INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL






Inspecção, diagnóstico e reabilitação estrutural. Casos de estudo

TIAGO GABRIEL DA COSTA CAMPELO
julho de 2017

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

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

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

isep

Inspecção, diagnóstico e reabilitação estrutural. Casos de estudo

TIAGO GABRIEL DA COSTA CAMPELO
Julho de 2017

POLITÉCNICO DO PORTO

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

isep






Inspecção, diagnóstico e reabilitação estrutural. Casos de estudo

TIAGO GABRIEL DA COSTA CAMPELO
Julho de 2017

INSPECÇÃO, DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO ESTRUTURAL. CASOS DE ESTUDO

TIAGO GABRIEL COSTA CAMPELO

Relatório de Estágio submetida(o) para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS

Orientador: Prof. Alexandre Aníbal Meira Guimarães da Costa

Coorientador: Eng.º Tiago Ilharco de Moura de Pinho Dias (NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.)

JULHO DE 2017

ÍNDICE GERAL

Índice Geral iii

Resumo v

Abstract vii

Agradecimentos ix

Índice de Texto xi

Índice de Figuras xv

Índice de Tabelas xxi

Capítulo 1 Introdução 1

Capítulo 2 Apresentação do estágio 5

Capítulo 3 Inspecção, diagnóstico e intervenção na reabilitação 9

Capítulo 4 O Museu – Caso de estudo I 29

Capítulo 5 Armazéns Vinícolas – Caso de estudo II 91

Capítulo 6 Desenvolvimento de ferramentas de cálculo e optimização 133

Capítulo 7 Conclusões 153

Referências Bibliográficas 157

Anexo I – Museu 161

Anexo II – Armazéns Vinícolas 175

Anexo III – Código em VBA 203

RESUMO

O presente documento apresenta um resumo das actividades desenvolvidas durante o período estágio curricular na empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda., e tem como objectivo, transmitir o conhecimento e experiência adquirida ao longo do estágio.

É abordado o tema da inspecção, diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios, destacando a importância de uma análise mais profunda dos edifícios, onde a inspecção e o diagnóstico emergem como ferramentas essenciais na intervenção final. O trabalho desenvolvido teve como base dois casos de estudo desenvolvidos ao longo do período de estágio, nomeadamente um museu e dois armazéns vinícolas. Para o caso de estudo do museu é realizada uma descrição do edifício, caracterização estrutural, os danos observados e possíveis causas para a sua ocorrência. A campanha de inspecção realizada foi acompanhada por ensaios *in situ* que posteriormente foram analisados e alvo de comentários. O caso de estudo do museu contém ainda uma organização cronológica das intervenções realizadas que permitiu datar a idade dos elementos estruturais existentes no edifício assim como danos que ainda perduram. Foi realizada também a modelação numérica e avaliação de segurança estrutural para acções verticais e horizontais do edifício do museu.

O caso de estudo dos armazéns vinícolas abrange a componente de inspecção e diagnóstico às coberturas de dois armazéns e estende-se até à fase de projecto de reforço estrutural. Foi realizada uma caracterização estrutural, apresentação das anomalias observadas e avaliação do estado de conservação complementada com a realização de ensaios *in situ*. Por último é realizada uma avaliação de segurança e avaliada a necessidade de intervenção, sendo ainda sugeridas as principais medidas de intervenção global que se consideram importantes realizar, bem como o respectivo dimensionamento, mediante as conclusões retiradas da inspecção.

Por último, apresentam-se trabalhos desenvolvidos internamente para optimização de processos e cálculo, como a criação de uma macro de repetição de tarefas para organização dos ensaios realizados com *Resistograph*®. Além deste desenvolvimento, foi criada também uma folha de cálculo para o cálculo do reforço de pavimentos existentes em madeira recorrendo a peças de madeira.

Palavras-chave: Reabilitação Estrutural, Inspecção, Diagnóstico, Estruturas de Madeira.

ABSTRACT

This document provides a summary of the activities developed during the internship at NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda., and it aims to share the knowledge and experience acquired during the internship.

It addresses the subject of inspection, diagnosis and intervention on rehabilitation of buildings, highlighting the importance of a deeper analysis of buildings, where inspection and diagnosis emerge as essential tools in the final intervention.

The work presented in this document was based, mainly, in two case studies developed during the internship, namely a museum and two wineries. For the case study of the museum a general description is carried out, as well as a structural characterization and subsequently the damages observed and the possible causes for its occurrence. The inspection carried out was followed by in situ tests, which were then analyzed. In this case study, there was also a chronological organization of the interventions, which allowed to date the age of the structural elements that existed in the building, as well as damage that still endures. In addition to the inspection, a numerical analysis for vertical and horizontal loads was made. The museum's case study was fundamentally oriented to the field of Inspection and Diagnosis of structures.

The case study of the wineries includes the component of inspection and diagnosis of two warehouses, and extends to the rehabilitation design project. A structural characterization was performed, as well as a presentation of the observed anomalies and the evaluation of conservation state. Finally, a safety assessment is carried out. Some suggestions about the most important global interventions and their corresponding design are also made, based on the conclusions obtained from the inspection and diagnosis phase.

At last, some internally works for the purpose of process optimization and calculation are presented, such as creation of a program that organizes the results obtained from *Resistograph*®. Furthermore, a spreadsheet was also created to calculate the strengthening of existing timber floors, using other timber elements.

Keywords: Structural Rehabilitation, Inspection, Diagnosis, Timber Structures.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Alexandre Costa, orientador do estágio, o meu humilde e sincero agradecimento pelo tempo despendido no acompanhamento do estágio, empenho, exigência, rigor e conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro Tiago Ilharco, co-orientador do estágio, agradeço a disponibilidade e conhecimento transmitido.

À equipa do NCREP, Eng.º Bruno Quelhas, Eng.º Fábio Oliveira, Eng.º Filipe Coelho, Eng.º João Miranda Guedes, Eng.º João Almeida, Eng.º Jorge Soares, Eng.º Luís Ferreira, Eng.ª Raquel Varela e Eng.º Valter Lopes, pela forma como me integraram, pela disponibilidade, auxílio e experiência transmitida.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1 Introdução 1

1.1 Enquadramento 1

1.2 Motivação e objectivos 1

1.3 Organização do relatório 2

CAPÍTULO 2 Apresentação do estágio 5

2.1 Apresentação da empresa 5

2.2 Apresentação dos trabalhos desenvolvidos 5

CAPÍTULO 3 Inspecção, diagnóstico e intervenção na reabilitação 9

3.1 Introdução 9

3.2 Inspecção 10

3.3 Diagnóstico 11

3.3.1 Ensaios *in situ* 11

3.3.2 Análise e diagnóstico 15

3.3.2.1 Introdução 15

3.3.2.2 Propriedades dos materiais 16

3.3.2.3 Avaliação de segurança das estruturas de madeira 19

3.3.2.4 Quantificação e combinação das acções 26

3.4 Intervenção 27

CAPÍTULO 4 O Museu – Caso de estudo I 29

4.1 Introdução 29

4.2 Descrição geral 29

4.3 Pesquisa histórica 32

4.4 Sistema estrutural 37
4.4.1 Estruturas do piso térreo 37
4.4.2 Estruturas do piso 1 39
4.4.3 Estrutura da cobertura 40
4.5 Realização de ensaios in-situ 48
4.6 Danos observados 51
4.6.1 Introdução 51
4.6.2 Presença de humidade 52
4.6.3 Abertura de juntas e incompatibilidade com argamassa 53
4.6.4 Deformação fora-do-plano 54
4.6.5 Danos estruturais observados nos elementos estruturais de betão 55
4.6.6 Danos estruturais observados nos elementos estruturais de madeira 58
4.6.6.1 Pavimentos 58
4.6.6.2 Cobertura 58
4.6.6.3 Ensaios realizados em elementos estruturais de madeira 61
4.7 Modelação numérica 72
4.7.1 Desenvolvimento do modelo 72
4.7.2 Tensões nos elementos estruturais 76
4.7.3 Avaliação sísmica 82
CAPÍTULO 5 Armazéns Vinícolas – Caso de estudo II 91
5.1 Introdução 91
5.2 Realização de ensaios in-situ 92
5.3 Armazém 12 92
5.3.1 Caracterização dos elementos estruturais 92
5.3.2 Danos estruturais 95
5.3.2.1 Introdução 95
5.3.2.2 Danos observados em elementos estruturais de madeira 96

5.3.2.3 Danos observados em elementos metálicos 98
5.3.3 Avaliação dos indicadores do estado de conservação 98
5.3.4 Avaliação de segurança estrutural 99
5.3.4.1 Quantificação de acções 100
5.3.4.2 Avaliação de segurança das estruturas de madeira 100
5.3.5 Sugestão de medidas de intervenção 104
5.3.5.1 Introdução 104
5.3.5.2 Proposta de intervenção 104
5.3.6 Projecto de execução e estabilidade 106
5.4 Armazém 14 117
5.4.1 Caracterização dos elementos estruturais 117
5.4.2 Danos estruturais 119
5.4.2.1 Introdução 119
5.4.3 Avaliação dos indicadores do estado de conservação 122
5.4.4 Avaliação de segurança estrutural 122
5.4.4.1 Quantificação de acções 123
5.4.4.2 Avaliação de segurança das estruturas de madeira 123
5.4.5 Sugestão de medidas de intervenção 126
5.4.5.1 Introdução 126
5.4.5.2 Proposta de intervenção 127
5.4.6 Projecto de execução e estabilidade 128
CAPÍTULO 6 Desenvolvimento de ferramentas de cálculo e optimização 133
6.1 Introdução 133
6.2 Processo de organização dos ensaios *Resistograph®*, ... 134
6.3 Folha de cálculo para verificação de segurança de pavimentos reforçados 138
6.3.1 Fundamentação teórica 138
6.3.1.1 Verificação aos estados-limite últimos de resistência 139

6.3.1.2 Verificação aos estados-limite de serviço 140

6.3.2 Validação da folha desenvolvida 144

6.3.3 Pressupostos de utilização 151

CAPÍTULO 7 Conclusões 153

7.1 Principais resultados obtidos 153

7.2 Desenvolvimentos Futuros 154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - O Museu (Foto: NCREP,2017a). 6

Figura 2.2 - Seminário Maior de Coimbra (Foto: NCREP,2017b). 6

Figura 2.3 - Faculdade de Direito da Universidade do Porto (Foto: NCREP,2017c). 7

Figura 2.4 - Armazéns Vinícolas (Foto: NCREP,2017d). 7

Figura 3.1 – Martelo. 12

Figura 3.2 – Higrómetro. 12

Figura 3.3 – Resistograph®. 13

Figura 3.4 – Perfis de ensaios Resistograph®. 13

Figura 3.5 – Videoscópio. 14

Figura 3.6 – Ferroscan. 14

Figura 3.7 – Ensaio Fenolftaleína. 15

Figura 3.8 – Deformações instantânea e devido a fluência. 26

Figura 4.1 - Plantas arquitectónicas do edifício do Museu (sem escala). 31

Figura 4.2 – Levantamento fotográfico dos diferentes espaços no edifício do Museu. 32

Figura 4.3 – Intervenção da década de 40. (Fonte: monumentos.pt) 34

Figura 4.4 – Adaptação da ala sul a Museu. (Fonte: monumentos.pt) 34

Figura 4.5 – Intervenções na parede da fachada Sul. 35

Figura 4.6 – Variação de temperatura e humidade relativa do salão nobre do Museu. 36

Figura 4.7 – Pavimento térreo existente. 37

Figura 4.8 – Pilares em cantaria de pedra de suporte do tecto em abóbada. 38

Figura 4.9 – Paredes em alvenaria de blocos de betão e tijolo cerâmico furado. 38

Figura 4.10 – Localização em planta dos varandins. 39

Figura 4.11 - Planta arquitectónica do piso 1 (sem escala). 40

Figura 4.12 - Parede frontal observável na cobertura. 40

Figura 4.13 – Estrutura em madeira da cobertura existente - Asna A1. 41

Figura 4.14 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A2. 42

Figura 4.15 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A3. 44

Figura 4.16 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A4. 45

Figura 4.17 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A5. 46

Figura 4.18 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A6. 47

Figura 4.19 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A7. 48

Figura 4.20 – Instrumentos utilizados nas campanhas de inspecção no Museu. 50

Figura 4.21 – Danos de humidade observados no edifício. 53

Figura 4.22– Abertura de juntas e incompatibilidade com argamassa. 54

Figura 4.23– Deformação fora-do-plano. 55

Figura 4.24– Manchas de humidade em elementos de betão. 56

Figura 4.25 – Danos estruturais em elementos de betão. 56

Figura 4.26 - Planta do piso 1 (sem escala) com localização dos pavimentos degradados por ataque de agentes bióticos (verde) e pavimento com térmitas no soalho. 58

Figura 4.27 – Vigas de madeira embebidas em betão. 59

Figura 4.28 – Danos observados nos elementos de madeira da cobertura. 60

Figura 4.29 – Danos observados nos elementos de madeira da cobertura. 61

Figura 4.30 – Ensaio Resistograph® realizado na linha de uma asna de cobertura. 62

Figura 4.31 – Pavimentos alvo de ensaio com acelerómetro. 63

Figura 4.32 – Esquema estrutural do pavimento A. 64

Figura 4.33 – Esquema estrutural do pavimento B. 66

Figura 4.34 – Esquema estrutural do pavimento C. 67

Figura 4.35 – Esquema estrutural do pavimento D. 68

Figura 4.36 – Esquema estrutural do pavimento E. 69

Figura 4.37 – Esquema estrutural do pavimento F. 70

Figura 4.38 – Esquema estrutural do pavimento G. 71

Figura 4.39 – Perspectivas do edifício do Museu. 75

Figura 4.40 – 1º Modo de vibração (Vista XY). 76

Figura 4.41 – 2º Modo de vibração (Vista XY). 76

Figura 4.42 – 3º Modo de vibração (Vista XY). 76

Figura 4.43 – 4º Modo de vibração (Vista XY). 76

Figura 4.44 – Planos de paredes para verificação das tensões. 77

Figura 4.45 – Diagrama de tensões verticais do plano A devido às acções verticais (MPa). 77

Figura 4.46 – Diagrama de tensões verticais para o plano B devido às acções verticais (MPa). 78

Figura 4.47 – Mapa de tensões para o plano B e parede interior devido às acções verticais (MPa)..... 78

Figura 4.48 – Diagrama de tensões verticais para o plano C devido às acções verticais (MPa). 79

Figura 4.49 – Diagrama de tensões verticais para o plano D devido às acções verticais (MPa). 79

Figura 4.50 – Fissuras padrão encontradas na fachada em estudo. 79

Figura 4.51 – Diagrama de tensões verticais devido às acções verticais (plano E) (MPa). 80

Figura 4.52 – Mapa de tensões verticais para a alvenaria (plano F) devido às acções verticais (MPa). 80

Figura 4.53 – Mapa de tensões verticais para a alvenaria (plano G) devido às acções verticais (MPa). 80

Figura 4.54 – Diagrama de tensões verticais para o plano H devido às acções verticais (MPa). 81

Figura 4.55 – Diagrama de tensões verticais para a alvenaria (plano I) devido às acções verticais (MPa). 81

Figura 4.56 – Diagrama de tensões verticais para a alvenaria da fachada posterior devido às acções verticais (MPa). 82

Figura 4.57 – Envolvente do espectro de cálculo Sd(T), Resposta Horizontal. 83

Figura 4.58 – Definição da envolvente do espectro de cálculo Sd(T), Resposta Horizontal, Robot. 83

Figura 4.59 – Diagrama de tensões principais de tracção para o alinhamento A devido à combinação sísmica (MPa). 84

Figura 4.60 – Diagrama de tensões principais de tracção (plano B) devido à combinação sísmica (MPa). 84

Figura 4.61 – Diagrama de tensões principais de tracção (plano B) devido à combinação sísmica sem lajes de cobertura (MPa). 85

Figura 4.62 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano C) devido à combinação sísmica (MPa) e fissuração expectável. 85

Figura 4.63 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria da fachada exterior oeste (plano D) para combinação sísmica (MPa). 86

Figura 4.64 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano E para combinação sísmica (MPa). ... 86

Figura 4.65 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano F para combinação sísmica (MPa). ... 86

Figura 4.66 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano G para combinação sísmica (MPa). .. 87

Figura 4.67 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano H) para combinação sísmica (MPa). 87

Figura 4.68 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano I) para combinação sísmica (MPa). 87

Figura 4.69 – Diagrama de tensões principais de tracção e deformações do modelo global. 89

Figura 5.1 –Planta estrutural do armazém em estudo (sem escala). 93

Figura 5.2 – Asnas existentes: esquema estrutural da asna tipo (sem escala). 94

Figura 5.3 – Pormenores da asna em estudo. 95

Figura 5.4 – Pormenores da asna em estudo. 95

Figura 5.5 – Exemplo de zona com entrada de água abundante. 96

Figura 5.6 – Exemplo de apoios degradados e já reforçados com empalmes 96

Figura 5.7 – Anomalias associadas ao sub-dimensionamento. 97

Figura 5.8 – Exemplos de outros danos registados na cobertura. 97

Figura 5.9 – Danos observados em elementos metálicos. 98

Figura 5.10 – Resultado gráfico de ensaios Resistograph® em elementos empalmados. 99

Figura 5.11 - Modelo numérico da asna de cobertura para verificação dos estados limites. 102

Figura 5.12 – Reforço de asnas. 105

Figura 5.13 – Pormenor de fixação dos elementos de reforço aos elementos de asna existentes. 108

Figura 5.14 – Pormenor de fixação das madres de reforço as madres existentes. 109

