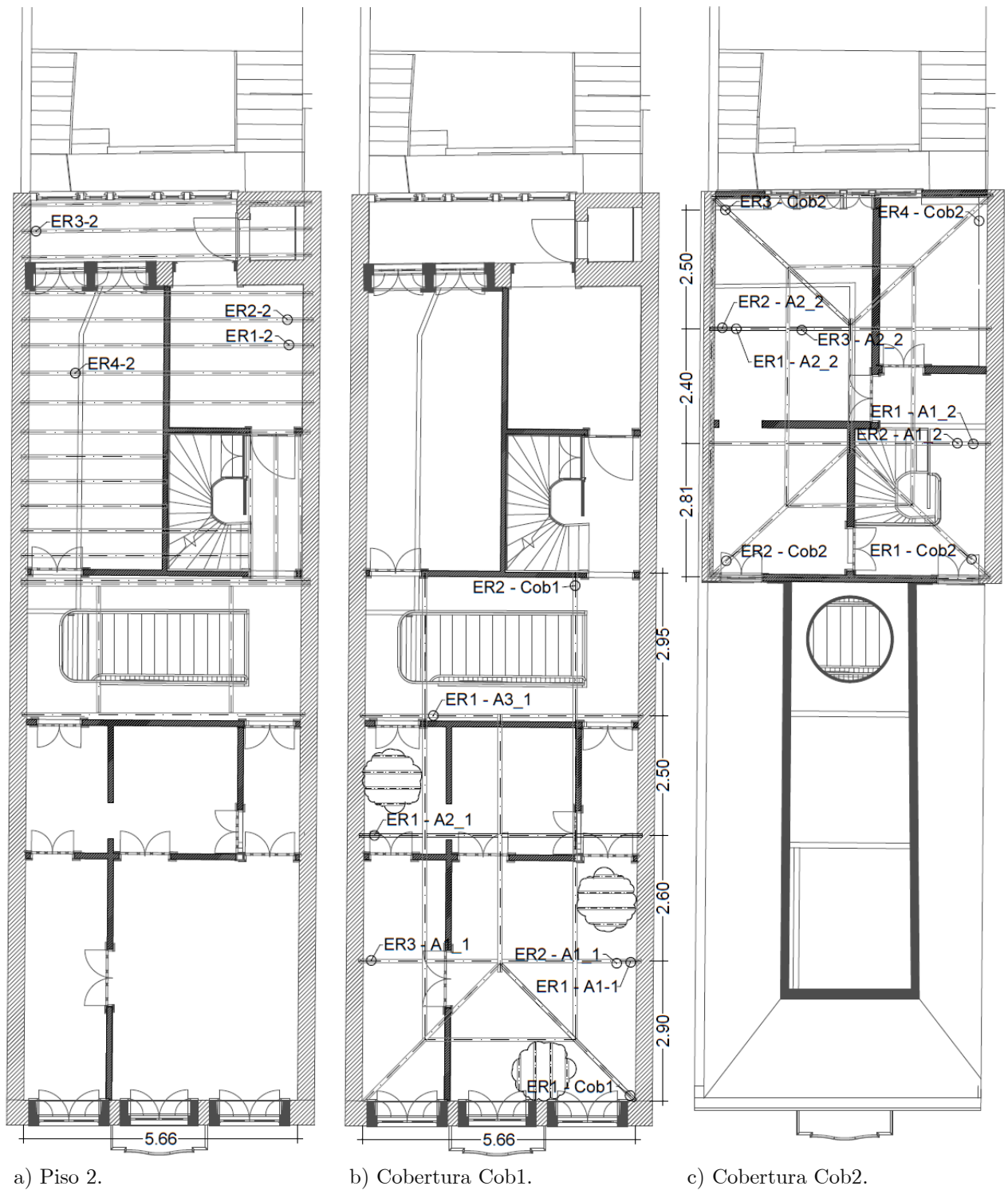


a) Piso -1.

b) Piso 0.

c) Piso 1.

Figura 1 – Plantas estruturais do piso -1, 0 e 1 com a localização dos ensaios (sem escala).



a) Piso 2.

b) Cobertura Cob1.

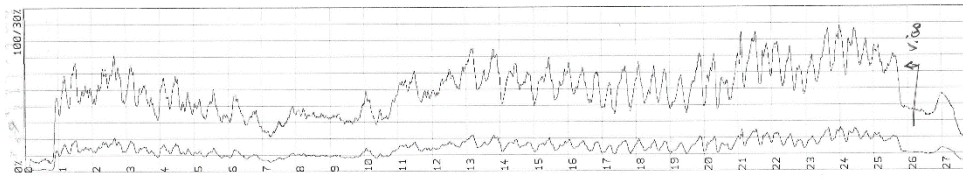
c) Cobertura Cob2.

Figura 2 – Plantas estruturais do piso 2 e coberturas com a localização dos ensaios (sem escala).

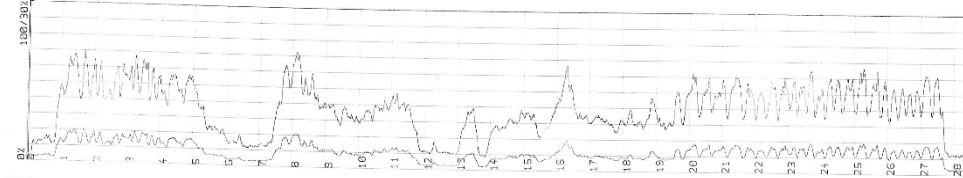
Resultados dos ensaios				Estado	Comentário		
Localização	Elemento	Secção	Ensaio				
			Pilodyn (mm)	Higrómetro (%)			
	VE1 - 1	7x21,5cm ²	ER1 - 1	14	22	✓	Secção em bom estado de conservação. Secção com um teor de humidade relativamente elevado.
	VE4 - 1	7x21,5cm ²	ER2 - 1	9	18	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE8 - 1	17x19,5cm ²	ER3 - 1	14	17	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE12 - 1	7x21,5cm ²	ER4 - 1	11	16	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE14 - 1	7x21,5cm ²	ER5 - 1	14	14	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE14 - 1	7x21,5cm ²	ER6 - 1	14	14	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE16 - 1	7x21,5cm ²	ER7 - 1	15	17	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE18 - 1	7x21,5cm ²	ER8 - 1	13	17	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE22 - 1	7,5x18,5cm ²	ER9 - 1	12	40	✓	Secção em bom estado de conservação apresentando, no entanto, um elevado teor de humidade.
	VE25 - 1	7x20cm ²	ER10 - 1	12	20	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE27 - 1	7x21,5cm ²	ER11 - 1	13	16	✓	Secção em bom estado de conservação, com vazio interno pouco significativo.
	VE Esc3	7,5x13cm ²	EREsc3 - 1	12	16	✓	Secção em bom estado de conservação.
			Média	13	19		
			Desvio Padrão	1,59	6,71		
	VE4 - 2	8x13cm ²	ER1 - 2	11	45	✓	Secção em bom estado de conservação apresentando, no entanto, um elevado teor de humidade.
	VE5 - 2	8x13cm ²	ER2 - 2	14	25	✓	Secção em bom estado de conservação. Secção com um teor de humidade relativamente elevado.
	VE8 - 2	7,5x22cm ²	ER3 - 2	12	23	✓	Secção em bom estado de conservação.
	VE3 - 2	8x13cm ²	ER4 - 2	-	-	✓	Secção em razoável estado de conservação, com alguns vazios internos.
			Média	12	31		
			Desvio Padrão	1,25	9,93		

Quadro 2 – Quadro de resultados dos ensaios obtidos directamente com o Resistógrafo nos elementos de madeira.