Figura 5.15 – Pormenor de fixação das madres as pernas das asnas. 110

Figura 5.16 – Pormenor das ligações entre elementos de madeira. 111

Figura 5.17 – Pormenor de reforço do apoio da asna A2. 114

Figura 5.18 – Modelo tridimensional numérico do sistema de contraventamento. 116

Figura 5.19 – Exemplo de aplicação de contraventamento. (NCREP, 2011)..... 116

Figura 5.20 – Armazém em estudo. 117

Figura 5.21 –Planta estrutural do armazém em estudo (sem escala)..... 117

Figura 5.22 – Asnas existentes: Esquema estrutural da asna tipo (sem escala). 118

Figura 5.23 – Pormenores da asna em estudo. 119

Figura 5.24 – Exemplos de elementos com empeno significativo. 120

Figura 5.25 – Pormenor do calço (secção rectangular) devido ao empeno da madre existente (secção circular) e deformação global das asnas. 120

Figura 5.26 – Exemplos vários de danos visíveis. 121

Figura 5.27 – Exemplos de ataque de agentes bióticos em elementos estruturais, degradação do apoio a), caruncho b) e térmitas em c) e d). 122

Figura 5.28 - Modelo numérico da asna de cobertura para verificação dos estados limites. 124

Figura 5.29 – Reforço da asna com introdução de escora, pendurais e reforço de ligações. 128

Figura 5.30 – Pormenor de execução da ligação dos pendurais metálicos entre pernas/linhas. 129

Figura 5.31 – Pormenor de reforço estrutural das pernas de madeira degradadas na zona dos apoios. 130

Figura 5.32 – Pormenor de reforço estrutural das linhas de madeira degradadas na zona dos apoios.. 130

Figura 6.1– Layout tipo de apresentação dos ensaios Resistograph®. 134

Figura 6.2 – Caixa de diálogo para inserir imagens 135

Figura 6.3 – Tabela de 7x1 com 15,36cm de largura adicionada. 136

Figura 6.4 – Gráfico do ensaio Resistograph® antes e depois da edição. 136

Figura 6.5 – Introdução da legenda do ensaio. 137

Figura 6.6 – Resultado final resultante dos processos executados pela macro..... 137

Figura 6.7 – Exemplos de elementos com empeno significativo. 139

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Variação das propriedades mecânicas da madeira livre de defeitos por cada variação de 1% de humidade. 16

Tabela 3.2 – Duração das acções..... 17

Tabela 3.3 – Valores de k_{mod}. 18

Tabela 3.4 – Valores de k_{def}. 24

Tabela 3.5– Valores limites para flechas (Para elementos sem contra-flecha). 26

Tabela 4.1 – Lista dos danos observados e legenda da representação em planta. 52

Tabela 4.2 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A1. 64

Tabela 4.3 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A2. 65

Tabela 4.4 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A3. 65

Tabela 4.5 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento B. 66

Tabela 4.6 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento C. 67

Tabela 4.7 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento D. 68

Tabela 4.8 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento E. 69

Tabela 4.9 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento F. 70

Tabela 4.10 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento G. 71

Tabela 4.11 – Frequências de vibração e participação de massa dos primeiros modos de vibração..... 75

Tabela 4.12 – Parâmetros definidores do espectro de resposta. 82

Tabela 5.1 - Acções permanentes (G_k) consideradas. 100

Tabela 5.2 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais (existentes). 101

Tabela 5.3 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço (C24). 102

Tabela 5.4 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço (GL24h). 102

Tabela 5.5 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU. 103

Tabela 5.6 - Rácios de serviço das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELS. 104

Tabela 5.7 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura reforçadas - Estado Limite Último e de Serviço. 107

Tabela 5.8 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU. 109

Tabela 5.9 - Rácios de serviço da solução de madres na cobertura para o ELS. 110

Tabela 5.10 – Verificação à segurança por corte duplo com chapa lateral 113

Tabela 5.11 – Verificação à segurança do reforço dos apoios. 114

Tabela 5.12 - Acções permanentes (G_k) consideradas. 123

Tabela 5.13 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais (existentes). 124

Tabela 5.14 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço. 125

Tabela 5.15 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU. 125

Tabela 5.16 - Rácios de serviço das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELS. 126

Tabela 5.17 – Verificação de segurança do reforço dos apoios. 130

Tabela 5.18 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais. 131

Tabela 5.19 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura novas - Estado Limite Último e de Serviço. 131

Tabela 5.20 – Verificação à segurança por corte duplo com chapa lateral 132

Tabela 6.1 – Características do pavimento existente com secção 25x20cm^2. 145

Tabela 6.2 – Características do pavimento existente com reforço. 145

Tabela 6.3 – Verificação do Estado Limite Último de Flexão. 146

Tabela 6.4 – Verificação dos E.L. Último de corte e compressão perpendicular. 146

Tabela 6.5 – Verificação dos E.L. Serviço de deformação. 146

Tabela 6.6 – Verificação dos E.L. Último de vibração..... 147

Tabela 6.7 – Verificação do Estado Limite Último de Flexão. 147

Tabela 6.8 – Verificação dos E.L. Último de corte e compressão perpendicular. 148

Tabela 6.9 – Verificação dos E.L. Serviço de deformação. 148

Tabela 6.10 – Verificação dos E.L. Último de vibração..... 148

Tabela 6.11 – Carregamento. 149

Tabela 6.12 – ELU de flexão. 149

Tabela 6.13 – ELU de corte. 150

Tabela 6.14 – ELS de deformação. 150

Tabela 6.15 – ELS de vibração. 151

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Serve o presente relatório de estágio para apresentação dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da Unidade Curricular de DIPRE (Dissertação/Projecto/Estágio) do 2º semestre, do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia Civil do ramo de Estruturas do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Sob o tema "Inspecção, Diagnóstico e Reabilitação Estrutural" o presente trabalho, pretende, a partir da experiência adquirida no decorrer dos diversos trabalhos, contribuir para a divulgação do valor do procedimento de inspecção e diagnóstico, familiarização com métodos de avaliação não destrutiva da capacidade resistente dos elementos estruturais e a familiarização entre a riqueza do antigo e o moderno durante o processo de reabilitação de estruturas antigas.

No decorrer do presente documento são apresentadas as actividades realizadas na empresa NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda., no período compreendido entre 15 de Fevereiro e 16 de Julho de 2017.

1.2 MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

A reabilitação define-se como o conjunto de operações destinadas a garantir a possibilidade de reutilização do edificado existente, adaptando-o às exigências actuais, estabelecendo uma ligação entre a sua identidade original e a que resulta da própria reabilitação. O conceito de património arquitectónico estava, até à relativamente pouco tempo, restringido a monumentos e construções especiais colocando num plano secundário o património comum que tem conquistado a sua importância como registo histórico das cidades e da sua evolução. Os edifícios fazem parte da nossa memória colectiva e são um extraordinário repositório da importância das actividades de arquitectura e engenharia ao longo do tempo. A reabilitação é assim o caminho para se assegurar a longevidade desse património não monumental ao invés de o deixar ao abandono e a caminhar para a ruína.

Fazer parte integrante de uma equipa especializada no âmbito da reabilitação das construções, produz uma sensação de amigo da história e da cultura, uma sede no conhecimento da história de arte da construção, dos materiais e técnicas construtivas inerentes a cada edificado.

Como objectivos académicos para desenvolvimento ao longo do período de estágio definiu-se a aplicação das metodologias de inspecção e diagnóstico de estruturas existentes, explorando as técnicas utilizadas com incidência no estudo dos ensaios não-destrutivos, concretização de avaliações de segurança em estruturas existentes e participação na elaboração das medidas de intervenção com dimensionamento subjacente.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Para além deste capítulo introdutório, no qual se faz uma breve apresentação do trabalho realizado e se sintetiza o seu conteúdo, o relatório encontra-se organizado noutros seis capítulos e três anexos como complemento a informação subjacente ao presente documento.

No Capítulo 2 apresentar-se-á a empresa acolhedora que possibilitou a realização do estágio curricular assim como a identificação dos casos de estudo e trabalhos desenvolvidos durante esse período.

No Capítulo 3 são resumidos os princípios da metodologia de *Inspecção, Diagnóstico e intervenção* no património edificado que apoiam as deliberações no âmbito da reabilitação. No mesmo capítulo são referidos os ensaios a que se recorreu como auxílio na recolha do estado de conservação dos elementos estruturais dos casos de estudo explorados. Por último, é abordada a verificação de segurança de elementos de madeira segundo o Eurocódigo 5.

Os Capítulos 4 e 5 são inteiramente dedicados aos estudos de casos. Os casos de estudo têm a finalidade de apresentar pormenorizadamente os trabalhos elaborados com base nos Relatórios de Inspecção e Diagnóstico (RID) desenvolvidos no NCREP.

No Capítulo 4 é realizada a apresentação do primeiro caso de estudo, relativo ao edifício do Museu. Neste capítulo são apresentados os trabalhos de inspecção e diagnóstico realizados na íntegra ao edifício e que englobam a caracterização construtiva e estrutural do edifício, danos estruturais existentes. Este caso de estudo explora essencialmente a fase de Inspecção e diagnóstico não sendo no final sugerido qualquer tipo de sugestão de medidas de intervenção. É ainda realizada uma análise das fachadas do edifício do museu devido às cargas verticais e comportamento global face a acção sísmica.

No Capítulo 5 apresenta-se a campanha de inspecção, diagnóstico e verificação de segurança realizada ás coberturas dos Armazéns Vinícolas em Vila Nova de Gaia, acompanhada de uma proposta de intervenção baseada nos resultados obtidos e respectivo dimensionamento.

No Capítulo 6 apresentam-se em pormenor o desenvolvimento em *Visual Basic for Applications* (VBA) de um processo de organização dos ensaios *Resistograph*® e um complemento de uma folha de cálculo para verificação da segurança do reforço estrutural de pavimentos existentes.

Por último, no Capítulo 7 serão apresentadas as principais conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento do trabalho e serão feitas algumas sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2

APRESENTAÇÃO DO ESTÁGIO

2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O estágio sobre o qual resulta o presente documento, foi realizado na empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda., prestadora de serviços de engenharia no âmbito da reabilitação das construções.

No âmbito da sua acção, o NCREP, tem por alvo as tipologias construtivas tradicionais em betão, aço, alvenaria e madeira. Na abordagem à reabilitação o NCREP segue uma metodologia que consiste no conhecimento exaustivo das construções através de procedimentos de inspecção e diagnóstico que culmina na análise do seu comportamento e avaliação de segurança. Das avaliações que resultam num projecto de execução de reabilitação de património edificado, o NCREP desenvolve todo o processo segundo as mais recentes recomendações internacionais, procurando minimizar o impacto sobre as construções.

2.2 APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS

No decorrer do período de acolhimento no NCREP foram efectuadas várias campanhas no âmbito da inspecção, diagnóstico e projecto, realizadas nos meses compreendidos entre Fevereiro e Julho. Durante as actividades de inspecção foi possível observar as diferentes técnicas construtivas aplicadas em ambientes idênticos, diferentes tipologias construtivas, diferentes estados de conservação, variadas anomalias associadas a cada material de construção. Dos trabalhos realizados, são apresentados de seguida alguns exemplos de estruturas alvo de campanhas de inspecção e diagnóstico e projectos com os quais houve uma colaboração directa. Destaca-se o Museu, Seminário Maior de Coimbra, Faculdade de Direito da Universidade do Porto e os Armazéns vinícolas, trabalhos que permitiram a aplicação de ensaios tendencialmente não-destrutivos para caracterização e avaliação do estado de conservação dos elementos.

O trabalho desenvolvido no Museu consistiu na realização de actividades de inspecção, análise e caracterização dos elementos estruturais. Campanha complementada e auxiliada com ensaios na avaliação do estado de conservação e levantamento geométrico das estruturas existentes. Este trabalho é alvo de um estudo mais pormenorizado no presente relatório, no Capítulo 4, e teve a duração desde o mês de Março a Maio.



Figura 2.1 - O Museu (Foto: NCREP,2017a).

O Seminário Maior de Coimbra, composto por quatro pisos e a cobertura sobre os quais foram concretizadas acções de inspecção, análise e diagnóstico com o intuito de enumerar e avaliar a extensão das anomalias observáveis em todo o complexo edificado, assim como a causa originária de cada uma. A realização dos trabalhos no seminário teve lugar nos meses de Maio e Junho.

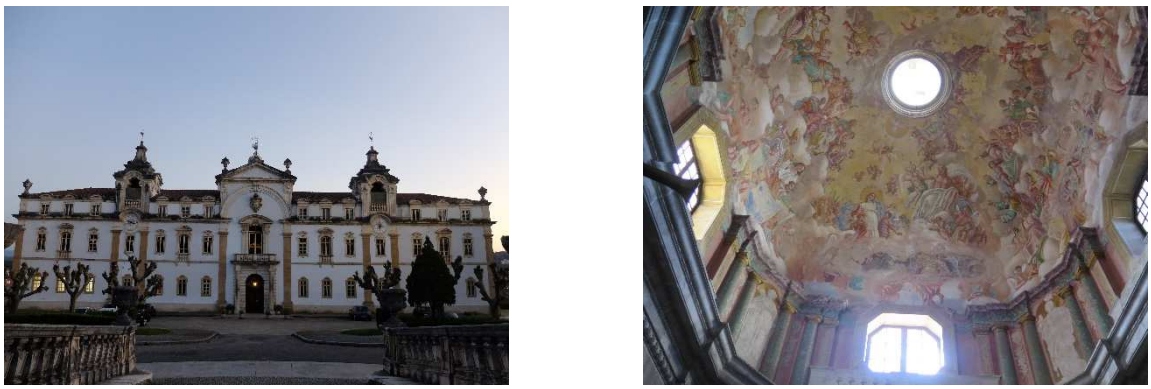


Figura 2.2 - Seminário Maior de Coimbra (Foto: NCREP,2017b).

As fachadas e cobertura da Faculdade de Direito da Universidade do Porto foram, no mês de Abril, alvo de caracterização dos sistemas estruturais que componham a cobertura assim como das respectivas propriedades geométricas a fim de realizar um exaustivo levantamento de anomalias e posterior avaliação de segurança.



Figura 2.3 - Faculdade de Direito da Universidade do Porto (Foto: NCREP,2017c).

O trabalho dos Armazéns Vinícolas, também eles alvo de estudo pormenorizado nos casos de estudo do presente relatório, Capítulo 5, consistiu na inspecção, diagnóstico e projecto de execução da reabilitação das coberturas de dois armazéns dos quais resultaram relatórios de inspecção e diagnóstico e projecto de execução. Os trabalhos realizaram-se entre Março a Maio.

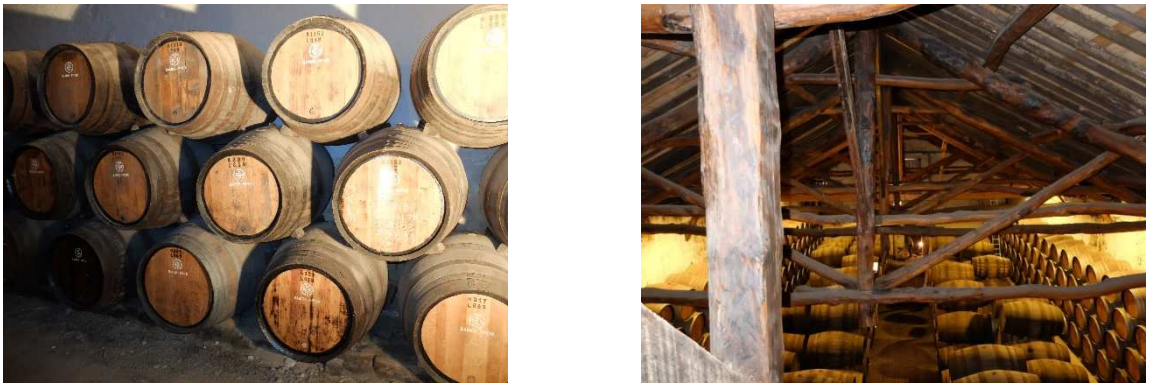


Figura 2.4 - Armazéns Vinícolas (Foto: NCREP,2017d).

Por último, foi desenvolvido um processo de organização de forma a simplificar a composição do anexo dedicado à organização dos ensaios *Resistograph*® realizados para avaliação do estado de conservação dos elementos de madeira. O processo desenvolvido em *Visual Basic for Applications* (VBA) permitiu optimizar o tempo de organização da informação, podendo este ser empregue na análise técnica dos ensaios. Complementou-se o trabalho com uma folha de cálculo dedicada à verificação de pavimentos existentes reforçados com vigas de madeira paralelemente ou intercaladas com as vigas existentes. O desenvolvimento da folha de cálculo automática permite preencher o vazio existente na verificação expedita dos pavimentos reforçados. Possibilita a verificação da segurança de elementos de pavimento que após reforço têm um comportamento de elemento composto, incluindo a verificação de estado limite de utilização para pavimentos compostos por vigas de secção e/ou classe de resistência distintas entre si.

CAPÍTULO 3

INSPECÇÃO, DIAGNÓSTICO E INTERVENÇÃO NA REABILITAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

As intervenções que permitem preservar o edificado antigo, a identidade histórica e cultural deve ser acompanhada da consciência disso mesmo, de que se tratam de intervenções em património cultural e de identidade das comunidades. Segundo a UNESCO *(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), na conferência geral das organizações das nações unidas organizada em Paris de 1972, património cultural e natural são os *"Grupos de edifícios separados ou ligados que, pela sua arquitetura, sua homogeneidade ou seu lugar na paisagem, têm um extraordinário valor universal do ponto de vista da história, da arte ou da ciência;"* a definição é mais alargada na *Carta de Veneza* (1964) que define que *"A noção de monumento histórico engloba a criação arquitectónica isolada, bem como o sítio, rural ou urbano, que constitua testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Esta noção aplica-se não só às grandes criações, mas também às obras modestas do passado que adquiriram, com a passagem do tempo, um significado cultural."*. Estas posições atribuem a noção de património cultural ou de monumento estendendo a posição à necessidade de consciencialização da importância de cada edifício. De acordo com o princípio nº1 da GECoRPA, *"A preservação do património comum da espécie humana, natural e cultural, transmitido ao longo de gerações, é condição indispensável para a manutenção do habitat e da identidade das comunidades humanas. Sendo o património edificado e os bens culturais a ele associados uma das parcelas mais importantes do património cultural, cada geração tem o direito ao seu usufruto mas, também, a responsabilidade da sua salvaguarda e transmissão, nas melhores condições, aos vindouros."*. De acordo com Ilharco, T. (2008), *"Tendo em conta as rápidas mudanças que se dão na nossa sociedade e a indefinição existente em torno do conceito de bem valioso, é essencial que exista um entendimento do património arquitectónico e histórico como um elemento de inquestionável valor para a compreensão da nossa história e das nossas origens. Esta percepção é, de facto, uma questão cultural e deve haver um esforço para que se enraíze na população."*, reforçando a falta de consciência acerca da importância cultural intrínseca a cada edifício.

Pretende-se com este capítulo resumir as recomendações de respeitados autores e princípios gerais das recomendações internacionais das metodologias a adoptar em actividades de reabilitação como meio de conservar a autenticidade do património arquitectónico e estrutural. Neste trabalho abordam-se essencialmente os materiais comuns (madeira, betão e pedra) encontrados nos casos de estudo explorados, com particular relevo para a madeira.

Como é referido pelo ICOMOS (2004), a *"conservação, o reforço e o restauro do património arquitectónico requerem uma abordagem multidisciplinar.",* acrescentando ainda que a *"especificidade das estruturas do património, com a sua história complexa, requer a organização de estudos e propostas em fases semelhantes às que são utilizadas em medicina. Anamnese, diagnóstico, terapia e controlo correspondem, respectivamente, à análise da informação histórica, identificação das causas de danos e degradações, selecção das acções de consolidação e controlo da eficácia das intervenções."*. É este um dos princípios que se baseiam as recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico do *ICOMOS*, sugerindo uma pesquisa e estudo exaustivo de um edifício a intervir, identificação das causas dos danos e posteriormente a reparação controlada. É desta forma que são sugeridas as actividades de inspecção e diagnóstico. Dos materiais tradicionais explorados nos casos de estudo a madeira é aquela que requer uma atenção cuidada, segundo Ilharco, T. (2008), *"As fases de Inspecção e Diagnóstico são particularmente importantes nas estruturas de madeira, cuja capacidade resistente é fortemente afectada por diversos factores, tais como o ataque de agentes bióticos, a existência de defeitos ou anomalias, etc.".*

3.2 INSPECÇÃO

De acordo com o ICOMOS (2004), *"Nenhuma acção deve ser empreendida sem se averiguar o benefício e o prejuízo prováveis para o património arquitectónico."* e como tal, qualquer actividade de inspecção de um edifício para levantamento de danos e caracterização estrutural deve ser antecedida de uma investigação histórica para compreender a concepção estrutural e as alterações ocorridas durante o período activo do edifício que por vezes podem estar na origem dos danos do edifício. A fase de inspecção resume-se a *"recolher informação sobre a estrutura no seu estado original, sobre as técnicas e métodos utilizadas na sua construção, sobre as alterações posteriores e os fenómenos que ocorreram e, finalmente, sobre o seu estado presente."*, (ICOMOS,2004).

Posteriormente à fase de recolha de informação existente acerca do edifício precede a fase da inspecção *in situ*, em que a *"compreensão completa do comportamento estrutural e das características dos materiais é necessária a qualquer projecto de conservação e restauro."*. Esta fase consiste no entendimento da concepção estrutural, observação directa dos danos estruturais e degradações dos

materiais, auxiliada de registos fotográficos, geométricos e de ensaios de diagnóstico do estado de conservação dos elementos.

3.3 DIAGNÓSTICO

Antes de qualquer decisão sobre a intervenção estrutural, é indispensável determinar as causas de danos e degradações. A fase de diagnóstico compreende todas as acções de avaliação do estado de conservação dos materiais e respectivas causas que, depois de compreendidas e organizadas todas as causas dos danos encontrados ou degradações, assim como das acções a que o edifício se encontra sujeito, é sujeita a uma avaliação de segurança segundo o seu estado actual. A avaliação de segurança é a etapa última da fase de diagnóstico e em que a decisão sobre possível intervenção é definida. Posteriormente, toda a informação adquirida, o diagnóstico e qualquer decisão sobre a intervenção. Toda a informação resultante das metodologias de inspecção e diagnóstico devem posteriormente ser descritos em detalhe num documento final de Relatório de inspecção e diagnóstico.

3.3.1 Ensaios *in situ*

Realizada a inspecção visual, importa avaliar a extensão dos danos e propriedades físicas e mecânicas dos materiais como complemento à informação já obtida. Os objectivos pretendidos com os ensaios passam pela detecção de defeitos ocultos, alterações ou danos não visíveis ou inacessíveis e a determinação não destrutiva de grandezas físicas correlacionáveis com a resistência.

Segundo ICOMOS (2004), a programação dos ensaios deve ser dividida em fases, efectuando primeiro a aquisição dos resultados fundamentais e prosseguindo com uma análise mais detalhada através de ensaios baseados numa avaliação das implicações dos resultados iniciais. Devem ser preferidos ensaios não-destrutivos àqueles que envolvem quaisquer alterações na estrutura.

Nos casos de estudo explorados, Capítulo 4 e Capítulo 5, foram utilizados ensaios tendencialmente não destrutivos recorrendo a simples ferramentas e a técnicas mais avançadas. Dentro do conjunto de ensaios realizados salienta-se o martelo, higrómetro, *Resistograph®*, videoscópio e *Ferroscan*.

Martelo é uma ferramenta simples que permite avaliar o estado de conservação superficial das peças através da apreciação do som devolvido pelo embate do martelo na madeira. É uma técnica simples e expedita de verificação do estado de conservação que, para uma correcta avaliação, obriga a um conhecimento empírico na análise do som, Figura 3.1.





Figura 3.1 – Martelo.

No capítulo 3.3.2.2 é mostrada a variação das propriedades da madeira face à variação do teor de água. Outro factor influenciado pelo elevado teor de água presente nos elementos de madeira, e que é abordado superficialmente neste relatório, é o potencial ataque de agentes bióticos criado pelas condições de temperatura e humidade. Estimulam o desenvolvimento e proliferação de fungos e ataque de insectos que causam a degradação das peças de madeira. O higrómetro permite assim conhecer o teor de humidade presente num ponto de uma peça de madeira e conhecer a predisposição da mesma a ataques bióticos, Figura 3.2.





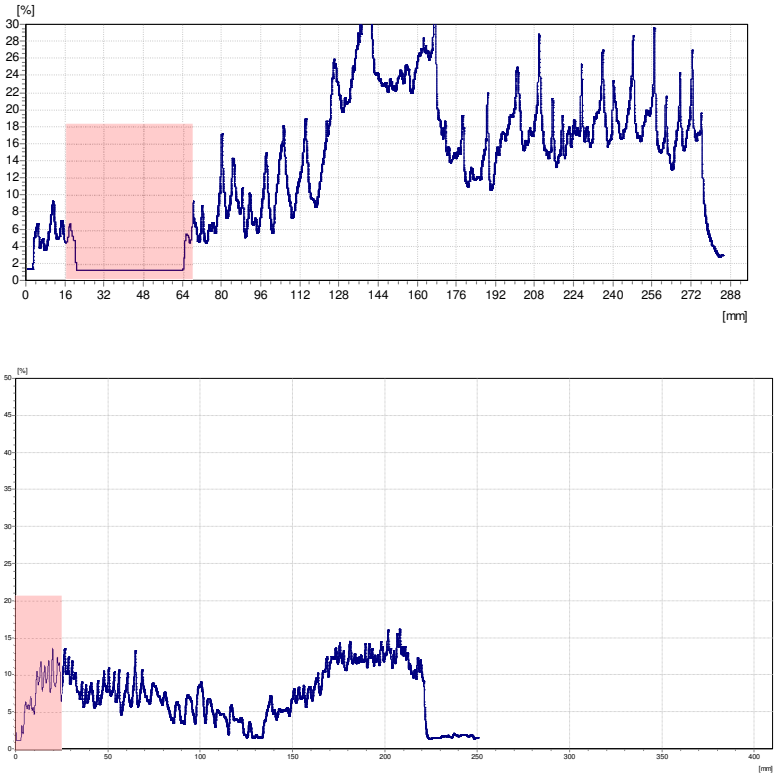
Figura 3.2 – Higrómetro.

O *Resistograph®* revela-se o ensaio em que a relação entre a informação obtida e a baixa complexidade de execução se revela mais vantajoso em relação às restantes técnicas avançadas existentes para avaliação do estado de conservação da madeira. O ensaio de *Resistograph®* consiste num equipamento eléctrico munido de uma agulha de pequenas dimensões que penetra a secção da madeira, Figura 3.3.



Figura 3.3 – *Resistograph®*.

O interior da madeira apresenta diferentes densidades, em parte devido aos lenhos de inicial e final, o que obrigará ao consumo de maior ou menor potência para transpor a secção de madeira a uma velocidade constante. Esse maior ou menor consumo de potência (valor de *Resistograph®*) traduz-se num perfil em função da profundidade furada. A presença de vazios ou degradação na secção transversal, não observáveis pelo exterior, traduzem-se no perfil traçado em zonas com valor de *Resistograph®* significativamente mais baixo, Figura 3.4.



Ensaio *Resistograph®* com vazio interno.

Ensaio *Resistograph®* com degradação superficial.

Figura 3.4 – Perfis de ensaios *Resistograph®*.

O videoscópio permite a inspecção de zonas de difícil acesso sem necessidade de abertura de janelas de sondagem extensas. Aliás, é possível, para a inspecção daa estrutura de pavimentos ou tectos de madeira, a utilização de videoscópio através de elementos de revestimento soltos, Figura 3.5.





Figura 3.5 – Videoscópio.

O ensaio com recurso ao *Ferroscan* foi utilizado em elementos de betão armado e consiste num campo magnético perfeito criado pelo equipamento, que na presença de armadura ou elemento de ferro cria uma distorção desse mesmo campo. Combinado o registo dos vários sensores do equipamento é possível estimar a posição da armadura, diâmetro e a profundidade a que se encontra, Figura 3.6.



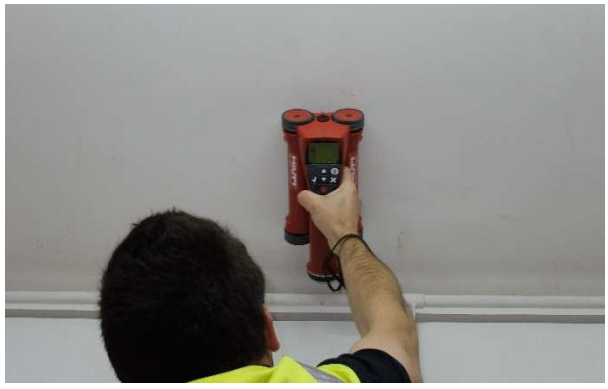


Figura 3.6 – Ferroscan.

Os ensaios com algum nível de intrusividade devem ser empregues, apenas, quando se revela insuficiente a informação retirada na fase de inspecção e dos ensaios não-destrutivos. Devem ser utilizados ensaios destrutivos apenas quando se revelar benéfica a informação deles resultantes. O ensaio de fenolftaleína é um exemplo de ensaio semi-destrutivo empregue no caso de estudo do Museu, Capítulo 4. O ensaio de medição da profundidade de carbonatação é um ensaio realizado em elementos de betão armado e consiste na avaliação do valor de pH. Com o recurso uma solução aquosa

de fenolftaleína é possível avaliar a profundidade a que se encontra a película de betão protectora da armadura de fenómenos como a corrosão, Figura 3.7. No entanto, o ensaio carece da abertura de janelas de sondagem e escarificação dos elementos de betão. Embora seja um ensaio a evitar pela perda de material com valor cultural, foi necessário para avaliação do estado de conservação do betão e armaduras.



Figura 3.7 – Ensaio Fenolftaleína.

3.3.2 Análise e diagnóstico

3.3.2.1 Introdução

As campanhas de inspecção, de levantamento de danos, caracterização de elementos estruturais para uma compreensão completa do comportamento estrutural e das características dos materiais, carecem de um processo de análise que permita concluir acerca da necessidade e nível de intervenção numa estrutura. É necessário combinar toda a informação recolhida durante os trabalhos de inspecção, analisar os materiais e sistemas estruturais, os danos e interpretar as causas. O diagnóstico pretende identificar as causas dos danos e degradações com base nos dados recolhidos. Trata-se de uma fase que decorre em paralelo com a inspecção e se estende à avaliação de segurança que determinam a necessidade efectiva e a extensão das medidas de intervenção. Na fase da verificação de segurança são analisados os Estados Limites Últimos(ELU) e Estados Limites Serviço(ELS) e verificado se, para o estado actual da estrutura e dos materiais, são aceitáveis os níveis de segurança. Dos materiais estruturais envolvidos nos casos de estudo pretende-se, neste capítulo, abordar em especial a madeira tendo em conta que são muitas as variáveis que influenciam as suas características mecânicas e consequentemente a resistência. Nos casos de estudo apresentados foram realizadas as verificações de segurança segundo as cláusulas directamente relacionadas com a verificação para os estados limites,

definidos na regulamentação e nas recomendações internacionais, nomeadamente, Eurocódigo 5 (CEN, 2004), Eurocódigo 1 (CEN, 2009 e 2010a) e Eurocódigo 0 (CEN, 2009).

3.3.2.2 Propriedades dos materiais

As propriedades mecânicas da madeira variam em função do teor de humidade da madeira. Se o teor de humidade e alto, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade diminuem.

Esta dependência tem lugar para teores de humidade inferiores ao ponto de saturação das fibras da madeira (Água de constituição mais Água de impregnação). Acima desse valor a água preencheu na totalidade as cavidades entre as fibras e a água livre já não influencia as propriedades mecânicas da peça, sendo facilmente eliminada.

Na madeira livre de defeitos Alvarez, R. *et al.* (2000) defende que para efeitos práticos pode considerar-se que existe uma relação linear entre cada propriedade mecânica e o teor de humidade para valores de teor de humidade compreendidos entre os 8%-20%. A influência da humidade é diferente para as diversas propriedades mecânicas da madeira. Na Tabela 3.1 apresenta-se uma variação aproximada das propriedades (%) da madeira livre de defeitos por cada variação de 1% do teor de água sugerida por Alvarez, R. *et al.* (2000).

Tabela 3.1 – Variação das propriedades mecânicas da madeira livre de defeitos por cada variação de 1% de humidade.

Propriedade	Variação (%)
Compressão paralela	5
Compressão perpendicular	5
Tracção paralela	2,5
Tracção perpendicular	2
Flexão	4
Corte	3
Módulo de elasticidade (E)	1,5

No caso da madeira comercial (peças de tamanho real com defeitos inerentes) esta dependência entre a humidade e as propriedades mecânicas ocorre de forma menos acentuada para algumas propriedades. Ou seja, a resistência à tracção paralela às fibras da madeira de baixa qualidade ou com defeitos acentuados é praticamente independente do teor de humidade passando a ser limitada pelos defeitos presentes. A resistência à compressão paralela às fibras é mais sensível ao teor de humidade e a sua influência é praticamente a mesma independentemente dos defeitos associados. A resistência à flexão

mostra um comportamento muito semelhante ao da compressão paralela às fibras para o efeito da variação do teor de humidade, contudo a presença de defeitos assume uma influência preponderante na resistência final da peça, (Alvarez, R. *et al.,*2000).

Posto isto, o EC5 propõe uma correcção das características mecânicas, associando às estruturas uma classe de serviço. Estas classes de serviço estão dirigidas para o cálculo dos valores resistentes e das deformações sob determinadas condições ambientais:

- Classe de serviço 1: é caracterizada por um teor em água dos materiais correspondente a uma temperatura de 20°C e a uma humidade relativa do ar ambiente superior a 65% apenas durante algumas semanas por ano.
- Classe de serviço 2: é caracterizada por um teor em água dos materiais correspondente a uma temperatura de 20°C e a uma humidade relativa do ar ambiente superior a 85% apenas durante algumas semanas por ano.
- Classe de serviço 3: é caracterizada por condições climáticas conduzindo a valores do teor em água dos materiais superiores aos da classe de serviço 2.

As classes de duração das acções são caracterizadas pelo efeito de uma acção constante actuando durante um certo período de tempo ao longo da vida da estrutura. Para uma acção variável, deve determinar-se a classe apropriada com base numa estimativa da variação típica da acção com o tempo. Para efeitos de cálculo deve fazer-se corresponder às acções a uma das classes de duração indicadas pelo EC5,Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Duração das acções.

Classe de duração das acções	**Ordem de grandeza da duração acumulada do valor característico da acção**
Permanente	Superior a 10 anos
Longa duração	6 meses – 10 anos
Média duração	1 semana – 6 meses
Curta duração	Inferior a 1 semana
Instantânea	

O valor do coeficiente de modificação, k_{mod}, reflecte assim o decréscimo de resistência mecânica dos elementos de madeira em função do tempo de actuação das acções, devido ao efeito de fluência da madeira, e o ambiente de serviço. Na Tabela 3.3 encontra-se representado os valores de k_{mod}. Tendo em conta este factor, o valor de cálculo de uma determinada propriedade do material obtém-se pela seguinte expressão:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_m} \tag{3.1}$$

Em que γ_m é o coeficiente parcial de segurança para a propriedade do material que, para madeira maciça e lamelada colada é, respectivamente, igual a $\gamma_m = 1{,}3$ e $\gamma_m = 1{,}25$.