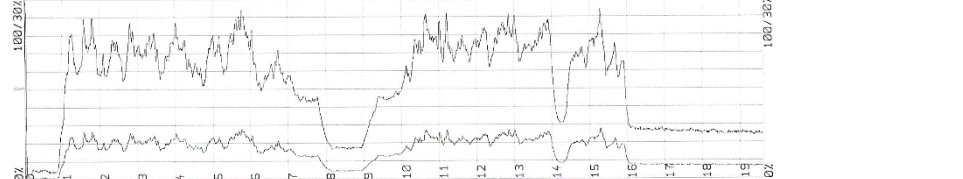
ER1 - 0



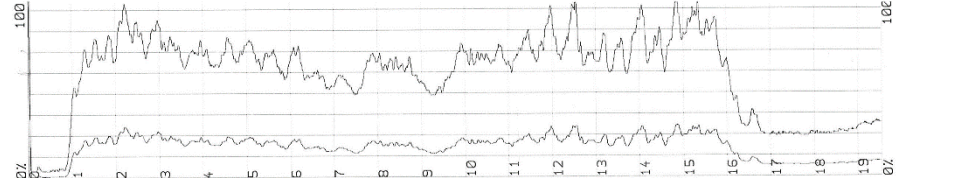
ER2 - 0



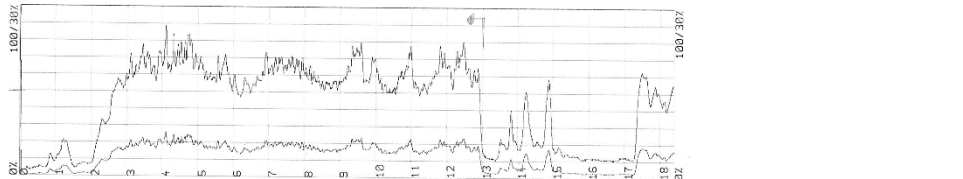
ER3 - 0



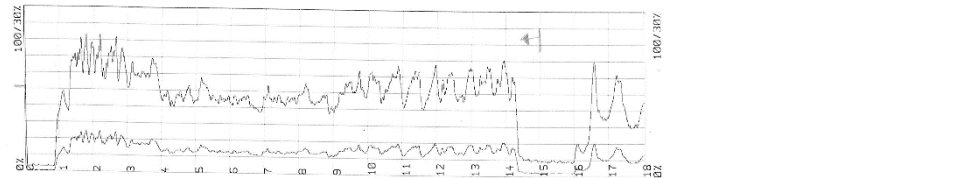
ER4 - 0



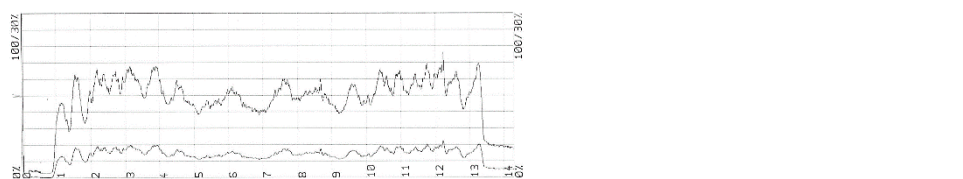
ER5 - 0



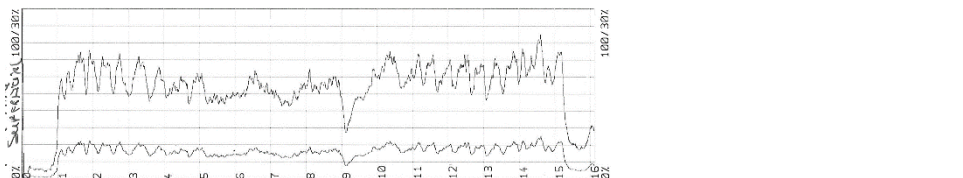
ER6 - 0



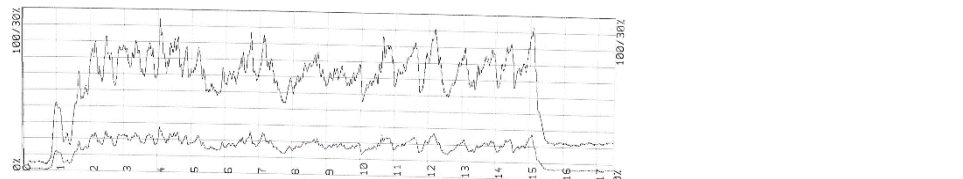
ER7 - 0



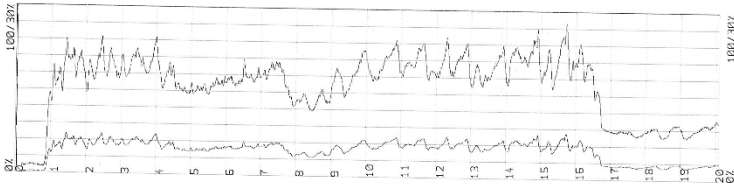
ER8 - 0



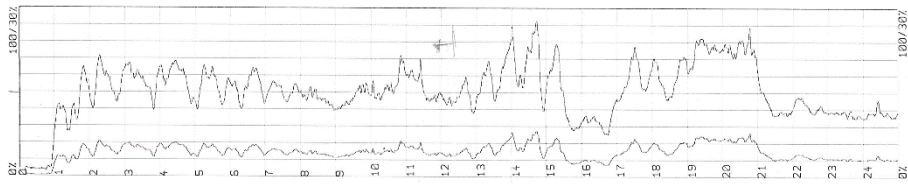
ER9 - 0



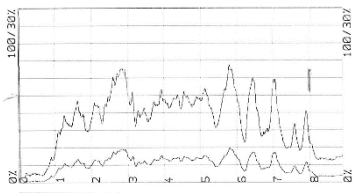
ER10 - 0



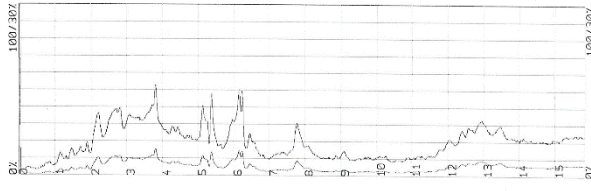
ER11 - 0



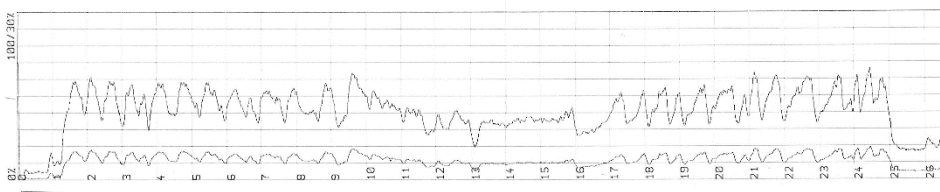
ER12 - 0



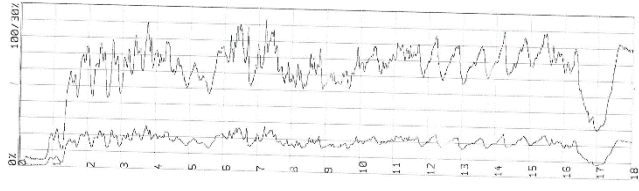
ER13 - 0



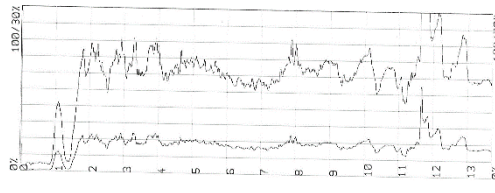
ER14 - 0



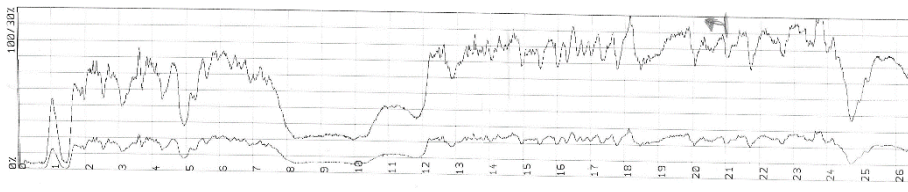
ER15 - 0



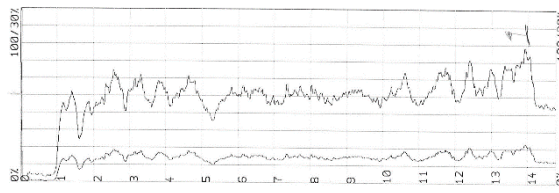
ER16 - 0

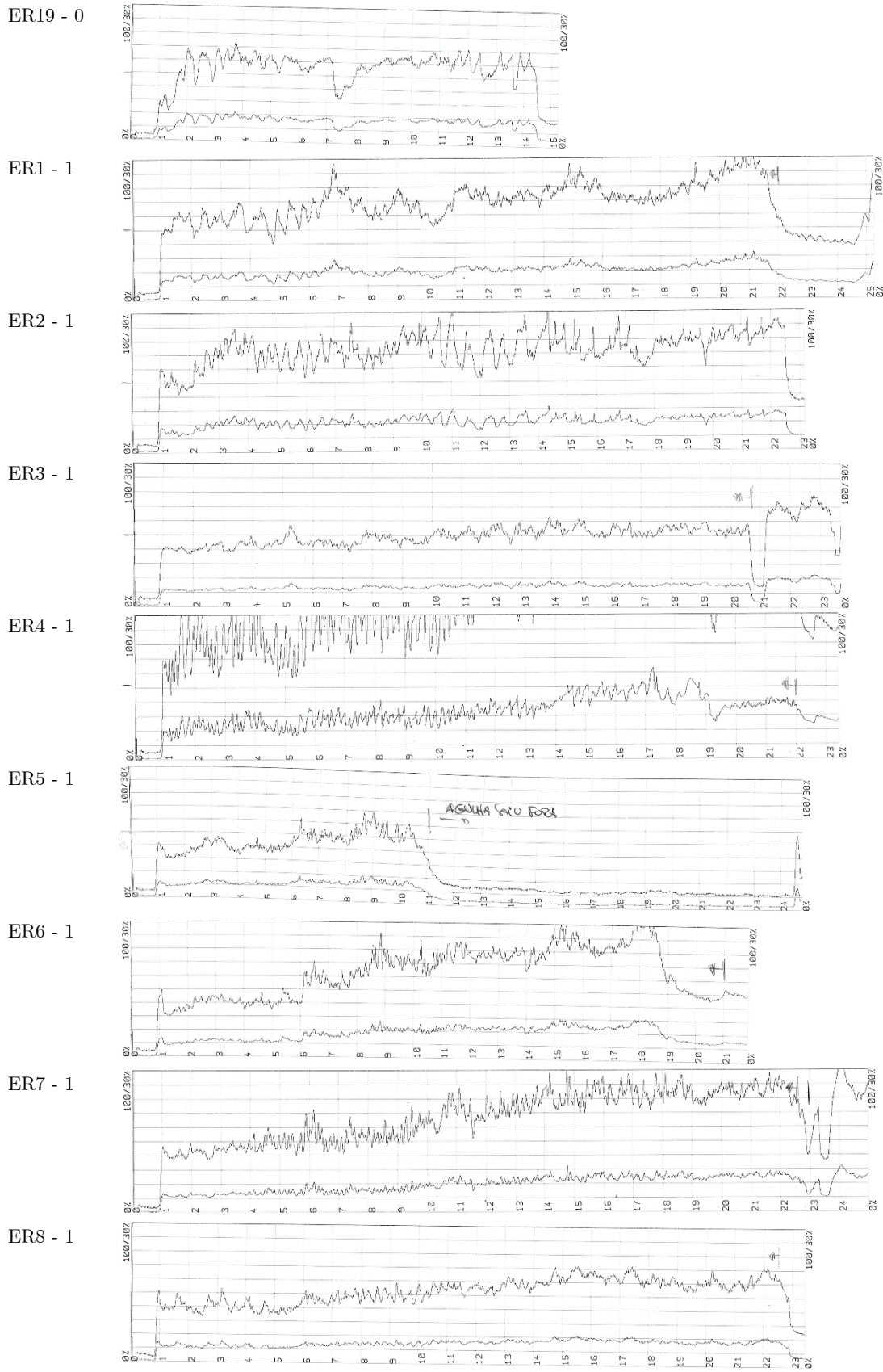


ER17 - 0

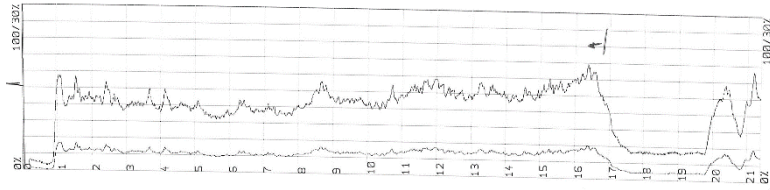


ER18 - 0

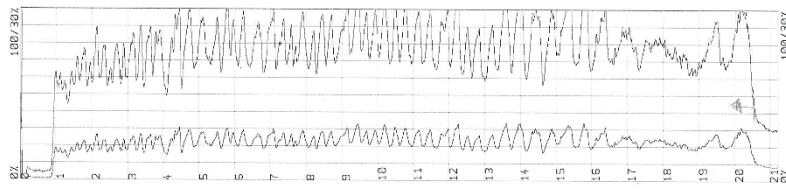




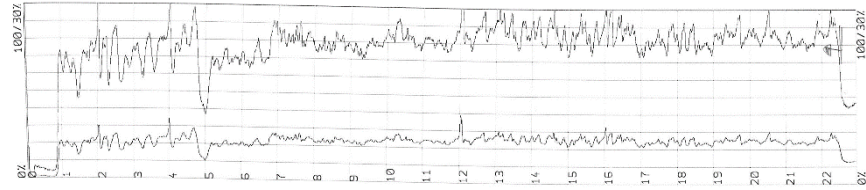
ER9 - 1



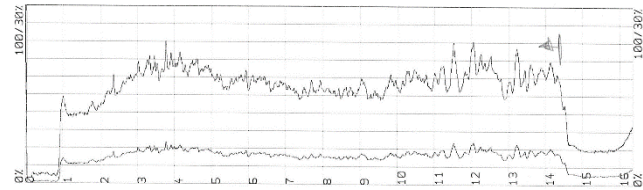
ER10 - 1



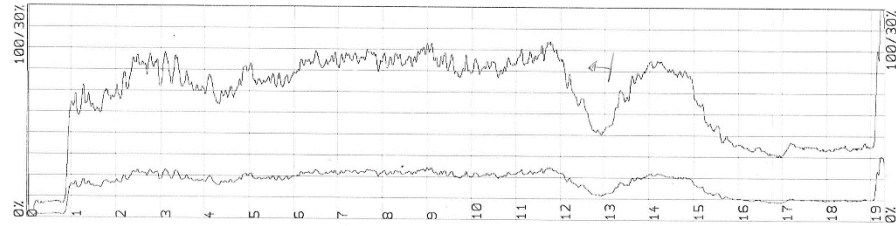
ER11 - 1



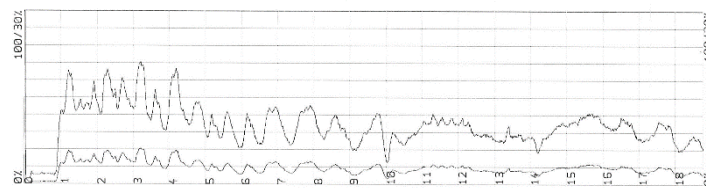
EREsc3-1



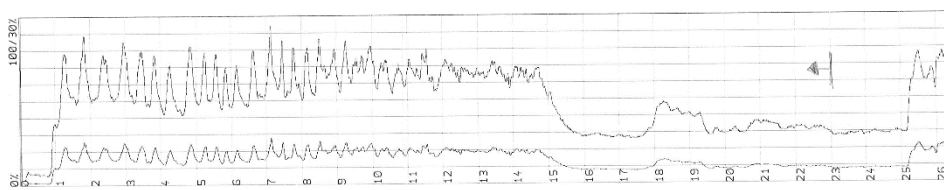
ER1 - 2



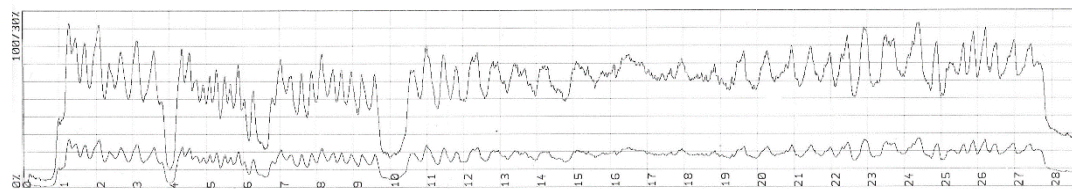
ER2 - 2



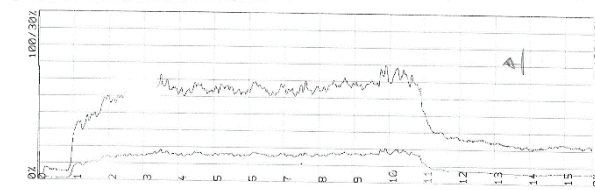
ER3 - 2



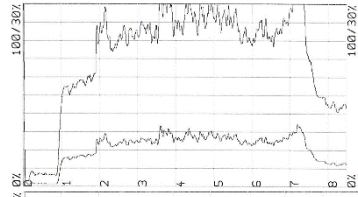
ER4 - 2



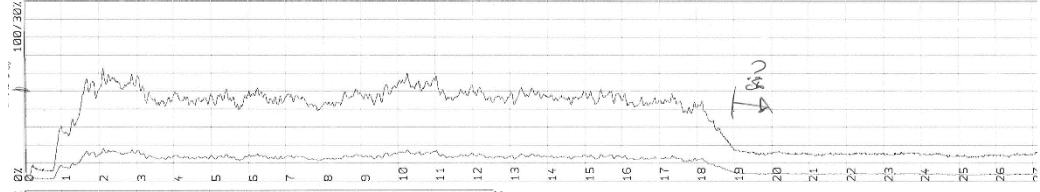
ER1-Cob1



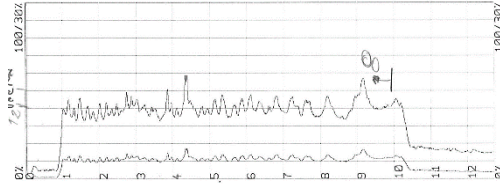
ER2- Cob1



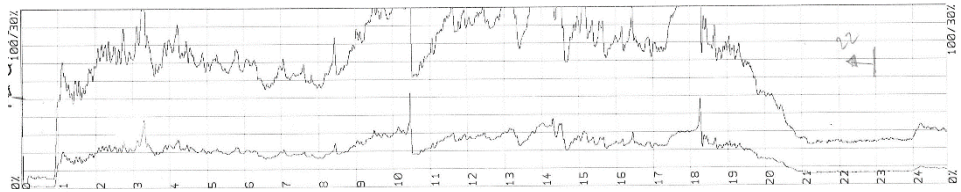
ER1- A1_1



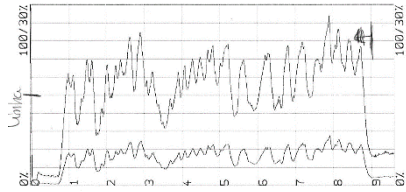
ER2- A1_1



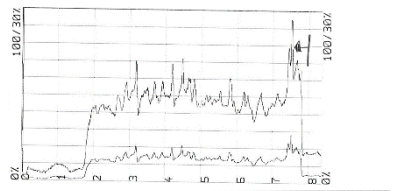
ER3- A1_1



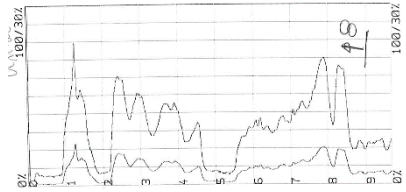
ER1- A2_1



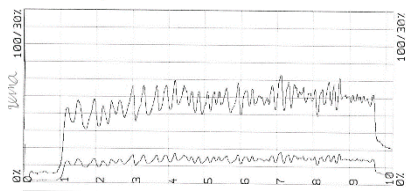
ER1- A3_1



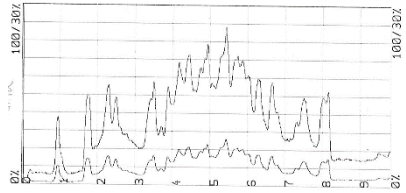
ER1 - Cob2



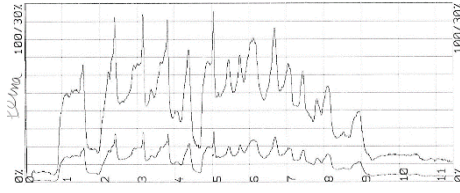
ER2 - Cob2



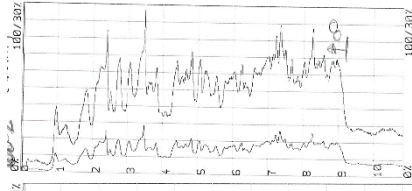
ER3 - Cob2



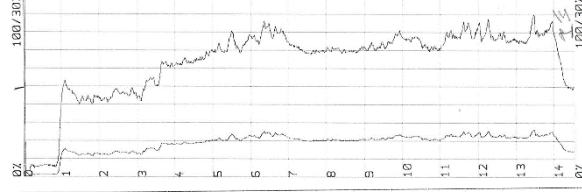
ER4 - Cob2



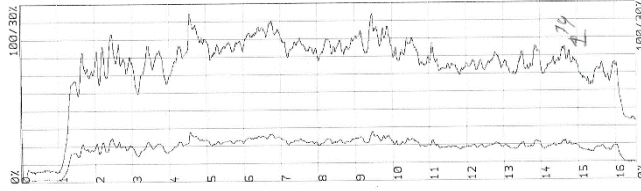
ER1- A1_2



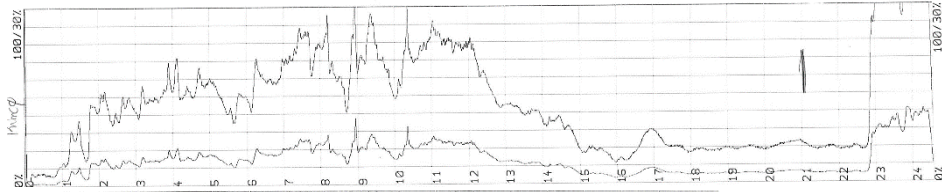
ER2- A1_2



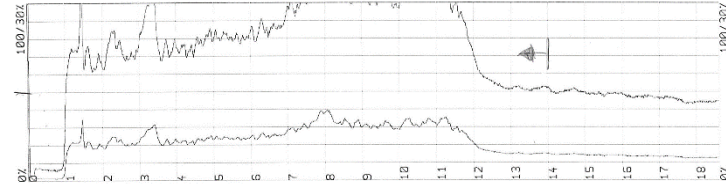
ER1- A2_2



ER2- A2_2



ER3- A2_2



**Anexo 2.2 – Edifício Rua Barão São Cosme,
memória de cálculo.**

Apresentam-se neste anexo os principais aspectos do dimensionamento e avaliação da segurança estrutural realizada aos elementos estruturais existentes e dos novos elementos que sejam necessários para garantir a integridade da estrutura do Edifício Rua Barão São Cosme.

No capítulo 4.2.4.1 do documento principal é descrita a geometria dos elementos estruturais, os materiais utilizados, as cargas actuantes e o enquadramento regulamentar. Como referido anteriormente, na avaliação da segurança estrutural foram consideradas as alterações definidas no projecto de arquitectura.