Tabela 3.3 – Valores de k_{mod}.

Classe de serviço	**Classe de duração das acções**				
	Permanente	**Longa duração**	**Média duração**	**Curta duração**	**Instantânea**
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Nos casos de estudo apresentados no Capítulo 5, após uma avaliação das condições de humidade e do sistema construtivo das coberturas foi considerada uma classe de serviço 2. As durações das acções consideradas para às acções permanente, de sobrecarga e pressão do vento, foram respectivamente, permanente, média duração e curta duração.

Como já foi referido, embora de forma fugaz, os defeitos e a resistência mecânica (principalmente em tracção e flexão) dos elementos de madeira estão de certa forma relacionados com o seu volume. Quanto maior o volume de uma secção maior é a possibilidade de existência de um defeito oculto. É assim que, de um modo probabilístico, o coeficiente de volume (k_h) permite corrigir valores resistentes de cálculo para peças quadradas à flexão e/ou a tracção. O efeito de volume pode ser estimado através das expressões 3.2 e 3.3.

Madeira maciça:

$$k_h = min\left[\left(\frac{150}{h}\right)^2 ; 1{,}3\right], h \leq 150mm \tag{3.2}$$

Madeira lamelada colada:

$$k_h = min\left[\left(\frac{600}{h}\right)^{0{,}1} ; 1{,}1\right], h \leq 600mm \tag{3.3}$$

onde:

h — altura da peça quando submetida a flexão ou largura quando submetida a tracção.

3.3.2.3 Avaliação de segurança das estruturas de madeira

A verificação da estabilidade é realizada para os Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS), são realizadas adoptando os critérios de verificação de segurança definidos no Eurocódigo 5 (EC 5) - Projecto de estruturas de Madeira. Este documento, no que respeita aos Estados Limite Últimos (ELU) aborda às verificações à flexão simples, flexão composta, flexão desviada, tracção paralela, compressão perpendicular ao fio, verificação ao corte e torção tendo sido considerados fenómenos de instabilidade por encurvadura e encurvadura lateral. Nos ELS particulariza-se o Estado Limite de Deformação (ELD). Estas foram as principais verificações de segurança realizadas nos casos de estudo apresentados.

Verificação à tracção simples (ELU)

O critério de verificação da segurança para tracção paralela ao fio, segundo cláusula 6.1.2(1) do EC5-1-1 é:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \tag{3.4}$$

onde:

$\sigma_{t,0,d}$ — valor de cálculo da tensão actuante de tracção paralela ao fio;

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

Verificação à compressão perpendicular ao fio

A verificação para elementos comprimidos perpendicularmente ao fio depende essencialmente da área de contacto de esforço e a configuração do carregamento.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \tag{3.5}$$

onde:

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

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

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

Verificação à flexão desviada

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.6)$$

onde:

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

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

O valor de k_m consiste na redução da contribuição de uma das componentes do momento e deverá ser considerado igual a:

-para secções rectangulares: $k_m = 0{,}70$

-para os restantes tipos de madeira e secções: $k_m = 1{,}0$

Verificação flexão composta com tracção/compressão

A verificação de segurança para elementos sujeitos a flexão composta consiste na metodologia adoptada para a verificação à flexão simples sendo acrescentado o termo relativo a contribuição do esforço axial.

Para flexão composta com esforço axial de tracção temos:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.7)$$

Para flexão composta com esforço axial de compressão temos:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.8)$$

Instabilidade encurvadura

A instabilidade de um elemento de madeira é geralmente afectada de vários factores, desde características geométricas, características mecânicas a imperfeições do material como nós e fendas que tem um efeito amplificador na esbelteza da peça, assim como defeitos com uma participação mais gravosa como o caso dos empenos que criam uma excentricidade na peça que potencia o risco de encurvadura. A instabilidade por encurvadura deve assim ser alvo de uma análise cuidada.

A verificação a encurvadura faz-se através da redução da parcela resistente da peça de madeira em função da tensão resistente característica e da tensão crítica, onde resulta a esbelteza relativa. A instabilidade a encurvadura pode ser desprezada para valores de esbelteza relativa inferior a 0,3 segundo as duas direcções principais.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.9)$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} \quad (3.10)$$

onde:

λ_{rel} — Esbelteza relativa;

$\sigma_{c,crit}$ — Tensão crítica de Euler.

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda^2} \quad (3.11)$$

$$\lambda = \frac{l_v}{i} \quad (3.12)$$

onde:

l_v — Comprimento de encurvadura do elemento;

i — Raio de giração no plano de encurvadura.

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi}\sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.13)$$

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{{k_i}^2 - {\lambda_{rel,i}}^2}} \quad (3.14)$$

$$k_i = 0{,}5\left(1 + \beta_c\left(\lambda_{rel,i} - 0{,}3\right) + {\lambda_{rel,i}}^2\right) \quad (3.15)$$

Travamento de encurvadura

Na eventualidade de não se verificar a segurança a encurvadura, uma das disposições conducentes à diminuição de risco é a de aumentar a secção ou a aplicação de travamentos por pontos ao longo do elemento comprimido. O aumento da secção traduz-se na resistência individual do elemento comprimido aos esforços de compressão que com o aumento da esbelteza relativa diminui o risco de encurvadura. O travamento entre pontos, encurta a distância entre pontos de inflexão mas a verificação da segurança à encurvadura resulta do comportamento conjunto do travamento e elemento

comprimido. Isto implica que o dispositivo de travamento apresente rigidez, Eq.3.17, e resistência adequadas à força nele instalada pela imobilização do ponto travado, Eq.3.18.

$$C = k_s \frac{N_d}{a} \tag{3.16}$$

onde:

C — Rigidez de mola mínima;

k_s — Factor de correcção;

N_d — Valor de cálculo do esforço actuante de compressão;

a — Comprimento entre travamentos regulares.

$$F_d = \begin{cases} \frac{N_d}{k_{f,1}} & \text{,para madeira maciça} \\ \frac{N_d}{k_{f,2}} & \text{,para madeira lamelada colada e LVL} \end{cases} \tag{3.17}$$

Instabilidade lateral torsional (bambeamento)

O fenómeno de instabilidade lateral torsional ocorre em elementos esbeltos sujeitos a esforços de flexão segundo o eixo de maior inércia. A instabilidade por bambeamento consiste num fenómeno reduzido de encurvadura das fibras comprimidas que se deslocam transversalmente acompanhados de torção da secção do elemento. Para secções rectangulares de madeira a tensão de flexão critica pode ser determinada segundo a expressão conservativa:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78b^2}{hml} E_{0,05} \tag{3.18}$$

onde:

b — Largura do elemento;

k_s — Factor de correcção;

h — Altura do elemento;

l — Comprimento do elemento;

m — Factor de momento uniforme equivalente definido no quadro 6.1 do Eurocódigo 5 segundo as condições de apoio e tipo de carregamento;

$E_{0,05}$ — Módulo de elasticidade paralelo ao fio correspondente ao quantilho de 5%.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{3.19}$$

onde:

$f_{m,k}$ — Valor característico da tensão resistente de flexão.

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \tag{3.20}$$

onde:

$\sigma_{m,d}$ — Valor de cálculo da tensão actuante de flexão;

k_{crit} — Coeficiente de redução da resistência à flexão devida à encurvadura;

$f_{m,d}$ — Valor de cálculo da tensão resistente de flexão.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{,para } \lambda_{rel,m} \leq 0{,}75 \\ 1{,}56 - 0{,}75\lambda_{rel,m} & \text{,para } 0{,}75 < \lambda_{rel,m} \leq 1{,}4 \\ \dfrac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{,para } 1{,}4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \tag{3.21}$$

Travamento ao bambeamento

$$F_d = k_l \frac{a N_d}{k_{f,3} l} \tag{3.22}$$

onde:

k_l — Coeficiente redução tendo em conta a variação do esforço de compressão;

N_d — Valores de cálculo do esforço de compressão;

l — Vão do sistema estabilizador;

$k_{f,3}$ — Factor de correcção;

a — Espaçamento entre elementos de travamento.

$$k_l = min \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\dfrac{15}{l}} \end{cases} \tag{3.23}$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \tag{3.24}$$

$$N_d = N_0 + (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \tag{3.25}$$

Verificação ao corte(ELU)

$$\tau_{sd} \leq f_{v,d} \tag{3.26}$$

onde:

τ_{sd} — Tensão de corte actuante;

$f_{v,d}$ — Valores de cálculo tensão resistente de corte.

$$\tau_{sd} = \frac{3}{2}\frac{V_{sd}}{A} \tag{3.27}$$

$$\tau_{sd} = \frac{4}{3}\frac{V_{sd}}{A} \tag{3.28}$$

onde:

V_{sd} — Valor actuante de esforço transverso;

A — Área transversal do elemento.

$$b_{ef} = k_{cr} b \tag{3.29}$$

onde:

k_{cr} — Coeficiente de redução da área efectiva tendo em conta o efeito das fendas;

k_{cr}	Madeira Maciça e lamelada colada	0,67
	Outros derivados da madeira	1,00

Verificação da deformação (ELS)

Uma parcela principal da deformação de cálculo provocada pela aplicação de uma carga é a deformação instantânea, isto é, a flecha que imediatamente se instala devido à deformação elástica da estrutura assim como qualquer deformação nas ligações. A madeira devido ao seu comportamento visco elástico, apresenta uma fluência apreciável, podendo a sua deformação final atingir valores muito superiores aos valores expectáveis para a deformação instantânea. Por essa razão, os critérios de estados limite de utilização limitam frequentemente as dimensões dos elementos horizontais de madeira. Embora a deformação por fluência seja dependente das condições ambientais, essencialmente das flutuações do teor de água, interessa o contributo deste fenómeno para a deformação final dos elementos. Assim, assumindo que todos os membros e componentes de ligação têm o mesmo comportamento de fluência e que existe uma associação linear entre as cargas aplicadas e deformações inerentes recorre-se ao coeficiente de fluência (k_{def}). A deformação final do elemento em madeira é dada pela combinação da deformação instantânea e a deformação devido a fluência, tendo em conta o coeficiente de fluência (k_{def}) que é apresentado na Tabela 3.4, que é dependente do tipo de material assim como das condições ambientais, que é o mesmo que distinguir entre classes de serviço.

Tabela 3.4 – Valores de k_{def}.

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

Madeira lamelada colada	0,60	0,80	2,00

O cálculo das deformações deve ser conseguido segundo as expressões que se seguem para as seguintes combinações de acções:

- Deformação instantânea (w_{inst}): calculada para a combinação característica de acções, utilizando valores médios apropriados dos módulos de elasticidade, de distorção e de deslizamento;
- Deformação final (w_{fin}): calculada para a combinação de acções quase-permanente.

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi} \tag{3.30}$$

em que:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G}(1 + k_{def})$$ Para uma acção permanente, G (3.31)

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1}(1 + \psi_{2,1} k_{def})$$ Para uma acção variável de base da combinação, Q_1 (3.32)

$$w_{fin,Qi} = w_{inst,Qi}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$ Para os valores acompanhantes das acções variáveis, Q_i (3.33)

$w_{inst,G}$, $w_{inst,Q1}$, $w_{inst,Qi}$ Deformações instantâneas para as respectivas acções

Para o cálculo da deformação instantânea recorre-se a utilização do valor médio do módulo de elasticidade recorrendo aos habituais conceitos da Resistência dos Materiais. A equação 3.34 representa a flecha para sistemas simplesmente apoiados.

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EI} \tag{3.34}$$

onde:

q — carga actuante;

l — vão efectivo;

E — Módulo de elasticidade longitudinal;

I — Momento de inércia.

Os valores máximos de flecha admissíveis para elementos de madeira são estabelecidos no Eurocódigo 5 (EC5) como:

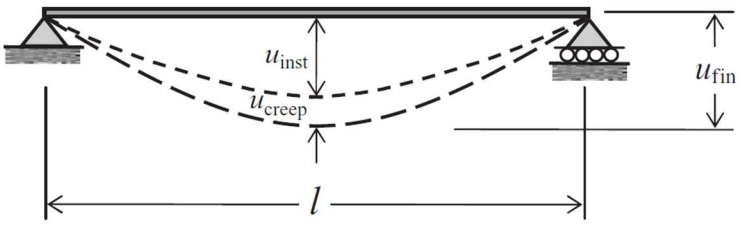


Figura 3.8 – Deformações instantânea e devido a fluência.

Tabela 3.5– Valores limites para flechas (Para elementos sem contra-flecha).

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

Os valores utilizados para balizar as deformações das análises apresentadas nos casos de estudo foram l/300 e l/250, respectivamente para a deformação instantânea e deformação final.

3.3.2.4 Quantificação e combinação das acções

Nos casos de estudo apresentados no Capítulo 5, a quantificação das acções permanentes sobre as estruturas foi realizada através da área transversal dos elementos e da massa volúmica definida em EN338 por classes de resistência. Os revestimentos foram contabilizados através dos materiais que se pode observar, espessura e peso específico.

As acções variáveis consideradas correspondem à sobrecarga e vento com valores característicos, respectivamente, de 0,40kN/m^2 e o correspondente a uma carga representativa de um conjunto simplificado de pressões equivalentes aos efeitos extremos do vento.

Para o estudo das acções nos casos de estudo, seguiu-se o método dos coeficientes parciais recomendado no Eurocódigo 0. As várias combinações foram consideradas para as diferentes situações de projecto. Os estados limites considerados foram o Estado limite último de rotura sendo as combinações consideradas as seguintes:

- Combinações Fundamentais

Na expressão seguinte apresentam-se as combinações fundamentais, segundo o EC0:

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i} \tag{3.35}$$

Em que:

γ_G – Coeficiente parcial relativo às acções permanentes, que também cobre incertezas de modelação e desvio de dimensões

G_k – Valor característico de uma acção permanente

$\gamma_{Q,1}$– Coeficiente parcial relativo à acção variável *i*

$Q_{k,1}$ – Valor característico da acção variável acompanhante *i*

γ_{Qi} – Coeficiente parcial relativo à acção variável *i*

$\psi_{0,i}$ – Coeficiente para a determinação do valor de combinação da acção variável *i*

$Q_{k,i}$ – Valor característico da acção variável acompanhante *i*

- Combinações Frequentes

Abaixo apresenta-se a expressão para as combinações raras, em estados limites de utilização:

$$E_d = G_k + Q_{k,1} \sum_{i \geq 1} \psi_1 Q_{k,i} \tag{3.36}$$

Em que:

G_k – Valor característico de uma acção permanente

$Q_{k,1}$ – Valor característico da acção variável acompanhante *i*

ψ_1 – Coeficiente para a determinação do valor frequente de uma acção variável

$Q_{k,i}$ – Valor característico da acção variável acompanhante *i*.

3.4 INTERVENÇÃO

A intervenção é fase última de todo o processo de "*Reabilitação"* muitas vezes mal empregue na actividade da construção. Na implementação de soluções de reabilitação ou reforço é muito importante assegurar a manutenção da autenticidade original das estruturas de madeira. Realça-se que segundo ICOMOS (2004), *"O valor de cada construção histórica não está apenas na aparência de elementos isolados, mas também na integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e do seu local. Desta forma, a remoção das estruturas internas mantendo apenas as fachadas não se adequa aos critérios de conservação."* E este princípio aplica-se as fachadas como qualquer outro componente estrutural ou arquitectónico do edifício.

Com o intuito de conservar todo esse material histórico-cultural é importante que a intervenção, seja empreendida quando se mostrar indispensável e projectada às causas dos danos, existindo uma preferência pela reparação dos elementos estruturais ao invés da sua substituição. As técnicas de

intervenção deverão mostrar-se o menos invasivas e mais compatíveis com o valor patrimonial e sempre que possível, adoptar medidas que sejam reversíveis para que possa ser removida/substituídas ou que não comprometam as intervenções posteriores. Assim as técnicas de intervenção preferem-se as de óptica preventiva na medida em que actuam na causa dos danos, uma vez que qualquer intervenção directamente nos elementos estruturais não resolve qualquer problema de estado de conservação.

CAPÍTULO 4

O MUSEU – CASO DE ESTUDO I

4.1 INTRODUÇÃO

Da campanha de trabalhos desenvolvidos durante o período de estágio realizaram-se actividades de caracterização geométrica e identificação de danos observados em fachadas, cobertura e pavimentos existentes de um edifício nobre aqui designado por "*O Museu"*. O desenvolvimento do actual capítulo baseia-se no documento final de Inspecção e Diagnóstico resultante dos dados recolhidos nas acções de inspecção, resultados de ensaios e registos fotográficos realizados no local. É objectivo deste caso de estudo em particular abordar, essencialmente, as acções relacionadas com as metodologias e resultados inerentes à temática da Inspecção de estruturas existentes.

O caso de estudo *"O Museu"* encontra-se organizado segundo a sequência de trabalhos realizada. Após a presente introdução é efectuada uma breve apresentação do edifício, fazendo-se uma descrição sucinta dos dados resultantes de uma pesquisa prévia ás acções de inspecção, como o registo das intervenções relevantes executadas ao longo da existência do edifício e condições de humidade e temperatura. Posteriormente, é feita uma descrição dos principais danos encontrados em elementos estruturais e as possíveis causas para a sua ocorrência. A avaliação do estado de conservação de alguns elementos estruturais foi realizada com recurso a ensaios tendencialmente não-destrutivos e que se encontram expostos no subcapítulo referente a cada material.

Toda a informação como peças desenhadas com plantas estruturais, localização de ensaios realizados e mapa dos danos encontrados encontram-se em anexo.

4.2 DESCRIÇÃO GERAL

O edifício do Museu, apresenta uma geometria rectangular em planta com uma área de implantação de aproximadamente 1460m^2, dispõe de um piso térreo (piso 0), um piso elevado (piso 1) e um conjunto de coberturas em duas águas que se interceptam nos quatro cantos do edifício. Salienta-se que o corpo Norte apresenta um pavimento intermédio entre o pavimento e o tecto do piso 1.

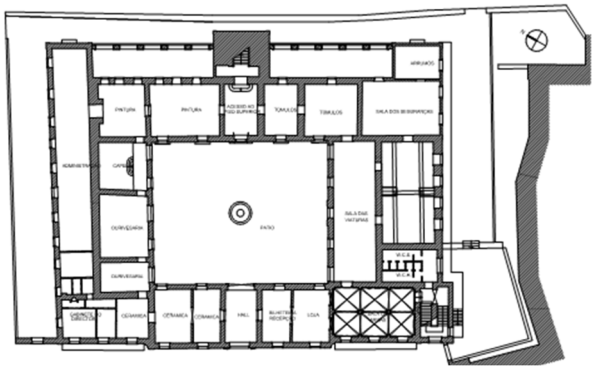
O edifício, que actualmente recebe o Museu, surge de uma sucessão de intervenções de um edifício original entre os anos de 1513 e 1540. Após análise da informação histórica, prevê-se que originalmente o edifício fosse constituído por uma estrutura tradicional, com paredes em alvenaria de granito que suportavam a estrutura em madeira dos pavimentos e cobertura, e as sucessivas intervenções ao longo dos anos levaram a actual estrutura ser composta por um misto de soluções construtivas em madeira e betão armado nos pavimentos do piso 1 e no desvão da cobertura. As intervenções históricas relevantes encontram-se com maior detalhe no capítulo 4.3.

O museu, actualmente em funcionamento, é dotado no piso do rés-do-chão (piso 0) de várias salas destinadas aos serviços de recepção dos visitantes, a áreas integrantes do circuito expositivo, como a sala da arqueologia, multimédia, biblioteca, e a áreas reservadas aos serviços internos do museu, como as oficinas e vestuários localizados na zona Sudeste do edifício. Devido a sua forma quadrada, o piso térreo apresenta no seu centro um pátio interior.

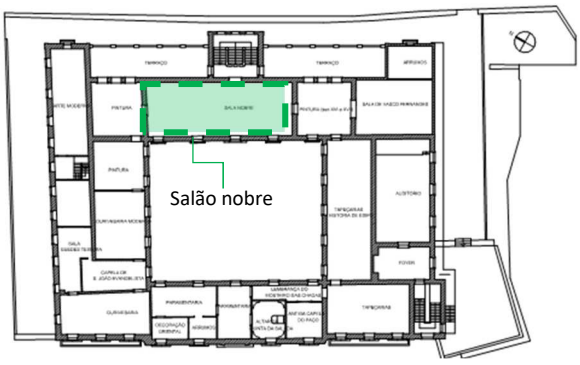
O piso superior ao rés-do-chão (piso 1) mantém uma continuidade ao circuito expositivo do piso térreo, com compartimentos destinados à exibição de pinturas, tapeçarias e exposição das capelas. Os compartimentos à Sudoeste do edifício é, o que se estima ser, a zona mais próxima da origem do edifício onde se encontra a capela do paço.

O piso intermédio, existente entre o pavimento e o tecto do piso 1 na ala oeste, deve-se a um aproveitamento do desvão da cobertura para utilização de serviços internos.

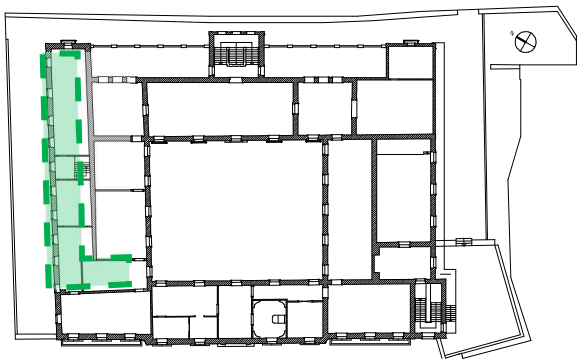
Na Figura 4.1, apresentam-se as plantas arquitectónicas do edifício do Museu, composta pela planta do piso 0, planta do piso 1 com destaque para o salão nobre muitas vezes referenciado ao longo do documento, piso intermédio e cobertura.



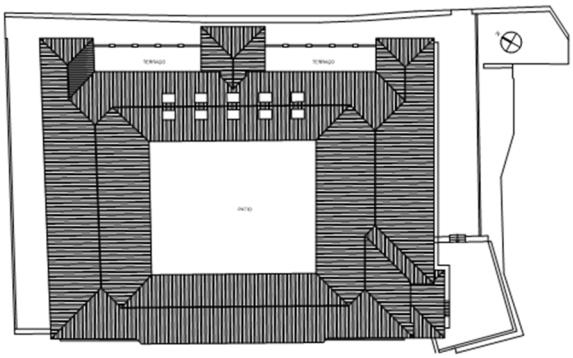
a) Planta do piso 0.



b) Planta do piso 1.



c) Planta do piso intermédio



d) Planta da cobertura

Figura 4.1 - Plantas arquitectónicas do edifício do Museu (sem escala).

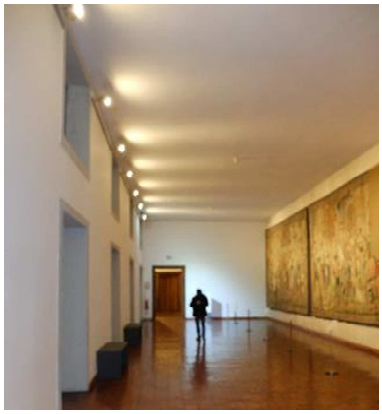
Na Figura 4.2 apresentam-se algumas fotografias recolhidas durante a inspecção ao edifício do Museu, distribuídas pelos diferentes pisos.





a) Piso térreo





b) Piso 1





c) Piso intermédio





d) Cobertura

Figura 4.2 – Levantamento fotográfico dos diferentes espaços no edifício do Museu.

4.3 PESQUISA HISTÓRICA

Uma das medidas importantes no diagnóstico das estruturas e que poderá dispensar ensaios e metodologias de caracterização dos elementos estruturais existentes consiste na realização de uma busca exaustiva por elementos físicos existentes de intervenções outrora realizadas na estrutura em análise. Este arquivo físico, frequentemente existente junto dos órgãos gestores dos municípios e/ou proprietário, além de possibilitar datar a existência das estruturas é um repositório de informação técnica muitas vezes útil para uma caracterização mais pormenorizada sem necessidade de qualquer grau de destrutividade e/ou equipamentos sofisticados, desde que seja informação fidedigna. Contudo esta informação deve ser sempre validada *in situ* prevenindo qualquer lapso no registo de intervenções, evitando a constituição de pressupostos sobre informação desactualizada. Este procedimento foi adoptado aquando da realização das actividades de inspecção no Museu. A informação organizada permitiu perceber a evolução estrutural do edifício, entender as anomalias que apesar de corrigidas ainda são detectáveis e justificar diferentes tipologias construtivas utilizadas em diversas zonas do edifício e que ainda permanecem.

O actual edifício do Museu nasce, após uma sucessão de alterações quanto ao tipo de ocupação, de um edifício que era originalmente uma casa episcopal erguida em 1513/1540. No inicio do seculo XX (1900/1910) o edifício foi afectado por uma grande reforma interior, através da reconstituição das vastas salas devastadas, e no ano 1917 instala-se o Museu. Nas décadas seguintes ás intervenções relevantes a nível estrutural foram sempre acompanhadas de intervenções de beneficiação e reparação das várias partes do edifício, em especial da cobertura. Através da pesquisa histórica disponível, resumem-se as intervenções com carácter estrutural:

-De 1930 a 1935:
-Colocados tirantes metálicos de aço na cobertura para anular o desaprumo de 50cm de uma parede do salão nobre voltada para o pátio;

-Demolição de uma parede de alvenaria reconstruída com aproveitamento da pedra existente;

-O tecto do salão nobre foi substituído por um tecto em madeira de castanho em caixotões;

-Demolida e reconstruída a parede do salão nobre junto à escadaria;

-Construída uma parede em alvenaria para regularização do assentamento do telhado do salão nobre.

-Entre 1937 a 1939:
-Demolidas e reconstruídas paredes sem indicação da localização das mesmas;

-Introdução de dois tarugos em castanho;

-Demolição de paredes em tabique e colocação de soalho em pavimento com vigas de madeira em diversas divisões.

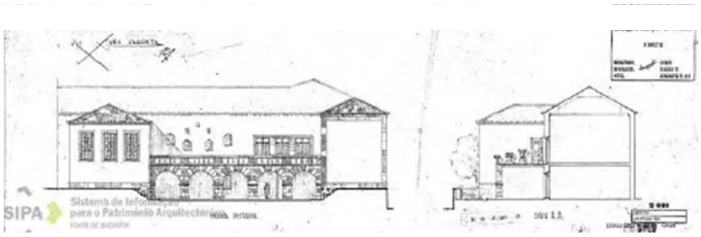
-De 1942 a 1944:
-Procedeu-se a execução dos tectos em castanho formando caixotões em várias divisões;

-Elevação de paredes de tabique em vários espaços;

-Construção de elementos em betão armado, nomeadamente, um pavimento em laje de betão armado e vigas de apoio e ainda um varandim na fachada posterior, Figura 4.3.



a) Fachada posterior do museu antes da intervenção da década de 1940.

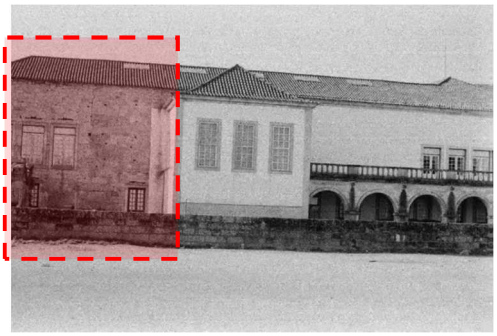


b) Elementos de projecto da construção do novo varandim na fachada posterior do edifício.

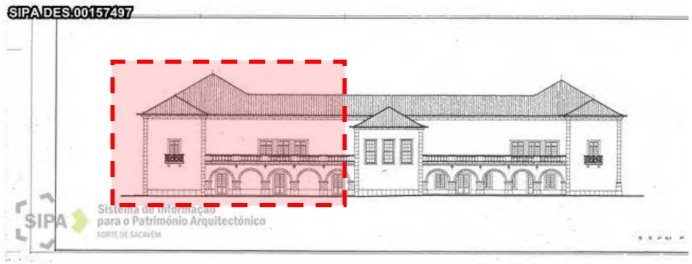
Figura 4.3 – Intervenção da década de 40. (Fonte: monumentos.pt)

Em 1945: -Rotura das madres originou o abate de uma zona localizada do telhado, devido a desastres naturais. As madres partidas da cobertura em madeira de pinho foram substituídas.

De 1968 a 1975: - A ala sul do edifício, até então ocupada pela forças da Guarda Nacional Republicana, é adaptada a Museu e sofre intervenções de ampliação, Figura 4.4.



a) Ala sul antes da adaptação a museu - Fachada posterior.



b) Projecto de construção da ala sul.

Figura 4.4 – Adaptação da ala sul a Museu. (Fonte: monumentos.pt)

Desde 1988 até ao ano de 2010 apenas há registo da abertura de janelas na parede da fachada sul, Figura 4.5, obras de recuperação do tecto do salão nobre com reposição de ripas e caibros apodrecidos, substituição de todo o beiral e refechamento de juntas nas cornijas.



a) Alçado da fachada Sul em 1968. (Fonte: monumentos.pt)



b) Alçado da ala sul em 2017. (Fonte: NCREP,2017a)

Figura 4.5 – Intervenções na parede da fachada Sul.

Este levantamento histórico ofereceu informação curiosa sobre os danos existentes e período de vida dos elementos com que se interagiu, embora insuficiente em relação à localização das intervenções. Da síntese descrita, destaca-se o desaprumo de 50 cm de uma das paredes do salão nobre, actualmente visível ao nível da cobertura em todas as paredes exteriores orientadas para o pátio, os tectos em caixotões executados entre 1930-1935 actualmente existentes. A probabilidade de os pavimentos existentes em madeira serem do final da década dos anos 30, aquando da colocação dos tarugos em pavimentos e execução dos mesmos com vigas de madeira, é elevada. Os elementos de betão armado existentes nos varandins na zona posterior do edifício são do inicio da década de 40, ou seja, elementos em betão armado ou pavimentos de madeira exercem à mais de 70 anos a função estrutural.

A par dos elementos históricos de intervenção foram fornecidos um conjunto de dados referentes à variação anual de temperatura e humidade relativa, do período de 2006 a 2009, que eram registados periodicamente por piso e por compartimento. Este tipo de informação é relevante tendo em conta o descrito no 3.3.2. A intervenção no edifício prevê a alteração das condições de temperatura e humidade o que afecta directamente as propriedades mecânicas da madeira e consequentemente a resistência, como tal deverão ser salvaguardadas as condições actuais. Permite também conhecer a predisposição do local a ataques de agentes bióticos face às condições ambientais a que se encontram os espaços. Segundo Costa, A. A. (2016) são três os factores que criam condições para o crescimento de fungos, a presença de oxigénio, temperatura e humidade relativa na gama de 10^{o}C-40^{o}C e 20% a 100%, respectivamente. O ataque de agentes bióticos, predominantemente fungos e insectos xilófagos, causam a degradação das peças de madeira e a consequente perda de resistência mecânica.

Posto isto, na Figura 4.6 encontra-se exemplificada a variação anual da temperatura e humidade relativa baseada nos elementos fornecidos onde é possível constatar valores médios de humidade relativa na ordem dos 45% e uma temperatura média entre os 15^{o}C e 20^{o}C.

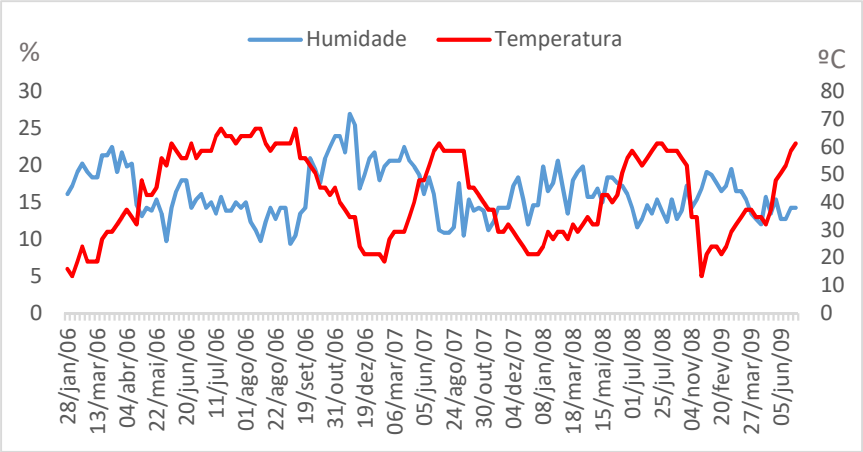


Figura 4.6 – Variação de temperatura e humidade relativa do salão nobre do Museu.

4.4 SISTEMA ESTRUTURAL

A caracterização estrutural do Museu foi efectuada com o intuito de aferir as propriedades dos elementos e o seu funcionamento integrado. Durante a campanha de reconhecimento foram realizados ensaios de identificação e caracterização da estrutura, os quais envolveram a caracterização da geometria da secção dos vários elementos estruturais. Nesta fase destaca-se a identificação visual do sistema construtivo e do funcionamento estrutural dos vários elementos, bem como as medições gerais para a determinação da geometria das secções. Os pormenores construtivos descritos no presente relatório incluem essencialmente a caracterização da tipologia dos elementos verticais e horizontais da estrutura do Museu que abrangeu a cobertura e os restantes pisos.

Neste capítulo pretende-se fazer uma descrição sumária do sistema estrutural que deve ser acompanhada pelas plantas estruturais, pormenores e alçados dos elementos estruturais do edifício identificados através das acções de levantamento e inspecção que se encontram em anexo.

Construtivamente o Museu é composto, na sua generalidade, por uma estrutura vertical resistente em paredes de alvenaria em pedra, para apoio das estruturas em madeira dos pavimentos do piso 1 e da cobertura. A ala Sudeste do edifício é excepção ao sistema descrito, apresentando um conjunto de lajes e vigas em betão armado (no pavimento do piso 1 e no desvão da cobertura) e paredes em alvenaria de tijolo cerâmico, essa zona é materializada por pórticos de betão. Salienta-se a existência de um aproveitamento do desvão na cobertura da ala Noroeste, com um pavimento em laje de betão armado. A cobertura existente do edifício apresenta um conjunto de quatro coberturas de quatro águas, de configurações estruturais distintas em altura e em planta, conforme descrito no próximo subcapítulo.

4.4.1 Estruturas do piso térreo

O pavimento térreo (piso 0) das várias salas do edifício é, em geral, compostos por um revestimento cerâmico e lajeado em granito, Figura 4.7a e Figura 4.7b. Salienta-se que o pavimento do pátio no interior do edifício apresenta um conjunto de alinhamentos em lajeado de granito.



a) Pavimento térreo com revestimento cerâmico.