A avaliação e o dimensionamento estrutural foram auxiliados, sempre que necessário, por programas de cálculo automático de análise estrutural, fazendo a verificação aos Estados Limite Últimos (ELU) e Estados Limite de Serviço (ELS), considerando-se em particular o Estado Limite de Deformação e Estado Limite de Vibração para as estruturas em madeira de pavimento.

O Quadro 1 expõe a verificação de segurança dos elementos de madeira a manter no edifício (pavimentos e escadas).

Quadro 1 – Rácios (valores actuantes/valores resistentes) da avaliação de segurança dos elementos de madeira a manter.

Zona	Elemento	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Carregamento			Características e propriedades		E.L.U. Flexão (sem bamb.)		E.L.U. Com bamb.	E.L.U. Corte	E.L.U. Esmag. apoio	E.L.S. - Deformação				E.L.S. - Vibração	
				gk (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²)	Mãicça	b (mm)	h ou e (mm)	Rácio (G+Q)	Rácio (G)	Rácio	Rácio	Rácio	U _{inst} total (mm)	1º Critério u _{inst} EL/300	U _{in} total (mm)	2º Critério u _{in} EL/250	Frequência (Hz)	Rácio
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,05	2	D30	0	110	1,28	0,55		0,33	0,08	51,76	12,00	66,50	14,40	3,61	2,37
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,07	2	D30	0	120	1,01	0,34		0,28	0,07	36,89	12,00	47,48	14,40	4,26	1,67
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,09	2	D30	0	130	0,81	0,22		0,24	0,07	27,06	12,00	34,89	14,40	4,97	1,21
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,14	2	D30	0	150	0,55	0,10		0,18	0,06	15,62	12,00	20,22	14,40	6,50	0,68
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,54	2	D30	0	260	0,12	0,00		0,07	0,04	2,06	12,00	2,74	14,40	17,39	0,08
Piso 0	Vigas de pav.	3,7	0,55	0,98	2	C18	80	220	0,47	0,07	0,47	0,45	0,15	6,60	12,33	8,44	14,80	10,42	0,29
Piso 1	Vigas de pav.	5,75	0,6	0,95	2	C18	70	210	1,55	0,30	1,78	0,92	0,26	52,94	19,17	67,49	23,00	3,64	2,25
Piso 1	Vigas de pav.	5,75	0,6	1,55	2	C18	135	220	0,87	0,08	0,87	0,54	0,29	28,73	19,17	38,19	23,00	4,52	1,01
Piso 2	Vigas de pav.	5,75	0,5	0,98	2	C18	75	220	1,11	0,18	1,23	0,69	0,21	36,27	19,17	46,36	23,00	4,38	1,73
Piso 2	Vigas de pav.	3	0,5	2,83	2	C18	75	220	0,48	0,08	0,48	0,56	0,17	4,61	10,00	6,46	12,00	10,52	0,16
Piso 2	Vigas de pav.	3	0,5	0,94	2	C18	80	130	0,78	0,34	0,78	0,56	0,18	12,10	10,00	15,41	12,00	7,67	0,75
Esc. Piso0-1	Perna	3	0,5	0,97	3	C18	75	200	0,38	0,08	0,38	0,41	0,12	3,81	10,00	4,72	12,00	13,07	0,22
Esc. Piso0-1	Perna	3	0,5	0,93	3	C18	75	130	0,86	0,40	0,86	0,62	0,19	13,23	10,00	16,33	12,00	6,94	0,80

É possível observar que alguns elementos não verificam a segurança, e que na globalidade não são satisfeitos os limites do ELS, por isso foi necessário dimensionar elementos de reforço que se apresentam em seguida, no Quadro 2, os rácios de segurança resultantes do dimensionamento dos novos elementos de reforço/substituição.