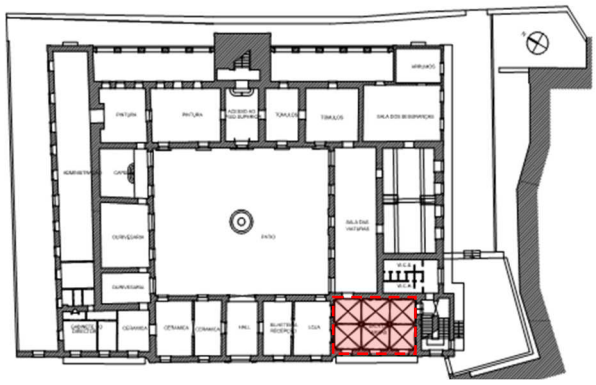
b) Pavimento térreo com revestimento lajeado em granito.

Figura 4.7 – Pavimento térreo existente.

No piso 0, é possível observar um conjunto de pilares em cantaria de pedra de suporte a um tecto em abóbada executado com tijolo cerâmico e revestido a estuque, Figura 4.8. Outros dois pilares em cantaria situam-se na ala sudeste, suportando vigas de betão armado de apoio do piso imediatamente superior.



a) Tecto em abóbada.



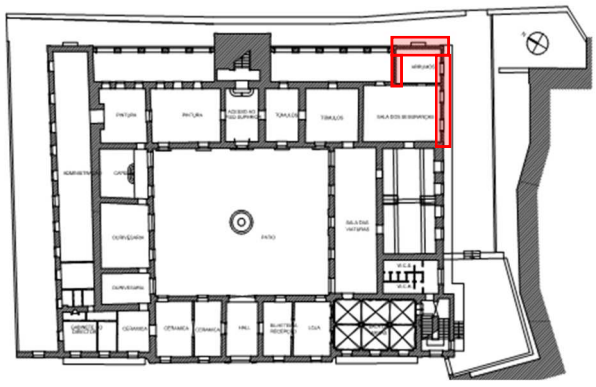
b) Localização em planta.

Figura 4.8 – Pilares em cantaria de pedra de suporte do tecto em abóbada.

As paredes existentes são maioritariamente em alvenaria de pedra, tanto na periferia exterior do edifício assim como na compartimentação dos espaços interiores, salvo a zona sudeste em que as paredes exteriores, da sala dos vestuários, são constituídas por blocos cerâmicos furados que servem de preenchimento de um presumível sistema de pórticos que se estendem até à cobertura, Figura 4.9. Num registo idêntico à generalidade do edifício, também os materiais construtivos de elementos ornamentais, padieiras, ombreiras e as escadas de acesso ao piso 1 são de cantaria de pedra, apoiando estas últimas em alvenarias.



a) Tijolo furado de coroamento da parede.



b) Localização em planta.

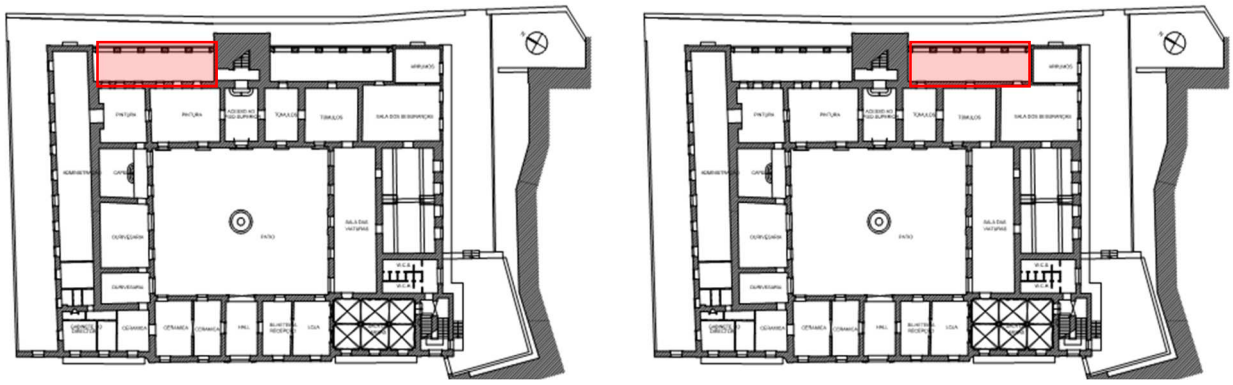
Figura 4.9 – Paredes em alvenaria de blocos de betão e tijolo cerâmico furado.

No tardoz do edifício é visível um conjunto de arcos estruturais em pedra de suporte das lajes de varanda existentes no piso 1.

4.4.2 Estruturas do piso 1

Os pavimentos do piso 1 são, maioritariamente, compostos por elementos de madeira simplesmente apoiados nas paredes de alvenaria existentes. Embora constituídos por elementos de secções e espaçamentos diferentes, os pavimentos são constituídos por uma estrutura com vigas principais que apoiam nas alvenarias e vigas secundárias com orientação transversal às vigas principais. Por último os tectos têm uma estrutura de suporte próprio ligada a estrutura do pavimento.

Na zona tardoz, o edifício é dotado de duas varandas com sistemas estruturais distintos. A laje mais a norte trata-se de uma laje maciça de betão armado em duas direcções que faz a distribuição da sua carga para as vigas em betão armado de secção 33x42cm^2 e directamente para os arcos de pedra existentes, Figura 4.10a. A varanda a sul é constituída por vigotas de betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas que descarregam directamente nos arcos e alvenaria de pedra exterior, Figura 4.10b.



a) Varandim a Norte em laje maciça de betão. b) Varandim a Sul em laje aligeirada.

Figura 4.10 – Localização em planta dos varandins.

Todos os pavimentos da ala sul do edifício são constituídos por soluções pré-fabricadas em betão armado (lajes aligeiradas), assim como a área Norte que serve de tecto à área de serviços administrativos do museu. Na Figura 4.11 estão assinalados os pavimentos maciços e/ou aligeirados em betão armado.

No piso 1 são interrompidas algumas das paredes de alvenaria existentes no piso 0, prolongando-se na zona superior em paredes de frontal, Figura 4.12.

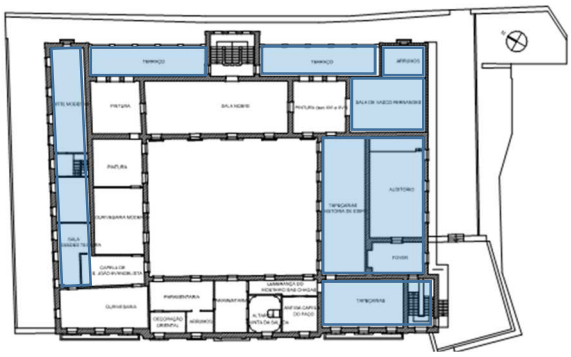


Figura 4.11 - Planta arquitectónica do piso 1 (sem escala).



Figura 4.12 - Parede frontal observável na cobertura.

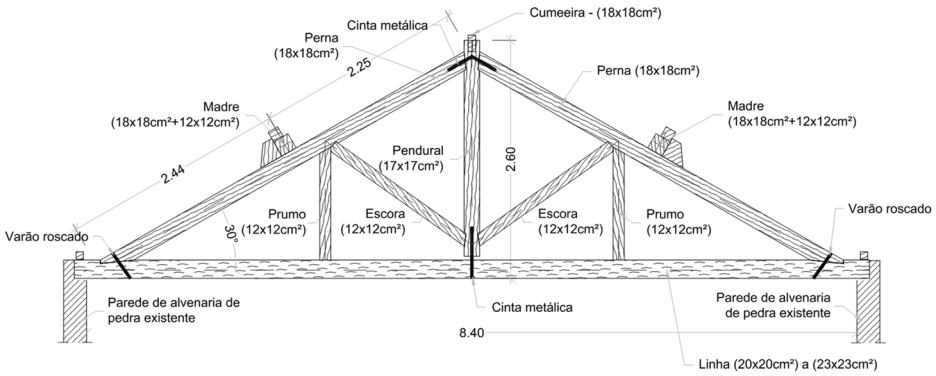
4.4.3 Estrutura da cobertura

O edifício do Museu apresenta um conjunto de coberturas de duas águas, de configurações estruturais distintas em altura e em planta. É constituída por um conjunto de asnas aqui designadas do tipo A1 a A7.

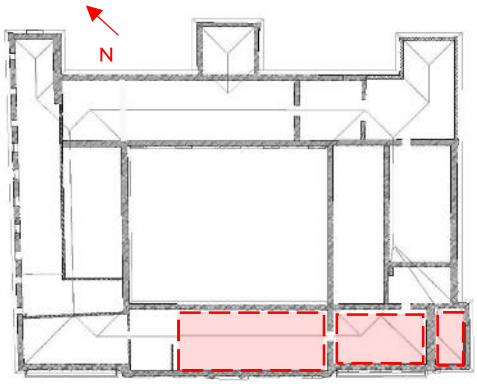
Estrutura de asna do tipo A1

A estrutura da asna composta do tipo A1 encontra-se localizada na zona sudoeste junto à fachada principal do edifício, Figura 4.13b. Estas asnas encontram-se apoiadas entre paredes de alvenaria de pedra, vencendo um vão médio de 8,40m e têm uma altura média de 2,50m. As asnas são simétricas e materializadas por uma linha, duas pernas, pendural principal e secundários e escoras de madeira maciça do tipo folhosa (possivelmente Castanho) e ligadas entre si por meio de varões roscados, chapas e/ou ligações entalhadas. Na Figura 4.13e, é visível a composição da linha por dois elementos de madeira independentes ligados entre si por meio de varões roscados e ligação entalhada. Os elementos das asnas têm secção quadrada: linha (20x20cm^2), pendural principal (17x17cm^2), pernas (18x18cm^2), escoras e pendurais secundários (12x12cm^2), Figura 4.13a.

As asnas servem de suporte à secção de 18x18cm^2 que materializa a cumeeira e madres principais, também elas de secção 18x18cm^2. As madres têm um complemento de uma peça de seção 12x12cm^2. O vão livre da cumeeira, apesar do espaçamento de 5m entre asnas, é menor que este espaçamento devido à presença de um elemento de ligação entre o pendural e a cumeeira (do tipo mão francesa) que reduz o vão para cerca de 1,70m.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A1. (sem escala).



b) Localização e extensão das asnas A1.



c) Vista geral da asna A1 e mão francesa



d) Pormenor da ligação linha-perna com varão roscado.



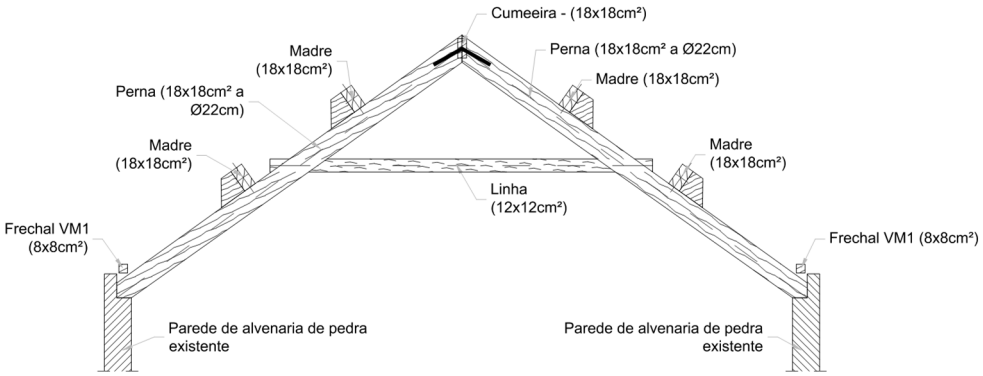
e) Pormenor da ligação linha-pendural e entalhe entre linhas.

Figura 4.13 – Estrutura em madeira da cobertura existente - Asna A1.

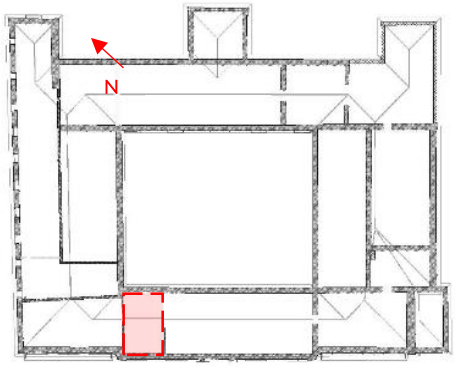
Estrutura de asna do tipo A2

Numa zona diminuta da cobertura junto a fachada principal, observa-se uma asna composta por uma linha elevada e duas pernas, Figura 4.14. A elevação da linha tem o intuito de ultrapassar a obstrução criada pelo sistema de apoio dos tectos do piso situado imediatamente abaixo da cobertura.

Resultante da inspecção visual preliminar, foram levantadas anomalias que colocam em questão o nível de segurança do sistema, como a degradação significativa por ataques de agentes bióticos, a deformação dos elementos que colocam o sistema num mau estado de conservação. O mau estado de conservação aliado ao inadequado sistema estrutural colocam em causa a estabilidade desta zona da cobertura.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A2. (sem escala).



b) Localização e extensão das asnas A2.



c) Vista frontal para a asna do tipo A1 e asna A2 na zona assinalada.

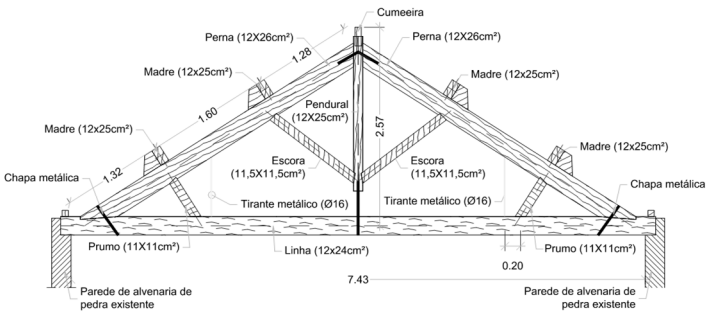
Figura 4.14 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A2.

Estrutura de asna do tipo A3

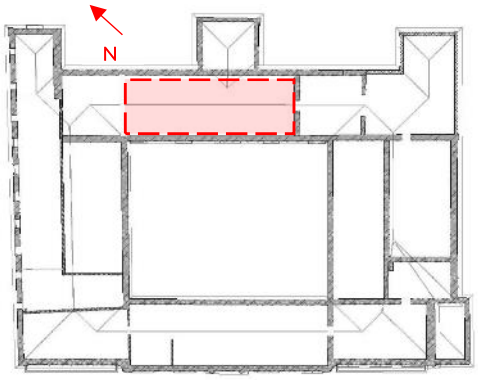
O espaço que serve de cobertura à zona do salão nobre é constituído por um sistema de asnas do tipo A3 que servem de apoio aos elementos secundários como madres, cumeeira e rincões, Figura 4.15.

As asnas são simétricas e materializadas por uma linha, duas pernas, pendural, tirantes metálicos (pendurais secundários) e escoras. Pressupõe-se que a madeira é maciça do tipo folhosa (presumivelmente Castanho) e as peças de madeira encontram-se ligadas por meio de chapas metálicas, entalhadas ou parafusos de rosca. Os elementos das asnas têm geometria rectangular de secção: linha (12x24cm^2), pendural principal (12x25cm^2), pernas (12x26cm^2), escoras e tirantes metálicos (Ø16 mm), Figura 4.15a.

Apoiadas entre paredes de alvenaria de pedra, as asnas vencem um vão médio de 8,70m e uma altura média de 2,25m. Sobre os elementos secundários, apoiam-se as varas em madeira maciça que recebem um painel de guarda-pó e telhas cerâmicas. Estas asnas encontram-se apoiadas entre paredes de alvenaria de pedra, vencendo um vão médio de 8,70m e uma altura de 2,25m. No topo das asnas temos uma cumeeira de secção 12x24cm^2 que, apesar do espaçamento de 5m entre asnas, o seu vão livre é menor que este espaçamento devido à presença de um elemento de ligação entre o pendural e a cumeeira (do tipo mão francesa) que reduz o vão para cerca de 1,30m. As madres principais exibem uma seção de madeira maciça de 12x25cm^2.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A3. (sem escala).





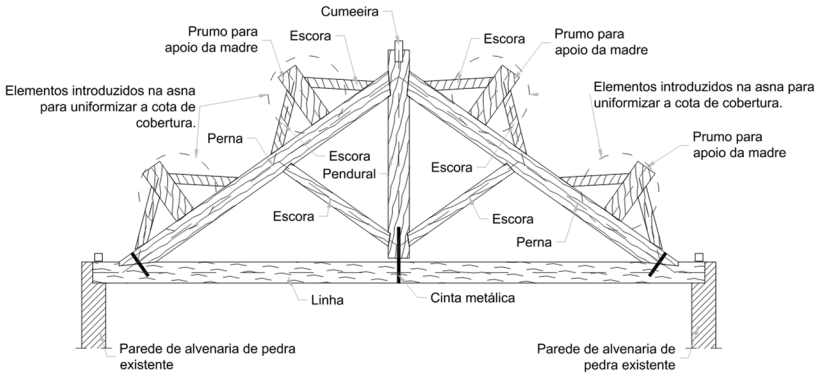
b) Localização e extensão das asnas A3. c) Vista geral da asna A3.

Figura 4.15 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A3.

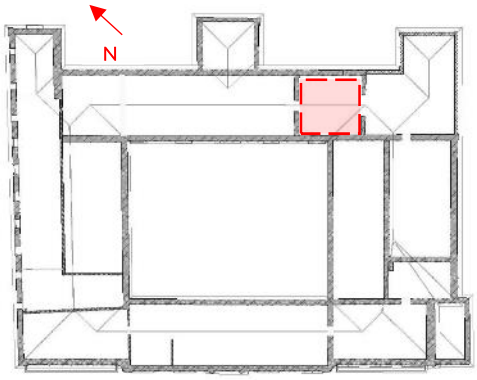
Estrutura de asna do tipo A4, A5 e A6

À semelhança do que foi já descrito sobre as asnas tipo A2, as asnas de A4 a A6 encontram-se num estado de conservação mau, sendo detectável desde logo o inadequado sistema estrutural, a rotura de alguns dos elementos assim como anomalias devido a ataques de agentes bióticos. Os esquemas estruturais das asnas em questão encontram-se esquematizadas na Figura 4.16, Figura 4.17 e Figura 4.18.