Salienta-se que a estratégia de reforço adoptada nos pavimentos concretiza-se pela fixação lateral de novas peças de madeira às antigas, com recurso a parafusos roscados.

Quadro 2 – Rácios (valores actuantes/valores resistentes) do dimensionamento para elementos de madeira.

Zona		Elemento		Vão (m)		Espacamento vigas (m)		Carregamento		Características e propriedades			E.L.U. Flexão (sem bamb.)		E.L.U. Com bamb.	E.L.U. Corte	E.L.U. Esmag. apoio	E.L.S. - Deformação				E.L.S. - Vibração	
								gk (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²)	Matéria	b (mm)	h ou ø (mm)	Rácio (G+Q)	Rácio (G)	Rácio	Rácio	Rácio	U _{inst total} (mm)	1º Critério u _{instEI/300}	u _{in total} (mm)	2º Critério u _{finEI/250}	Frequência (Hz)	Rácio
Soluções de Reforço Pavimentos																							
Piso 1	Existente	5,75	0,3	1,04	2	C18	70	210	0,80	0,16	0,91	0,47	0,13	18,29	19,17	22,06	23,00	8,98	0,93				
Piso 1	Reforço	5,75	0,3	1,08	2	C18	80	220	0,64	0,10	0,68	0,40	0,13	18,05	19,17	19,13	23,00	9,64	0,82				
Piso 1	Existente	5,75	0,3	1,23	2	C18	135	220	0,40	0,04	0,40	0,25	0,13	13,09	19,17	17,05	23,00	8,99	0,96				
Piso 1	Reforço	5,75	0,3	1,30	2	C18	160	220	0,34	0,03	0,34	0,21	0,14	11,27	19,17	14,76	23,00	8,75	0,81				
Soluções de Novos Elementos																							
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,00	2	C18		160	0,72	0,18		0,23	0,20	11,34	12,00	13,43	14,40	8,87	0,59				
Piso 0	Vigas de pav.	3,6	0,55	1,07	2	C18		200	0,38	0,05		0,15	0,16	5,48	12,00	7,06	14,40	11,21	0,24				
Piso 2	Vigas de pav.	3	0,3	1,02	2	C18	80	160	0,33	0,10	0,33	0,28	0,09	4,06	10,00	5,21	12,00	13,13	0,40				
Esc. Piso0-1	Perna	3	0,25	1,12	3	C18	80	220	0,24	0,04	0,24	0,23	0,08	2,84	10,00	4,26	12,00	21,04					

Para o cálculo estrutural dos esforços instalados nos elementos das coberturas Cob1 e Cob2, nomeadamente asnas, madres, cumeeira e rincão, recorreu-se a modelos numéricos de cálculo automático, como ilustra a Figura 1 e Figura 2 respectivamente.

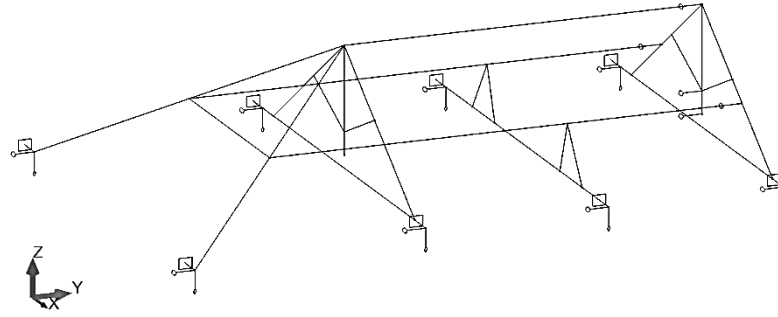


Figura 1 – Ilustração do modelo numérico dos elementos da cobertura Cob1.

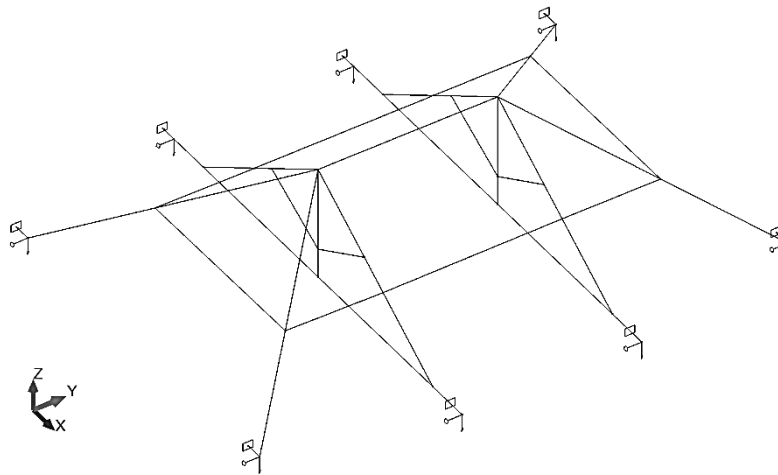
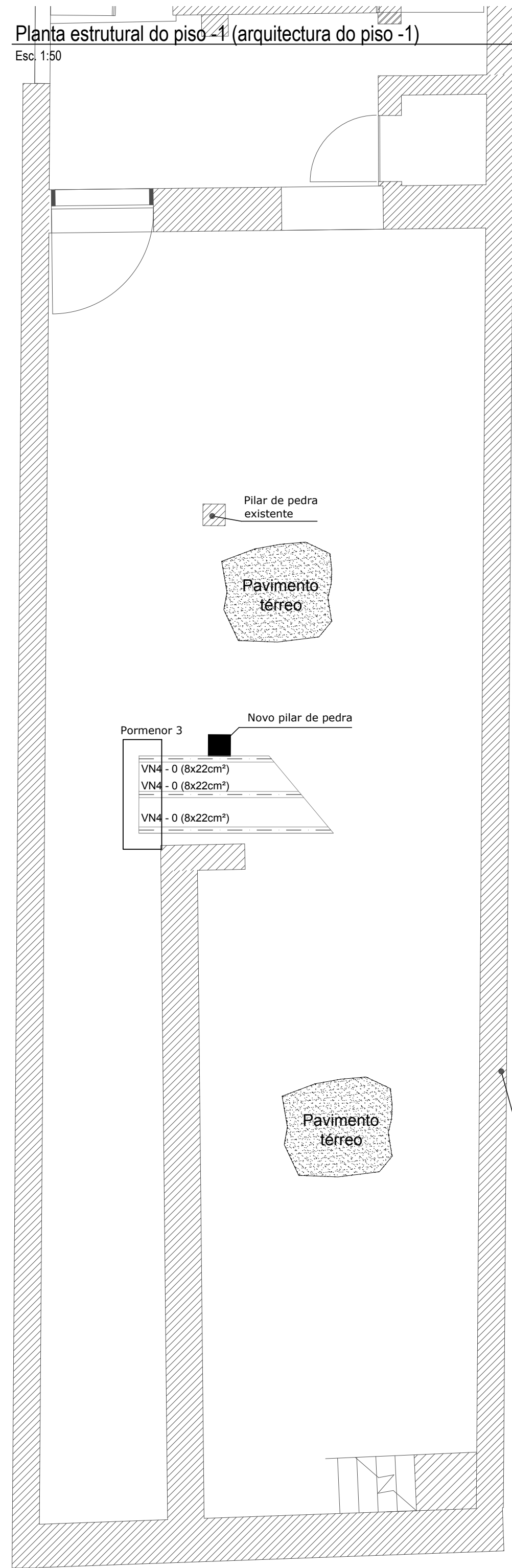


Figura 2 – Ilustração do modelo numérico dos elementos da cobertura Cob2.

**Anexo 2.3 – Edifício Rua Barão São Cosme,
peças desenhadas.**

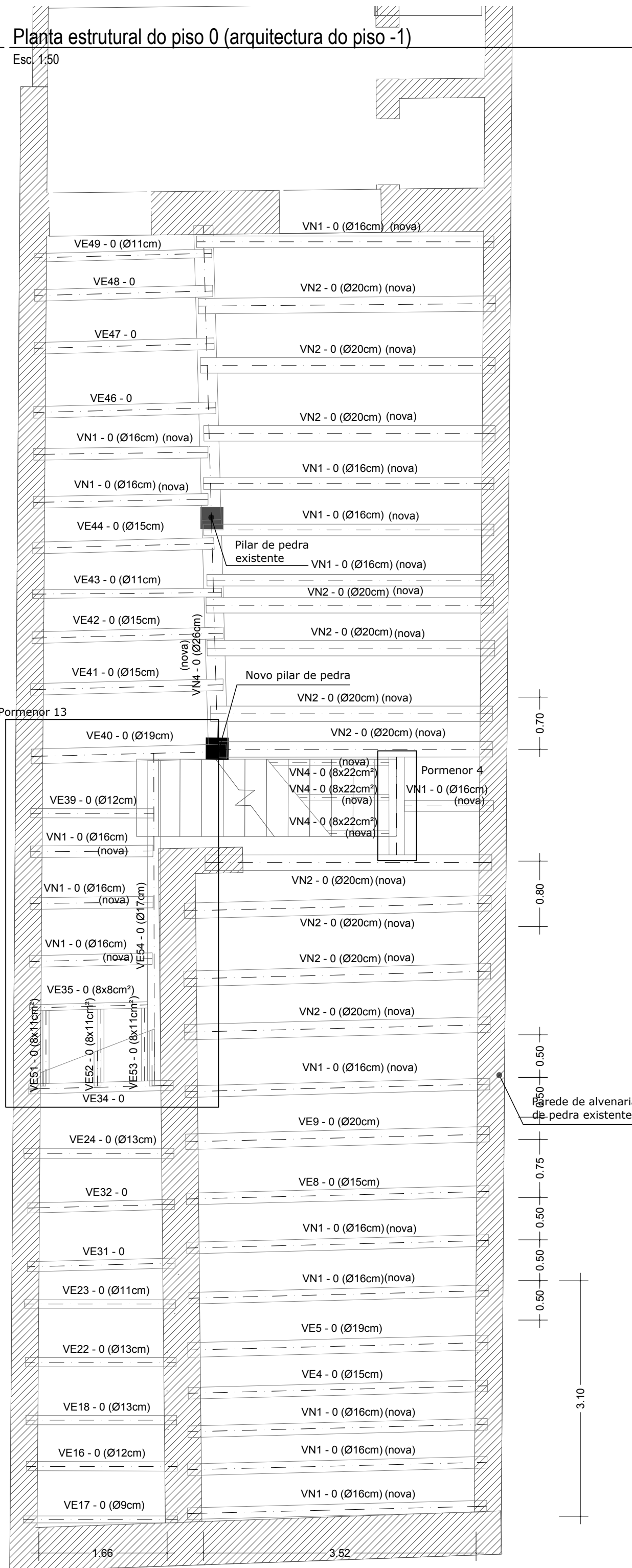
Planta estrutural do piso -1 (arquitectura do piso -1)

Esc. 1:50



Planta estrutural do piso 0 (arquitectura do piso -1)

Esc. 1:50



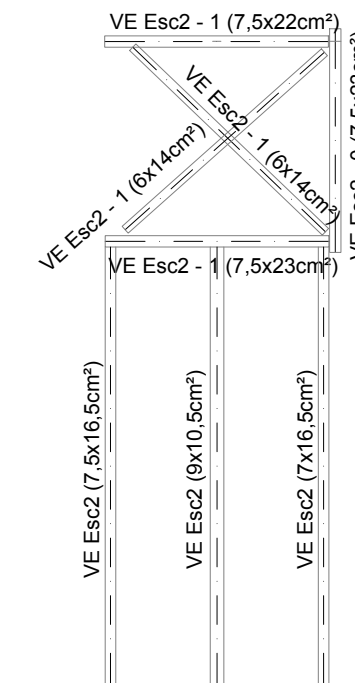
Nível de corte das plantas estruturais
Sem escala

Nível de corte das plantas estruturais
Sem escala



Pormenor 13 - Escada de acesso do piso 0 ao piso 1

1:50



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	GL24h (Lamelada colada)

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS		
AÇOS	ESQUEMAS DE PINTURA	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5
Parafusos	DIN 931 - 6.8	PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 - Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ - Camada de tinta anti-fogo - Acabamento em poliuretano - 125 µ
Porcas	DIN 934 - 8	
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	
Chumbadouros (em geral)	S355J0	
Varões Roscados	Aço da Classe 6.8	NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.

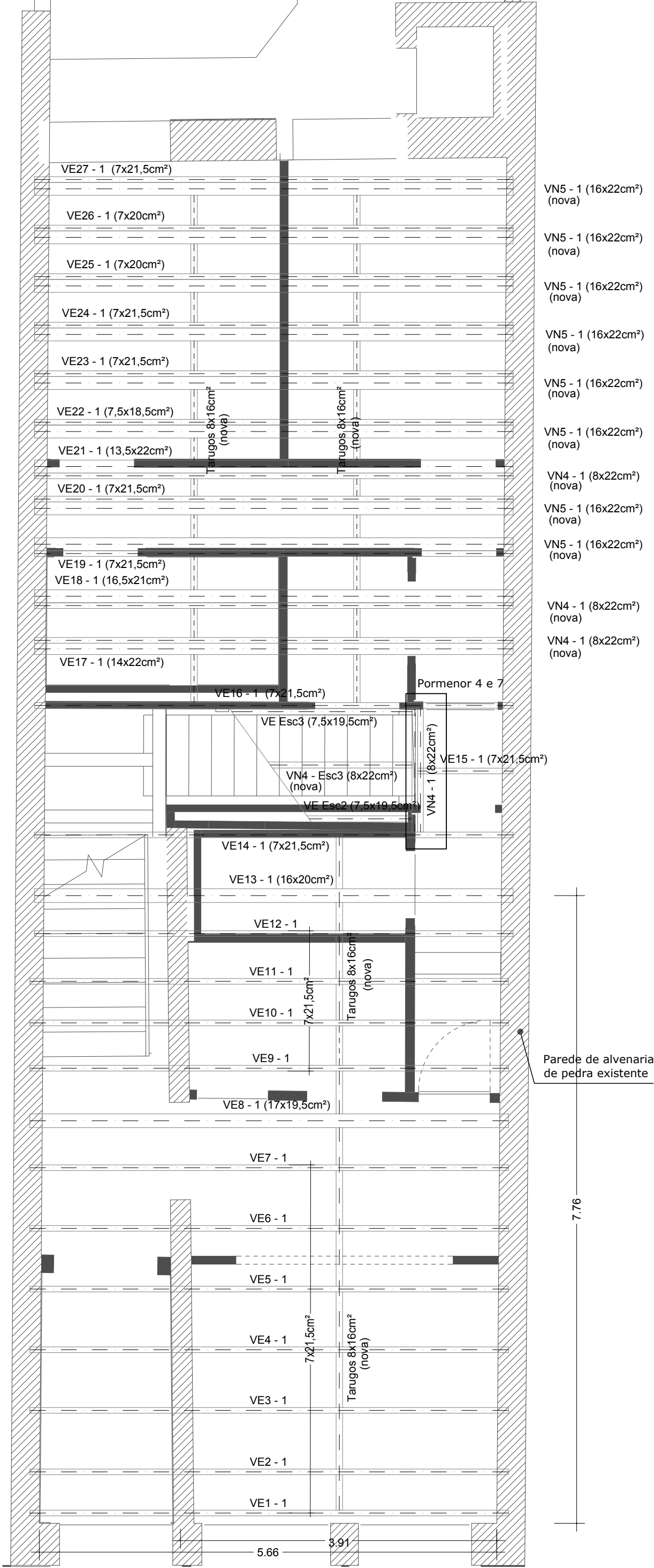
NOTAS GERAIS	
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.	
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.	

Obras	Edifício Rua Barão São Cosme, Porto	Data	03/2014	Escala	1:50
Designação	Plantas estruturais dos pisos -1 e 0	Processo	N_172_A1213	Capítulo	000
Projecto	TI, BQ, FO, FC	desenho	TI, BQ, FO, FC	Fase	EXE
Aprovou	JMG	Verificou		Desenho nº	01
				Rev. nº	00



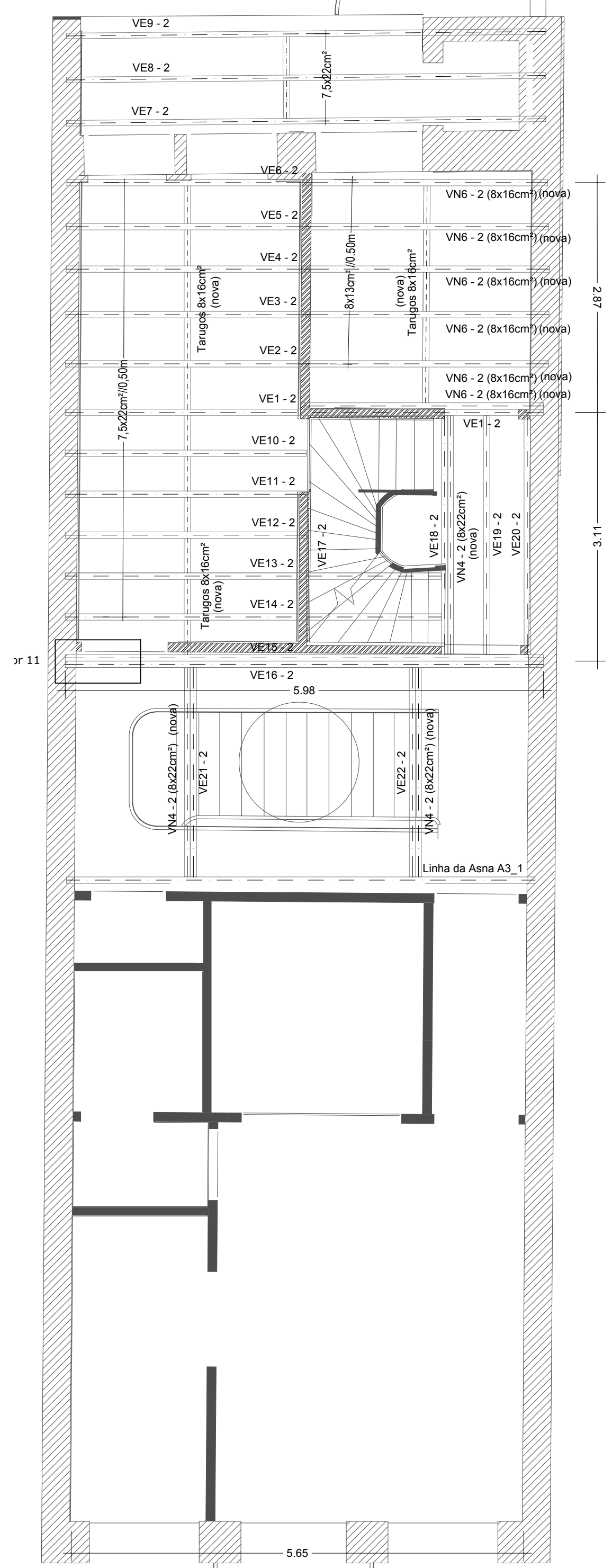
Planta estrutural do piso 1 (arquitectura do piso 0)

Esc. 1:50



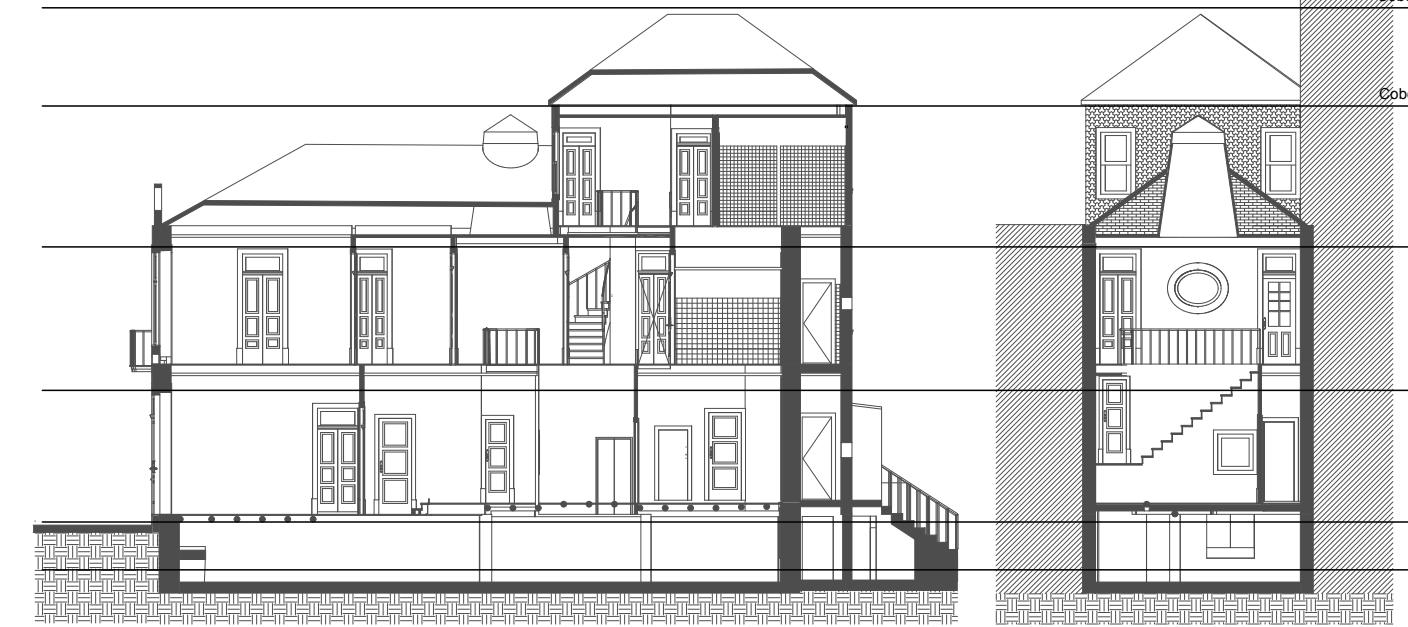
Planta estrutural do piso 2 (arquitectura do piso 1)

Esc. 1:50



Nível de corte das plantas estruturais
Sem escala

Nível de corte das plantas estruturais
Sem escala



Legenda:

Paredes de tabique a reforçar com placas OSB em ambas as faces.