Da asna A4 constituída por duas pernas, linha, pendural e escoras, salienta-se a adição de uma estrutura secundária para elevação em altura das madres e regularização da cota do telhado da cobertura.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A4. (sem escala).



b) Localização e extensão das asnas A4.



c) Vista geral da asna A4.

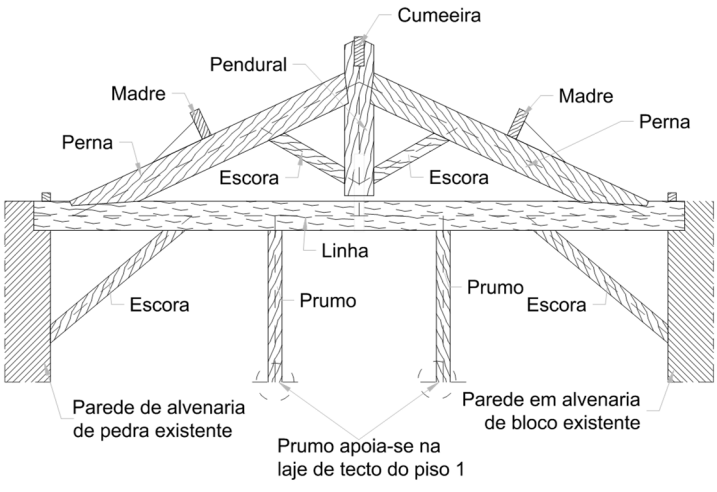




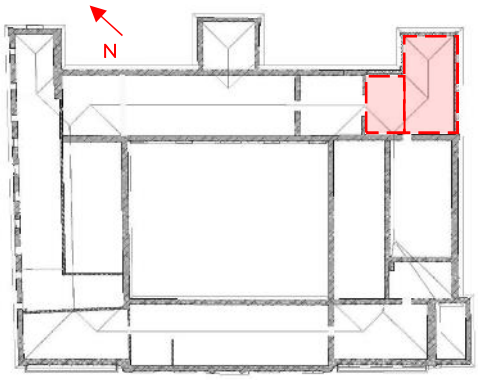
d) Pormenor da elevação das madres em altura.

Figura 4.16 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A4.

Particulariza-se, das asnas do tipo A5, a redução do vão da linha com adição de escoras que apoiam directamente na laje de betão do tecto do piso inferior ou nas paredes de alvenaria. Algumas destas asnas servem ainda de apoio às asnas transversais que descarregam directamente nas linhas introduzindo cargas pontuais ao longo da extensão da linha, um sistema estrutural altamente desaconselhado.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A5. (sem escala).



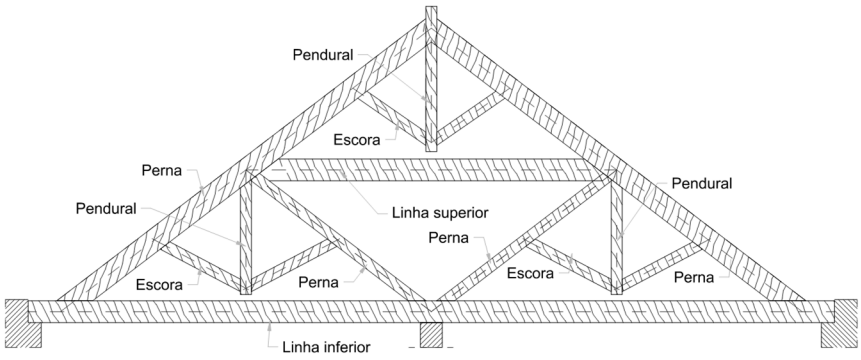
b) Localização e extensão das asnas A5.



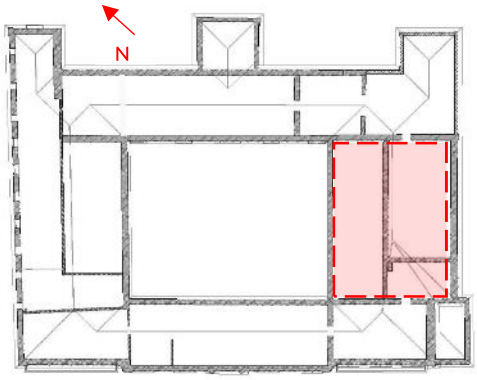
c) Vista geral da asna A5 com pormenor de apoio de uma asna na linha da asna transversal.

Figura 4.17 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A5.

A estrutura das asnas do tipo A6 foram as asnas de maiores dimensões em altura encontradas em todo o sistema estrutural da cobertura. É formada por um complexo conjunto de pernas, linhas, pendurais e escoras que permitem a estabilidade da cobertura. Composta por seções rectangulares, ligadas entre si por ligadores metálicos e ligações entalhadas, as asnas apoiam directamente nas vigas de betão armado, que se encontram betonadas contra as paredes de alvenaria periféricas, e na viga de betão armado a meio vão da linha da asna, Figura 4.18e. Estas asnas apresentam pernas já reforçadas e actualmente com secções duplas, Figura 4.18c. O conjunto da asna é materializada por uma asna superior que apoia em duas outras asnas mais reduzidas a uma cota inferior, Figura 4.18a.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A6. (sem escala).



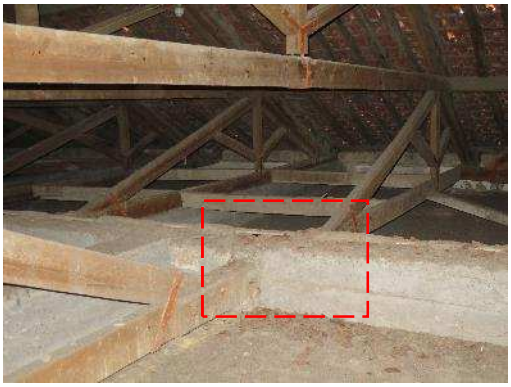
b) Localização e extensão das asnas A6.



c) Pormenor de perna com secção dupla e rotura da entrega.



d) Zona superior da asna.

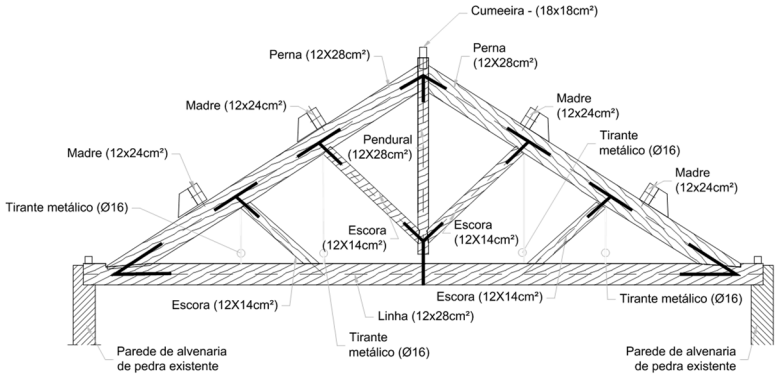


e) Zona inferior da asna com pormenor de linha embebida em betão.

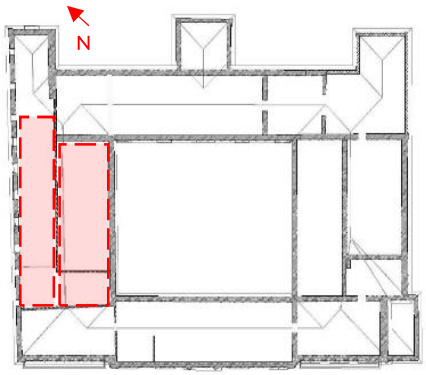
Figura 4.18 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A6.

Estrutura de asna do tipo A7

A estrutura da asna composta do tipo A7 encontra-se localizada na zona oeste junto à fachada lateral do edifício, Figura 4.19b. Facilmente se conclui que se tratam de asnas recentes e sobre as quais apoiam os elementos secundários como madres, cumeeira e rincões, Figura 4.19. A estrutura resistente principal dessa zona cobertura é constituída por asnas compostas (A7) em madeira lamelada colada e tirantes metálicos. Estas asnas encontram-se apoiadas entre paredes de alvenaria de pedra, vencendo um vão médio de 14m. As asnas são simétricas e concretizadas por uma linha, duas pernas, pendural principal e secundários e escoras de madeira lamelada colada e ligadas entre si por meio chapas ou entalhadas. Os elementos das asnas têm geometria de secção rectangular: linha (12x28cm^2), pendural principal (12x28cm^2), pernas (12x28cm^2), escoras (12x14cm^2) e pendurais metálicos (Ø16 mm), Figura 4.19a. As madres e as varas são de madeira lamelada colada, análogas aos restantes elementos da asna, de secção 12x24cm^2 e 7,5x7,5//0,60 cm^2/m, respectivamente.



a) Esquema estrutural da asna do tipo A7. (sem escala).



b) Localização e extensão das asnas A7.



c) Vista geral da asna A7.



d) Pormenor das ligações entre elementos.



e) Pormenor do pendural metálico.

Figura 4.19 – Estrutura em madeira da cobertura existente -Asna A7.

4.5 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS IN-SITU

A inspecção para a caracterização geométrica, material e do estado de conservação dos elementos estruturais foi complementada e validada através da realização de ensaios tendencialmente não destrutivos, entre os quais:

- Martelo, que forneceu indicações acerca do estado de conservação da madeira através da apreciação do som da resposta produzido pelo seu impacto;
- Formão, que permitiu avaliar de forma relativa a dureza da madeira e a existência de degradações superficiais nos elementos;
- Higrómetro, para a avaliação do teor em água dos elementos, dando indicações acerca de eventuais entradas de água no interior e do potencial de ataque de agentes bióticos;
- *Resistograph®*, para a avaliação do estado de conservação interno e superficial da madeira;
- *Ferroscan* para caracterização das disposições construtivas em lajes aligeiradas e vigas;
- Ensaio com fenolftaleína para avaliação da profundidade de carbonatação no betão;
- Detector de metais que permitiu identificar os alinhamentos das vigas, não sendo assim necessário remover os soalhos e/ou tectos para avaliação directa dos pavimentos de madeira.
- Videoscópio, que permitiu verificar o sistema construtivo e a detecção de danos dos pavimentos através de pequenos orifícios existentes no soalho. Este mecanismo permitiu ainda caracterizar a tipologia construtiva das abóbadas e vigas existentes;
- Janelas de sondagem, que permitiram a inspecção visual directa da zona das abóbadas, vigas e lajes de betão;
- Acelerómetro, que permitiu estimar a frequência de vibração do pavimento e consequentemente a sua rigidez e a forma como se poderá comportar quando submetido a solicitações.



a) *Resistograph®*.



b) Detector de metais.



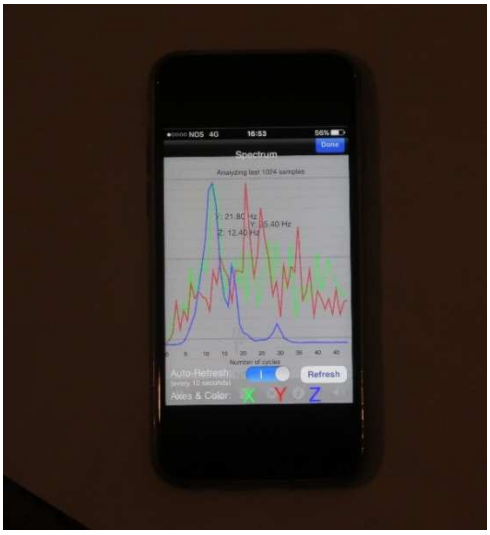
c) Ferroscan.



d) Fenolftaleína.



e) Videoscópio.



f) Acelerómetro.

Figura 4.20 – Instrumentos utilizados nas campanhas de inspecção no Museu.

O funcionamento do museu em simultâneo com a realização da inspecção inviabilizou a inspecção directa da estrutura dos pavimentos de madeira, pelo que se recorreu à acção conjunta de dois instrumentos de ensaio não destrutivos para analisar as vigas de madeira. O detector de metais serviu para identificar os alinhamentos das vigas (através da detecção dos pregos de fixação do soalho às

vigas), e o *Resistograph®* serviu para avaliar o estado de conservação das vigas, em particular das zonas de entrega nas paredes de alvenaria de pedra. Esta acção conjunta permitiu ter uma percepção da configuração da estrutura dos pavimentos (secção e espaçamento das vigas) e analisar o estado de conservação dos vários elementos e a extensão de ataques de agentes bióticos.

No total foram realizados 18 ensaios em asnas de cobertura e 36 ensaios em vigas de pavimento com recurso ao *Resistograph®*, em elementos de madeira, em zonas especificamente escolhidas e representativas da estrutura de madeira da cobertura e do pavimento.

Os ensaios de profundidade de carbonatação foram realizados através do ensaio de fenolftaleína em elementos de betão armado. No total foram realizados 8 ensaios em que a globalidade apresentava uma avançada profundidade de carbonatação.

Com *Ferroscan* foram realizados 6 ensaios de reconhecimento de armaduras em lajes e em vigas.

4.6 DANOS OBSERVADOS

4.6.1 Introdução

A inspecção visual ao edifício do Museu foi realizada com o intuito de verificar a existência de danos, avaliar a sua intensidade e extensão, permitindo compreender qual o estado de conservação geral da estrutura existente.

Na generalidade, a estrutura do museu encontra-se em razoável estado de conservação, não apresentando danos significativos que ponham em causa a sua estabilidade estrutural. O mesmo não acontece nos elementos estruturais da cobertura, que apresentam ataques generalizados por insectos sociais (térmitas), insectos xilófagos e sistemas estruturais desadequados. Realça-se, sobretudo a forte presença de manchas de humidade ascensional nas paredes interiores e exteriores do edifício assim como os ataques à cobertura de agentes bióticos e insectos sociais como já referido.

Os danos estruturais observados no museu, e apresentados na próxima subsecção, foram mapeados e documentados nas peças desenhadas apresentadas em anexo. A localização dos danos foi elaborada segundo uma lista, Tabela 4.1, de danos estruturais dividida por tipo de elemento estrutural e representada espacialmente nas peças desenhadas.

Tabela 4.1 – Lista dos danos observados e legenda da representação em planta.

DANOS ESTRUTURAIS					
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA		ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA		ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1	Desagregação granular das unidades de pedra	A1	Degradação do betão com destacamento	B1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2	Humidade ascensional generalizada	A2	Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Rotura em elementos estruturais	M3	Fissuração horizontal	A3	Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Sistema estrutural desadequado	M4	Fissuração vertical	A4	Fissuração irregular ligeira	B4
Deformação significativa	M5	Separação de paredes ortogonais	A5	Ninhos de brita	B5
Degradação generalizada por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6	Manchas de humidade	A6		
Presença de revestimentos impermeáveis	M7	Deformação fora do plano	A7		
Degradação pontual do estuque e fasqulado	M8	Existência de argamassa cimentícia	A8		
		Abertura de juntas	A9		
		Rotura da padieira	A10		

4.6.2 Presença de humidade

As paredes em alvenaria de pedra apresentaram-se na sua generalidade com diversos focos de humidade, predominantemente ascensional, que deu origem a algumas eflorescências e criptoflorescências, generalizada por todo o edifício com especial incidência nas paredes das fachadas a Nascente chegando a atingir cotas de 1,90m, Figura 4.21. Este fenómeno de migração de sais dos materiais pétreos tem algum poder destruidor que pode afectar a durabilidade das alvenarias assim como a resistência. Este elevado teor de humidade nestas zonas é um potencial factor de degradação das vigas de madeira, assim como aumento da velocidade de carbonatação do betão e consequentemente corrosão das armaduras.

Esta situação potenciou a degradação acentuada da argamassa de preenchimento de algumas juntas que agora se encontram argamassadas com cimento, assim como os seus rodapés, o que aliado à presença de humidade nestas paredes poderá resultar numa degradação a médio/longo prazo dos elementos pétreos.

Por último, é visível também a presença de humidade devida à infiltração de águas nos tectos dos varandins situados na zona posterior do edifício. Este dano tem como possível causa a deficiente impermeabilização de pontos singulares entre as zonas de laje e escoamento de água, Figura 4.21c.



a) Manchas de humidade ascensional observadas na parede da fachada interior nascente.



b) Manchas de humidade ascensional na parede da fachada poente.



c) Manchas de infiltração de águas pluviais na laje de varanda na zona das arcadas.



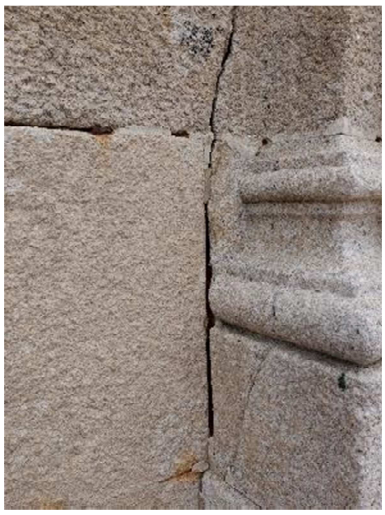
d) Proliferação de fungos na soleira e ombreira da janela.

Figura 4.21 – Danos de humidade observados no edifício.