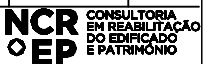
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)
Armaduras	A500

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	GL24h (Lamelada colada)

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS		
AÇOS		ESQUEMAS DE PINTURA
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5 - Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ - Camada de tinta anti-fogo - Acabamento em poliuretano - 125 µ NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.
Parafusos	DIN 931 - 6.8	
Porcas	DIN 934 - 8	
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	
Chumbadouros (em geral)	S355J0	
Varões Roscados	Aço da Classe 6.8	

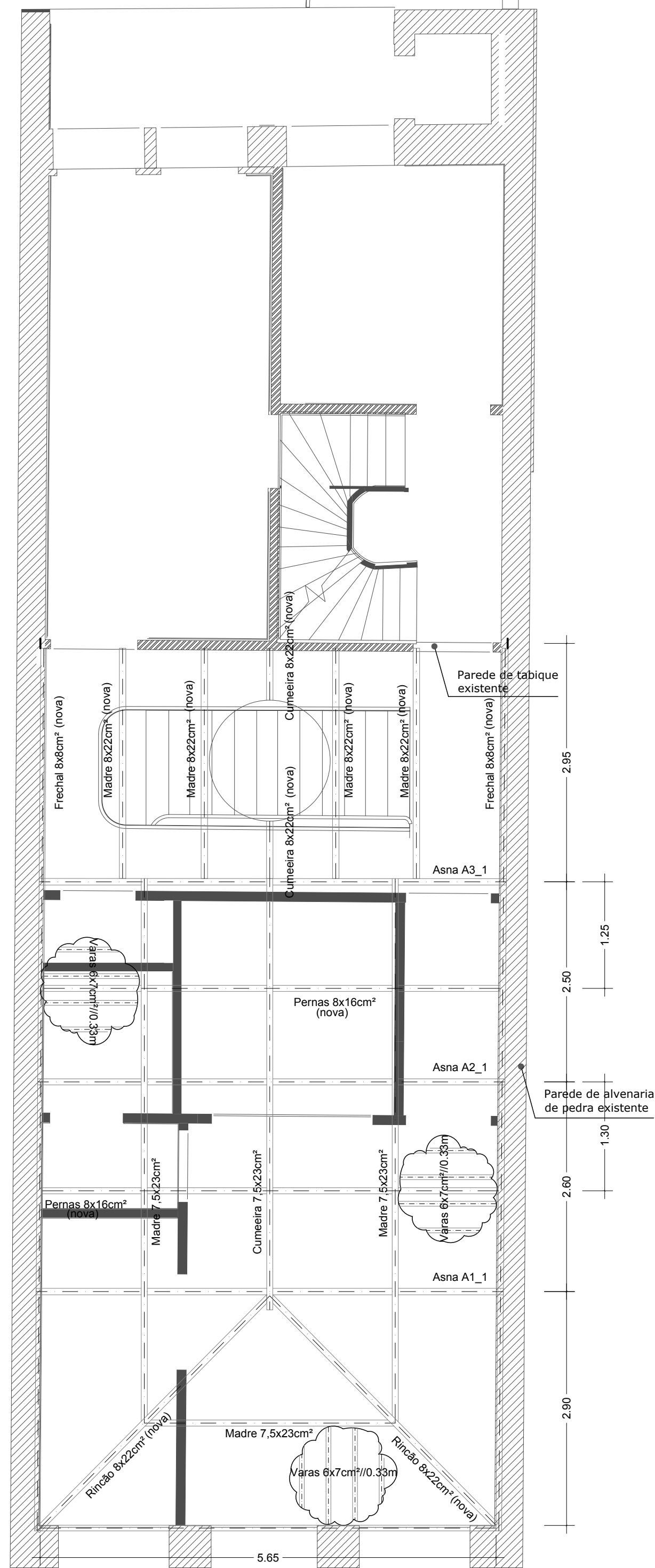
NOTAS GERAIS	
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades. - Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.	

Obras	Edifício Rua Barão São Cosme, Porto	Data	03/2014	Escala	1:50
Designação	Plantas estruturais dos pisos 1 e 2	Processo	N_172_A1213	Capítulo	000
Projectista	TI, BQ, FO, FC	Desenhado	TI, BQ, FO, FC	Fase	EXE
		Aprovado	JMG	Revisão nº	02
		Verificado		Rev. nº	00



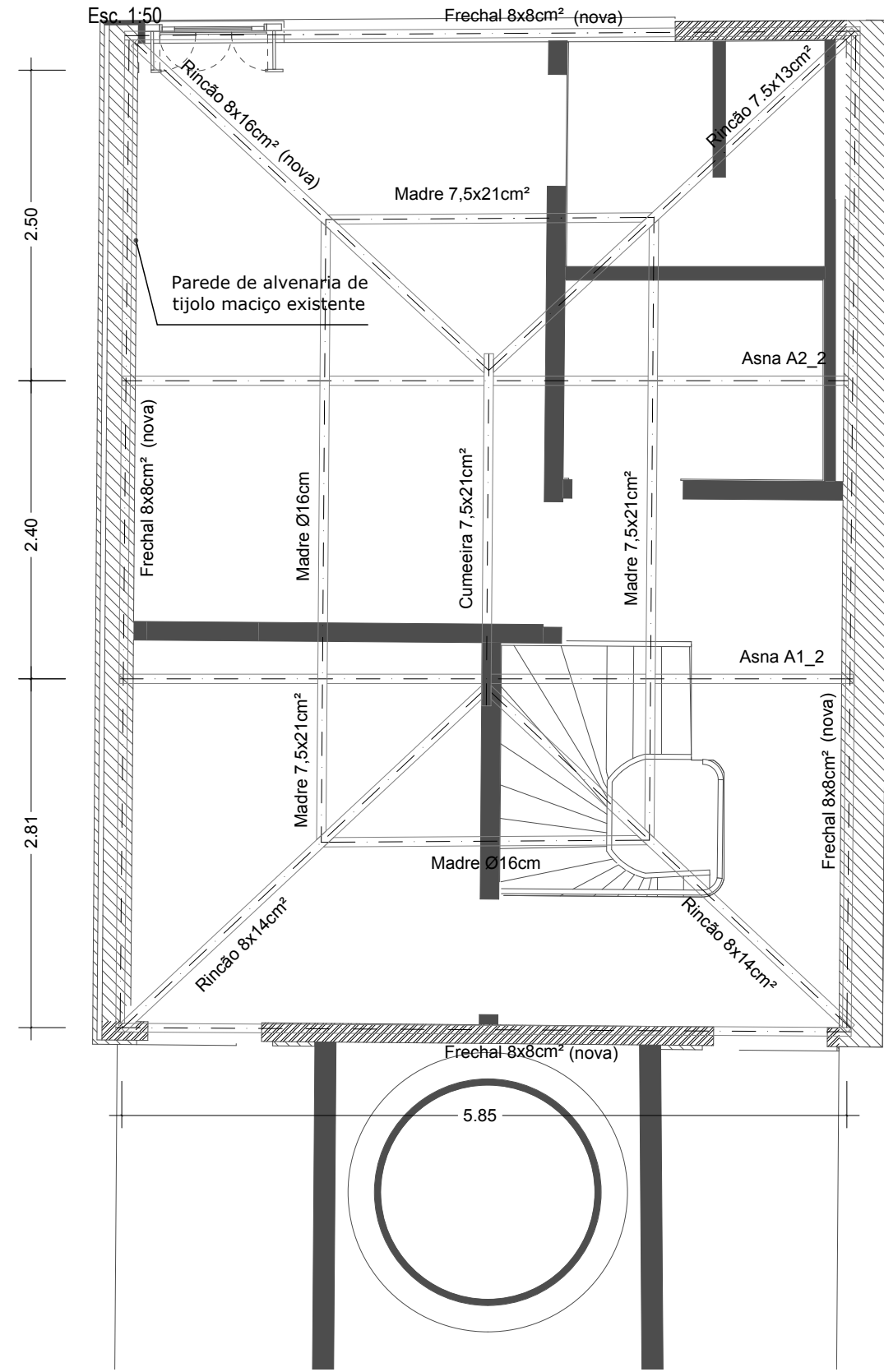
Planta estrutural da cobertura 1 (arquitectura do piso 1)

Esc. 1:50



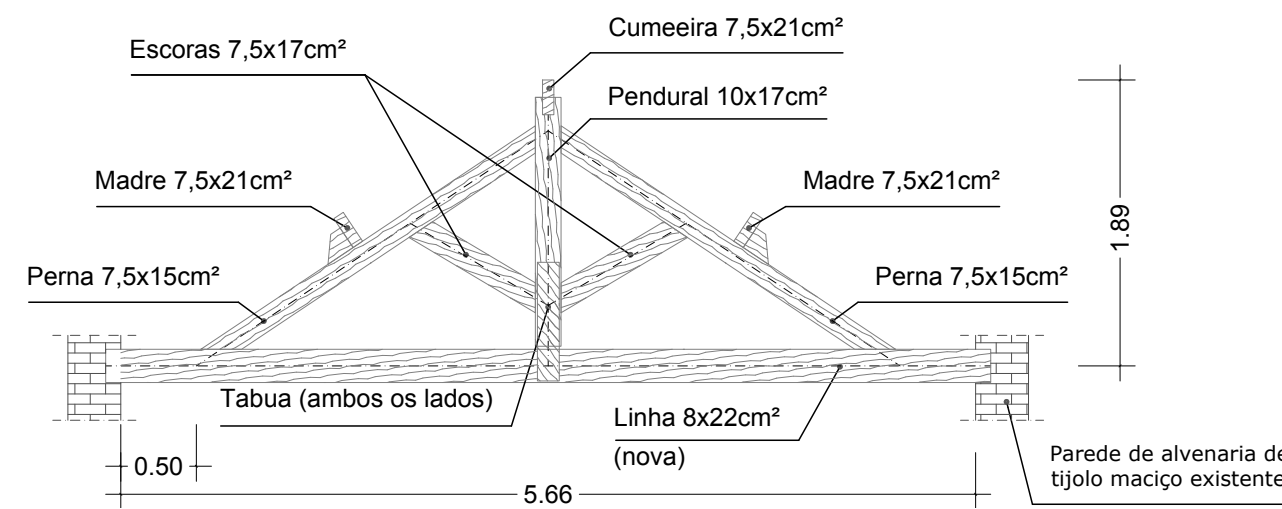
Planta estrutural da cobertura 2 (arquitectura do piso 2)

Esc. 1:50



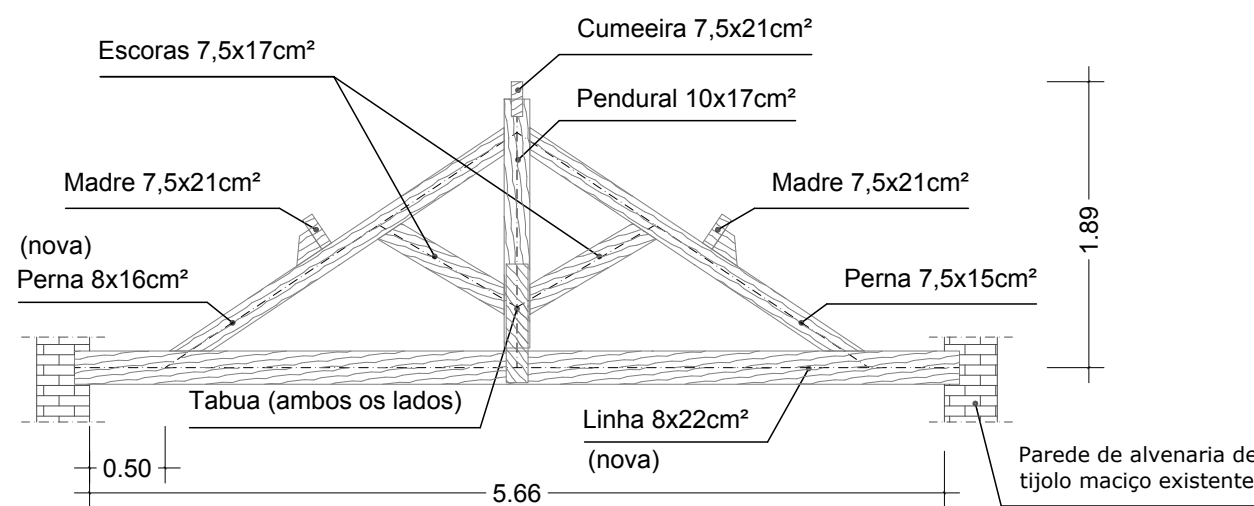
Asna A1-2

1:50



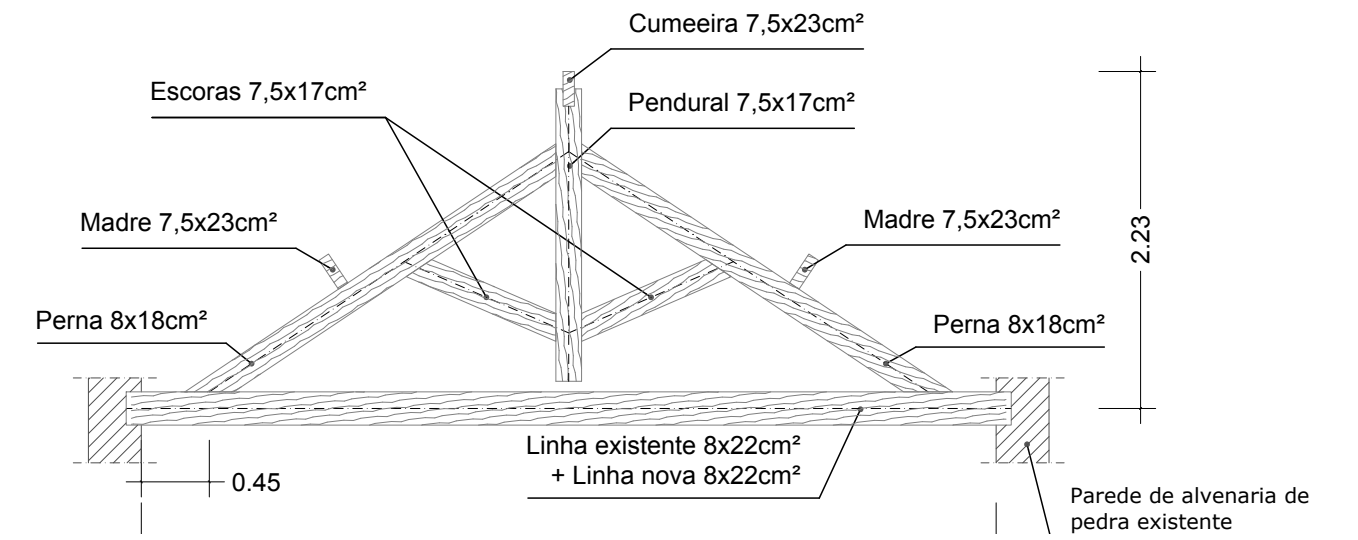
Asna A2-2

1:50



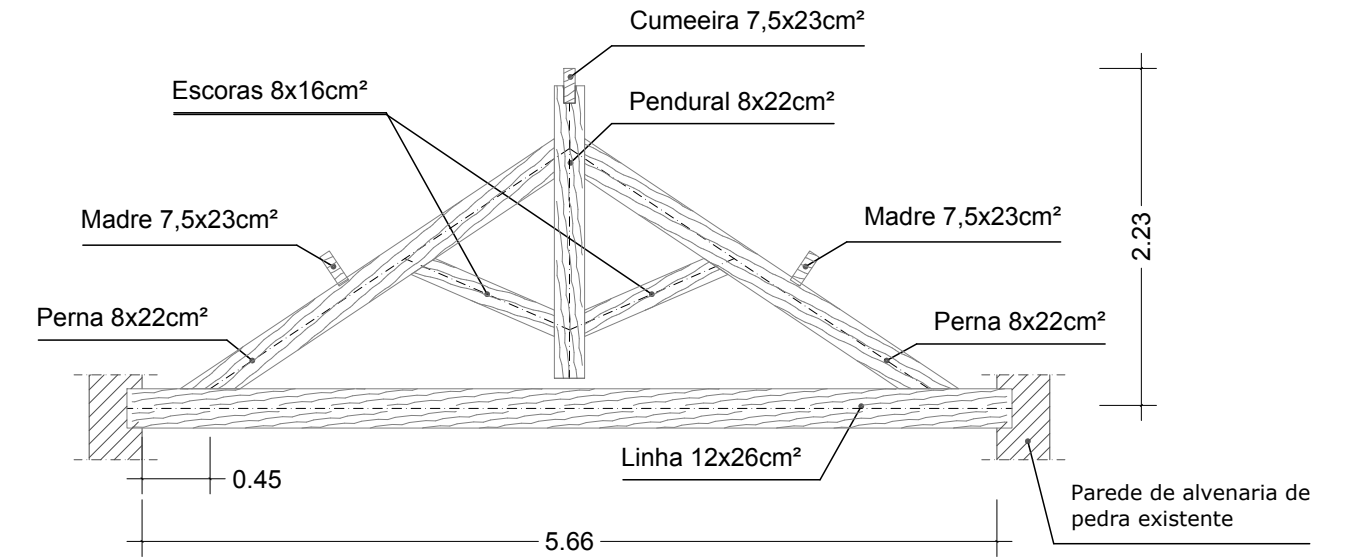
Asna A1-1

1:50



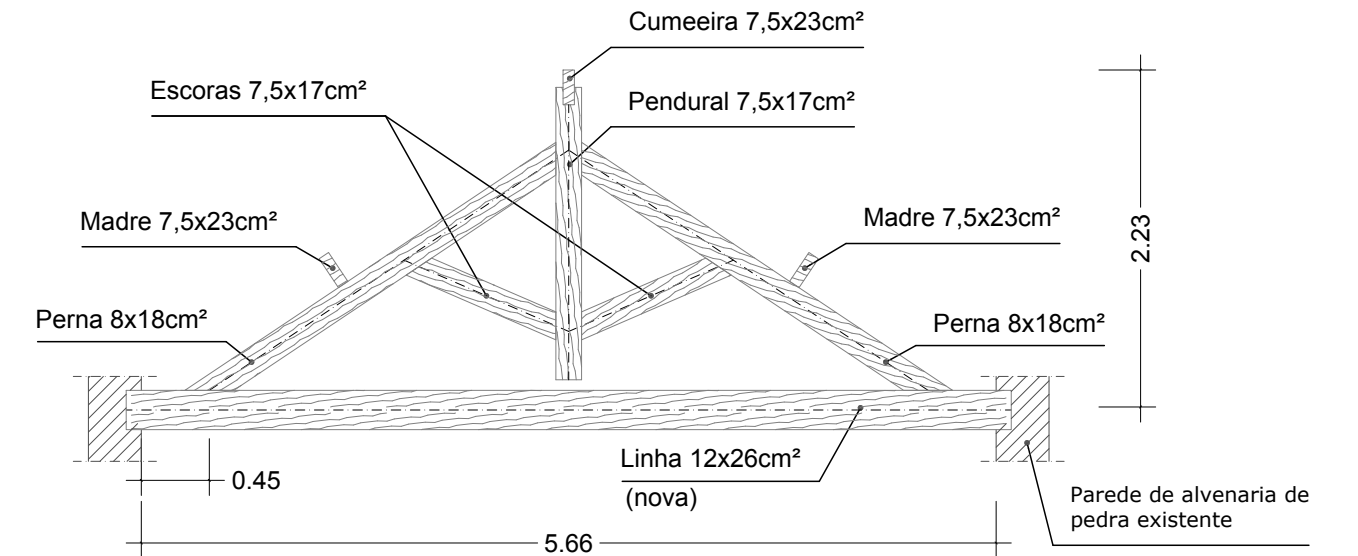
Asna A2-1 (Nova)

1:50



Asna A3-1

1:50



Legenda:

▨ Paredes de tabique a reforçar com placas OSB em ambas as faces.

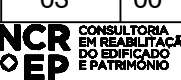
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular GL24h (Lamelada colada)

NOTAS GERAIS

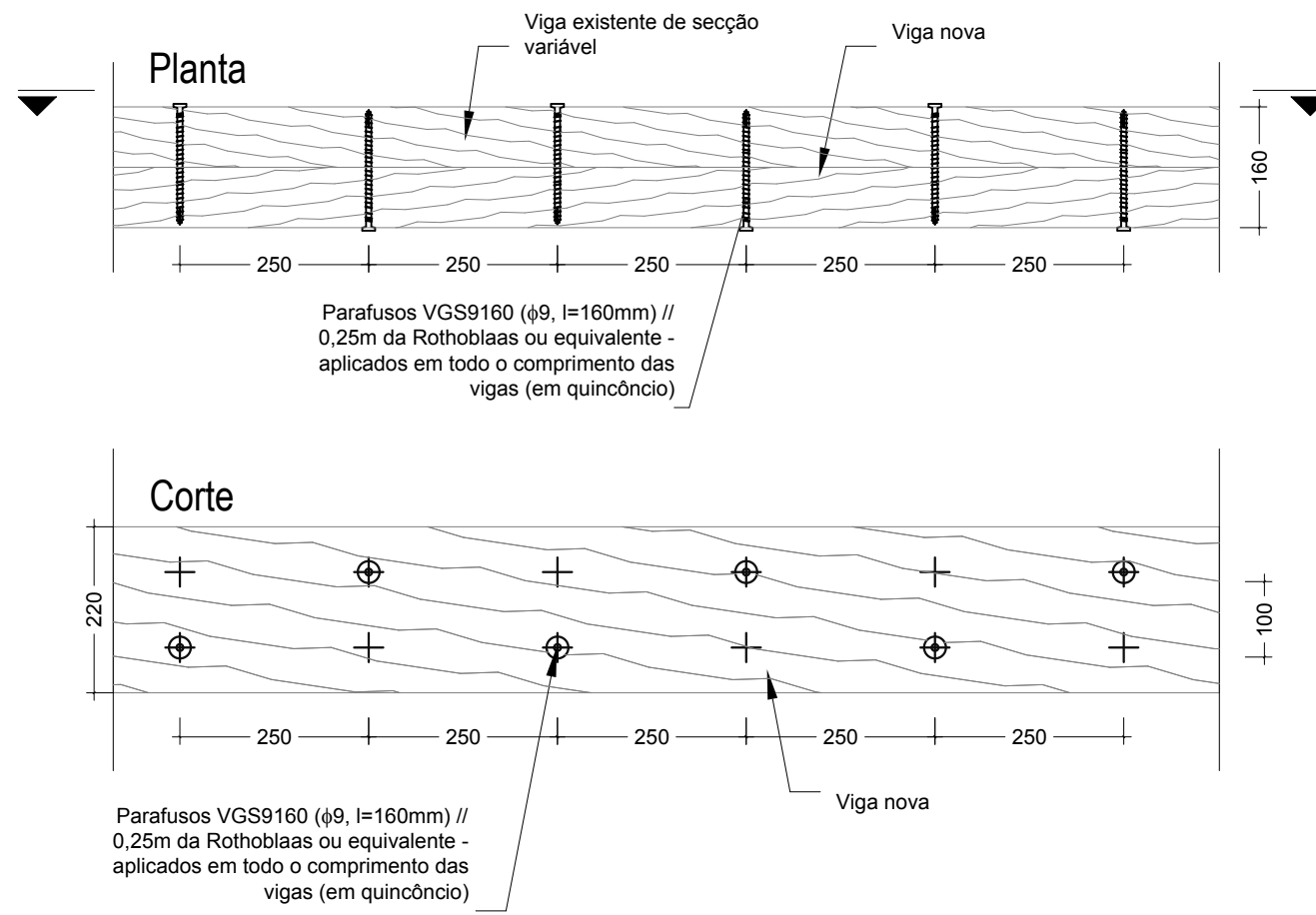
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

Obras	Edifício Rua Barão São Cosme, Porto	Data	03/2014	Escala	1:50
Designação	Plantas estruturais das coberturas Cob1 e Cob2 e alçados das asnas	Processo	N_172_A1213	Capítulo	000
Projecto	TI, BQ, FO, FC	desenhado	TI, BQ, FO, FC	Aprouv	JMG
Verificou					



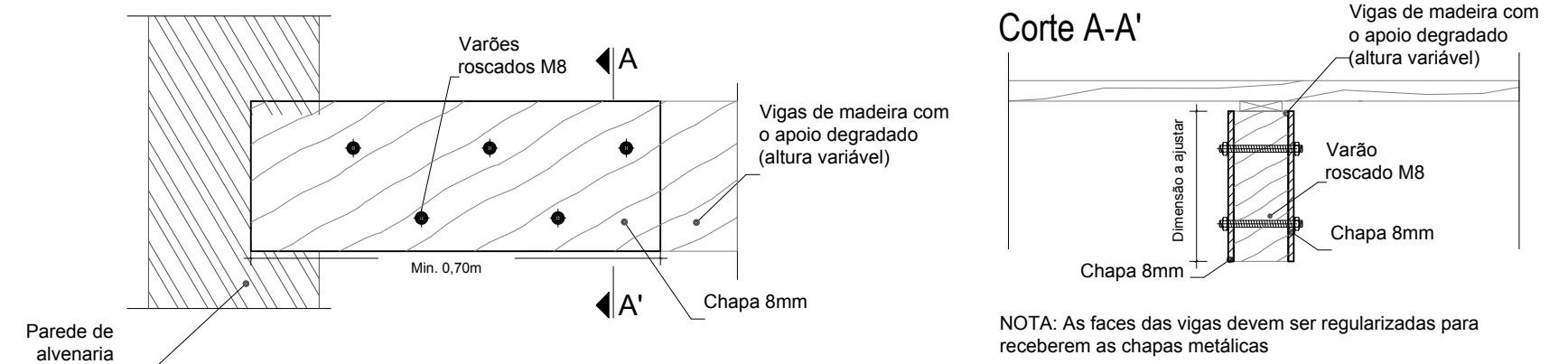
Pormenor 7 - Ligação lateral entre vigas existentes e vigas novas

Esc. 1:10



Pormenor 11 - Reforço de apoio das vigas de suporte da clarabóia

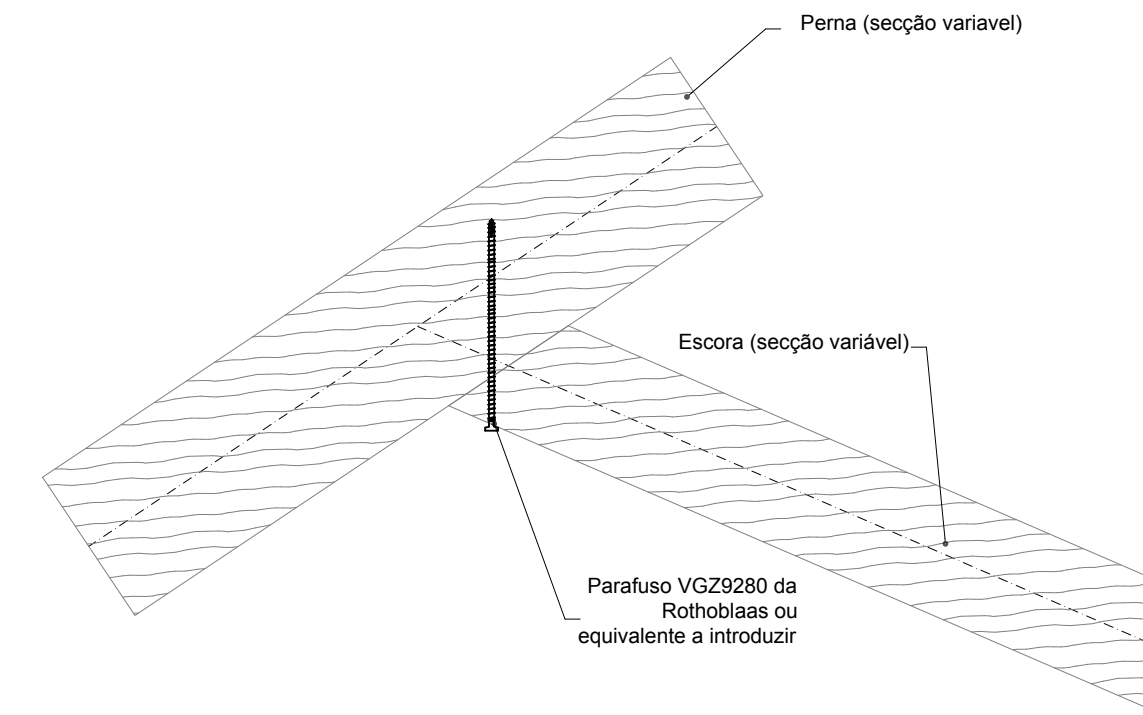
Esc. 1:10



NOTA: As faces das vigas devem ser regularizadas para receberem as chapas metálicas

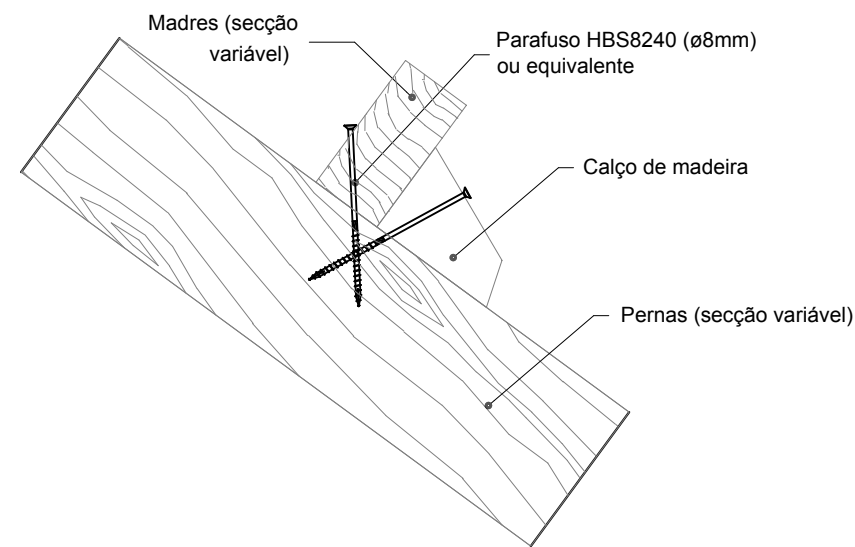
Pormenor 10 - Ligação entre escora e perna

Esc. 1:10



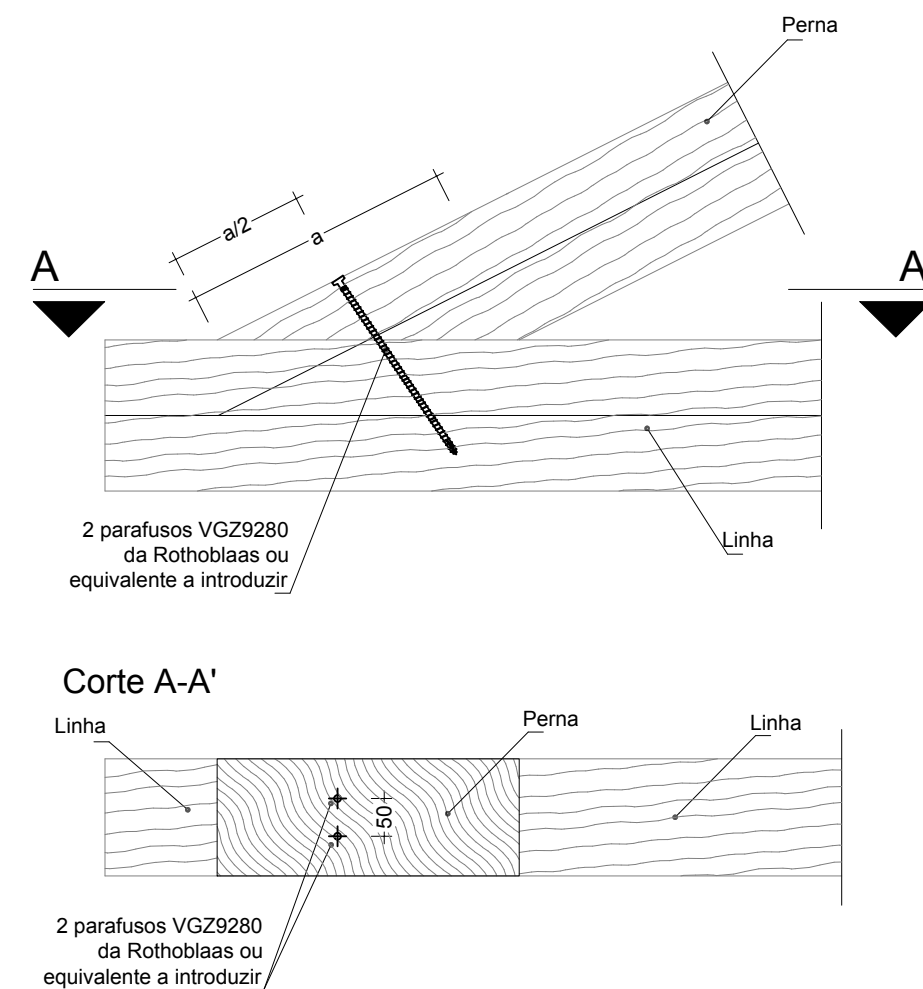
Pormenor 8 - Fixação das madres às pernas das asnas

Esc. 1:10



Pormenor 9 - Ligação entre perna e linha da nova asna

Esc. 1:10



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO			
Novos elementos estruturais de betão armado	C25/30 - XC2 (Betão limpeza C12/15)		
Armaduras	A500		
MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA			
Novos elementos estruturais de madeira - secção rectangular	GL24h (Lamelada colada)		
MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS			
AÇOS		ESQUEMAS DE PINTURA	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)	ELEMENTOS METÁLICOS EM CONTACTO COM O BETÃO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	
Parafusos	DIN 931 - 6.8	PINTURA DE PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	
Porcas	DIN 934 - 8	- Camada de Primário anti corrosivo epoxy de Zinco - 60 µ	
Anilhas	DIN126/DIN434 - Aço	- Camada de tinta anti-fogo	
Chumbadouros (em geral)	S355J0	- Acabamento em poliuretano - 125 µ	
Varões Roscados	Aço da Classe 6.8	NOTA: A espessura da camada de tinta anti-fogo será definida de modo a garantir a protecção ao fogo requerida na zona em causa, devendo o Empreiteiro submeter a mesma à aprovação da Fiscalização.	
NOTAS GERAIS			
- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.			
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.			

Obras	Edifício Rua Barão São Cosme, Porto	Data	03/2014	Escala	Várias
Designação	Pormenores estruturais	Processo	N_172_A1213	Capítulo	000
Projecto	TI, BQ, FO, FC	desenhou	TI, BQ, FO, FC	Aprovou	JMG
Verificou					
Rev. nº		Desenho nº	05	Rev. nº	00