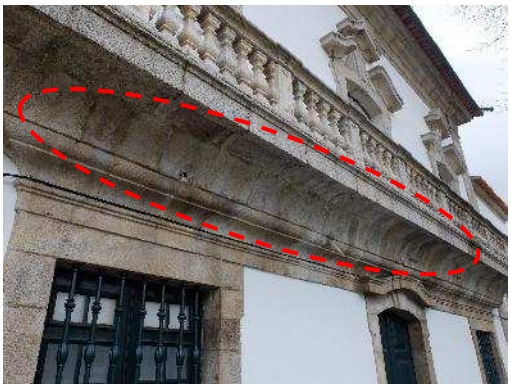
4.6.3 Abertura de juntas e incompatibilidade com argamassa

Encontraram-se junto da entrada principal aberturas de juntas nas obras de cantaria aí existentes, assim como outras já fechadas com recurso a técnicas não recomendadas, como o recurso à argamassa de cimento para elementos de pedra, Figura 4.22a. Este último é igualmente visível elementos de pedra das varandas da fachada principal, cantaria das janelas, rodapés e outros elementos pontuais no interior do edifício, Figura 4.22b.





a) Abertura de juntas em cantaria do portão principal.





b) Juntas com argamassa de cimento.

Figura 4.22– Abertura de juntas e incompatibilidade com argamassa.

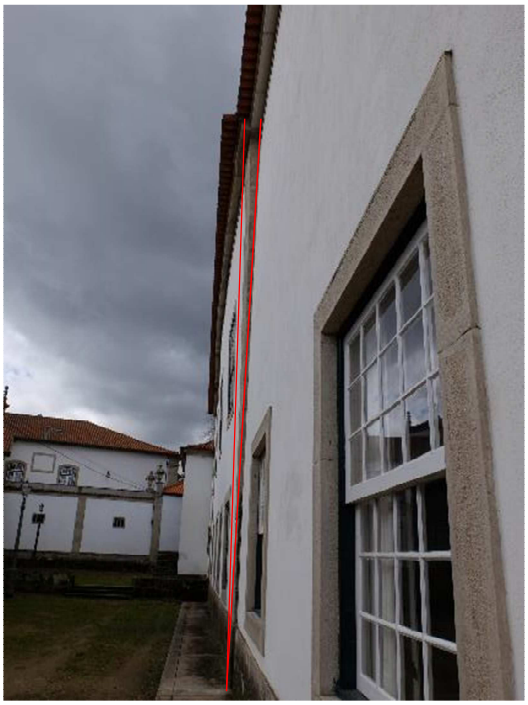
4.6.4 Deformação fora-do-plano

De um modo geral, as paredes exteriores encontram-se em bom estado de conservação não sendo visível anomalias relevantes. Além das anomalias por presença de humidade já apresentadas, apenas se encontram fissuras pontuais numa ou outra zona do edifício, Figura 4.23a. Contudo, é detectável a deformação fora-do-plano das paredes exteriores na zona do pátio, fachada principal e fachada Sudeste ao nível do piso 1 e cobertura, possivelmente instaladas à alguns anos, como se verificou em 4.3. O desaprumo entre fachadas que se observa em Figura 4.23b, deve-se à diferença temporal das construções das fachadas. A fachada que não se encontra deformada, presume-se que seja materializada por pórticos de betão executada na década de 70.





a) Fissuração das paredes.



b) Deformação fora-do-plano da fachada sudeste.



c) Fissuração vertical entre paredes exterior e parede frontal.

Figura 4.23– Deformação fora-do-plano.

4.6.5 Danos estruturais observados nos elementos estruturais de betão

Relativamente aos elementos de betão armado, são visíveis as manchas de humidade presentes nas lajes nas varandas no tardoz do edifício. Essas manchas revelam um elevado teor em humidade e por isso uma elevada possibilidade de ter ocorrido a carbonatação do betão, Figura 4.24. Desta forma, o fenómeno de corrosão é potenciado o que pode causa a degradação das armaduras dos elementos de betão armado, o que naturalmente os fragiliza e, consequentemente, reduz a sua capacidade resistente.



a) Mancha de humidade na laje de varanda.



b) Mancha de humidade no arco junto à laje de varanda.

Figura 4.24– Manchas de humidade em elementos de betão.

Foram detectados elementos de betão armado com destacamento e delaminação do betão o que indicia a corrosão das armaduras, Figura 4.25a. O processo de corrosão das armaduras origina reacções expansivas do aço contribuindo para o destacamento do betão da camada de recobrimento. Este fenómeno é por vezes intensificado pelo facto de o betão existente não possuir a qualidade ou recobrimento suficiente, contribuindo para um processo mais rápido de despassivação das armaduras. Na zona das arcadas, através da observação directa foi verificado esse pressuposto, posteriormente validado pelos ensaios de fenolftaleína que mostraram uma camada profunda de betão carbonatado a par da armadura corroída e com perda de secção, Figura 4.25b. A profundidade de carbonatação média encontrada nos elementos de betão foi de cerca de 6cm, ou seja, superior à profundidade a que se encontrava a armadura resistente. Embora se tenham realizados ensaios de fenolftaleína com indicadores de um betão são, a amostra de betão não carbonatado era reduzida.



a) Destacamento do betão.



b) Pigmentação incolor após aplicação da solução de fenolftaleína.

Figura 4.25 – Danos estruturais em elementos de betão.

Nos elementos estruturais em betão armado encontrados no interior do edifício não apresentavam anomalias que apontassem um mau/razoável estado de conservação, tendo-se apenas detectado ninhos

de brita, que normalmente têm origem no processo de betonagem associado à uma vibração defeituosa.

Ensaios realizados em elementos estruturais de betão

No que respeita à avaliação da durabilidade dos materiais em betão, foi realizado o ensaio com recurso a aplicação de um indicador químico de solução de fenolftaleína em furos realizados nos elementos existentes para determinação da profundidade de carbonatação do betão (CB). A carbonatação do betão é anomalia mais corrente na deterioração do estado de conservação do betão armado. O dióxido de carbono (CO_2) presente no ar, penetra nos poros do betão provocando uma reacção química com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) produzindo carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ocorrendo em simultâneo a redução de alcalinidade do betão. Assim que a armadura é atingida pelo betão carbonatado estas ficam despassivadas e em potencial risco de corrosão comprometendo deste modo a integridade do betão e consequentemente da estrutura.

Este procedimento assenta no facto de uma superfície de betão, imediatamente após a sua fractura ou picagem em contacto com uma solução de fenolftaleína produz uma coloração rosa forte quando não existem indícios de carbonatação. No caso contrário não se obtém qualquer coloração, traduzindo uma diminuição do valor do pH do betão. Conhecendo a profundidade de carbonatação num elemento de betão é possível avaliar a sua durabilidade e estimar a extensão das zonas a reparar, quando justificável.

A campanha de ensaios de profundidade de carbonatação permitiu avaliar o estado de conservação dos elementos de betão, e incidiu sobre os elementos de betão situados na zona tardoz e exterior do edifício. No total foram realizados, nas lajes e vigas, 8 ensaios semi-destrutivos *in situ* com uma solução de fenolftaleína nas posições indicadas nas peças desenhadas em anexo.

Os ensaios demonstram que o betão exposto no exterior do edifício, zona dos varandins, apresenta na generalidade carbonatação para além dos 6cm de profundidade. Tendo em consideração que o recobrimento das armaduras medido é de 3cm conclui-se que uma parte considerável das armaduras já perderam a sua película passivante. Adianta-se ainda que as armaduras se encontravam em estado avançado de corrosão e com perda de secção acentuada.

O ensaio de profundidade de carbonatação da estrutura existente no interior do edifício validou o bom estado de conservação de toda a secção da viga que, superficialmente, também não apresentava qualquer dano. Recorde-se que o único dano encontrado nestes elementos foi a presença de ninhos de brita.

Outro ensaio realizado durante a campanha de inspecção foi o reconhecimento de armaduras com recurso a *Ferroscan*. No total foram realizados 6 ensaios de reconhecimento de armaduras em lajes e

em vigas. Era objectivo principal deste ensaio a confirmação de armadura nos elementos de betão assim como a detecção de possíveis elementos ocultos, como vigas, através da detecção e avaliação da densidade da armadura.

4.6.6 Danos estruturais observados nos elementos estruturais de madeira

Durante as acções de inspecção foram detectados alguns danos nos elementos estruturais de madeira, que deram indicações importantes em relação ao estado de conservação e à necessidade de substituir ou reforçar os elementos.

4.6.6.1 Pavimentos

Os pavimentos de madeira existentes apresentavam na generalidade um bom estado de conservação. Excepção feita para os pavimentos assinalados na Figura 4.26, em que as vigas de pavimento se apresentavam degradadas por ataque de fungos e insectos xilófagos, tendo-se também detectada a presença de térmitas no pavimento assinalado a vermelho. Os danos nos pavimentos foram levantados, essencialmente, com recurso à inspecção visual, videoscópio e recurso ao *Resistograph®*. Um outro fenómeno indesejado detectado, foi a vibração excessiva dos pavimentos de madeira que afecta directamente o conforto e para o qual é feita uma análise mais profunda no subcapítulo dedicado aos ensaios realizados nos elementos de madeira.

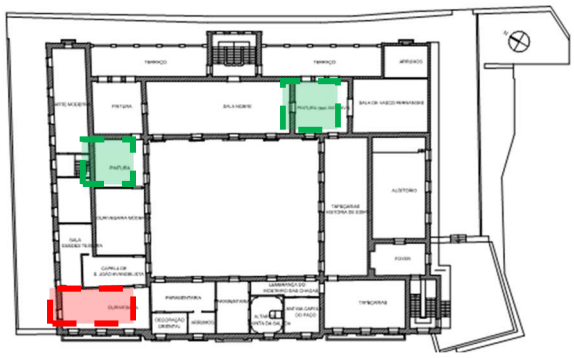


Figura 4.26 - Planta do piso 1 (sem escala) com localização dos pavimentos degradados por ataque de agentes bióticos (verde) e pavimento com térmitas no soalho.

4.6.6.2 Cobertura

Durante a inspecção foram detectados danos com bastante relevância para o desempenho estrutural dos elementos de madeira. Foram observadas zonas com degradação intensa dos elementos das asnas devido às desfavoráveis condições de temperatura e humidade. Este estado de conservação foi atingido, essencialmente, pela falta de manutenção do edifício na zona de cobertura, implementação de soluções/alterações (ex: betonar as vigas de betão armado contra os elementos de madeira) não

compatíveis com a estrutura existente, assim como a ausência de protecção aos agentes xilófagos e sociais, Figura 4.27.



Figura 4.27 – Vigas de madeira embebidas em betão.

As condições potenciaram o desenvolvimento e ataque de agentes bióticos, nomeadamente, insectos e fungos xilófagos e insectos sociais (térmitas), Figura 4.28a) a d), os quais conduzem a uma perda de seção e, consequentemente, a diminuição de capacidade resistente dos elementos. Durante a campanha de ensaios foram detectados insectos activos.



a) Ataque de térmitas.



b) Ataque de fungos cromogéneos.



c) Caruncho (cerambicídeos).

Figura 4.28 – Danos observados nos elementos de madeira da cobertura.

Outras anomalias visíveis em toda a extensão da cobertura foi a adopção de soluções estruturais desadequadas ao longo das sucessivas intervenções na cobertura. Como produto dessas actividades, além dos elementos embebidos em betão já referidos, são visíveis sistemas estruturais deficientes e desaconselhados de asnas sobrepostas em altura ou asnas suportadas por outras asnas, Figura 4.29a. São ainda visíveis elementos de cobertura como madres, varas e rincões com deformações excessivas resultantes do subdimensionamento das secções, Figura 4.29b. Por último é observável a rotura das linhas de asnas na zona dos apoios com uma típica rotura por esforço de corte, Figura 4.29c. A transferência das cargas no sistema de asna encontrado é realizada, junto aos apoios, das pernas para a linha que por sua vez apoia nas paredes. Num sistema simplista de análise da linha, temos uma carga concentrada elevada proveniente da perna, que se encontra afastada do apoio a uma distância superior à altura da linha. Esta contribuição de esforço transverso, embora próxima do apoio, segundo a cláusula 6.1.7 do EC5 não deve ser desprezada.



a)Asnas apoiadas em asnas.



b) Deformação das madres.



c) Rotura da linha por esforço de corte.

Figura 4.29 – Danos observados nos elementos de madeira da cobertura.

4.6.6.3 Ensaios realizados em elementos estruturais de madeira

No que respeita à avaliação da durabilidade dos materiais existentes, foram efectuados, como referido anteriormente, ensaios com o *Resistograph®* (ER, de acordo com as peças desenhadas) que permitiram avaliar o estado de conservação das peças de madeira, em particular no seu interior.

Na cobertura e pavimentos foram realizados, respectivamente, um total de 18 e 36 ensaios não destrutivos *in situ* com o *Resistograph®* nas posições indicadas nas peças desenhadas em anexo.

Na cobertura, apenas as zonas de asnas do tipo A1 e A3 foram alvo de uma avaliação com recurso ao ensaio com *Resistograph®*. Todas as restantes asnas apresentavam indícios claros do mau estado de conservação e/ou inadequado sistema estrutural, pelo que não era justificativo a avaliação interna das peças.

Os ensaios realizados com *Resistograph®* nos elementos estruturais de madeira da cobertura, na zona de asnas A3, confirmaram as impressões obtidas durante a inspecção visual preliminar, revelando o bom estado de conservação geral dos elementos estruturais alvo de ensaio *Resistograph®*. Os elementos de asnas do tipo A1 apresentaram nos resultados dos ensaios *Resistograph®* vazios internos por ataque de térmitas. Embora a degradação superficial tenha expressão pouco acentuada, as presenças das térmitas já criaram danos irreversíveis em elementos de asna que surgem com vazios internos relevantes.

Assim sendo, apenas os elementos correspondentes às zonas de asnas do tipo A1 e A3 são passiveis de ser mantidos/reforçados mediante tratamento preventivo de protecção dos elementos de madeira aos ataques vários agentes. Todas as peças das restantes zonas deverão ser integralmente removidas e substituídas por um sistema estrutural adequado e recorrendo à madeira como material estrutural. A título exemplificativo na Figura 4.30 é apresentado o resultado gráfico de um ensaio *Resistograph®* realizado numa linha onde se observa uma degradação interior e um vazio por ataque de térmitas.

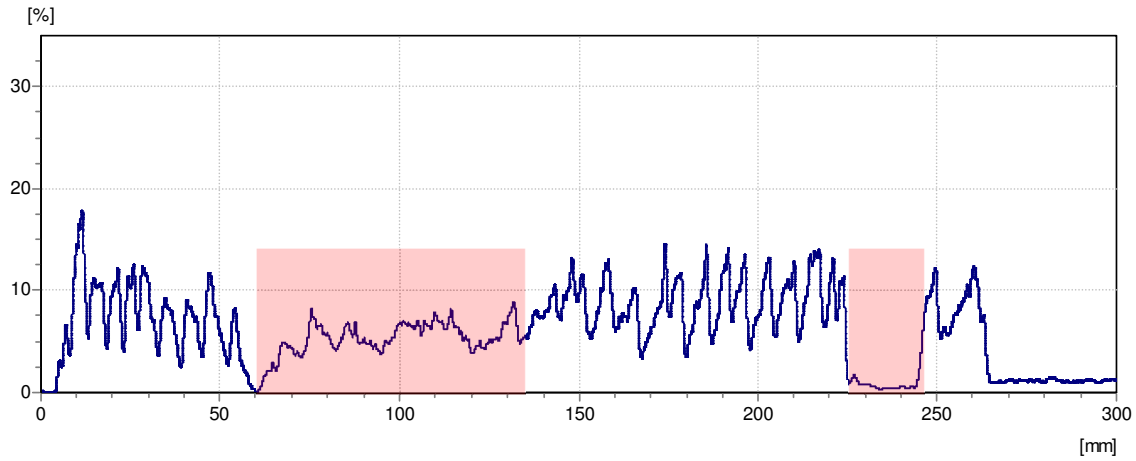


Figura 4.30 – Ensaio *Resistograph®* realizado na linha de uma asna de cobertura.

No caso dos elementos da estrutura do pavimento do piso 1, assinalados na Figura 4.26, em que foram detectados ataques de agentes bióticos, fungos e insectos xilófagos e ataques de insectos sociais (térmitas), identificou-se ainda, através da avaliação interna das vigas, alguns elementos com ataques internos importantes. Em especial o pavimento assinalado na Figura 4.29 a vermelho, em que ensaios realizados às vigas de pavimento junto dos apoios revelaram vazios internos que se estendem a grande parte da secção transversal das vigas.

De uma forma sucinta, o estado de conservação geral dos restantes pavimentos existentes em madeira encontra-se em bom estado de conservação.

Durante as campanhas de inspecção realizadas no Museu, foram detectadas vibrações excessivas indesejáveis do ponto de vista do conforto e verificação ao estado limite último de utilização. Como tal realizaram-se, em alguns pavimentos, o levantamento das frequências naturais com recurso ao acelerómetro interno de um telemóvel. O acelerómetro permite o registo de uma aceleração vertical, identificando-se a frequência de vibração face a um impulso de excitações exteriores. A medição das frequências fundamentais de um pavimento de madeira permite relacionar com as características mecânicas dos apoios, para os pavimentos em que se conhecem as características geométricas e classe de resistência. Para os pavimentos em que se desconhecem as secções das vigas de pavimento apenas permite validar o sistema estrutural visualizado através de videoscópio e/ou com detector de metais. Para validação dos sistemas estruturais dos pavimentos recorreu-se a simulação numérica individual dos pavimentos com calibração dos modelos em função das frequências fundamentais registadas. O ensaio foi realizado apenas para os pavimentos de madeira que apresentavam um bom estado de conservação e que se encontram assinalados na Figura 4.31.

Todos os pavimentos foram simulados para uma classe de resistência D30 e respectivas cargas actuantes.

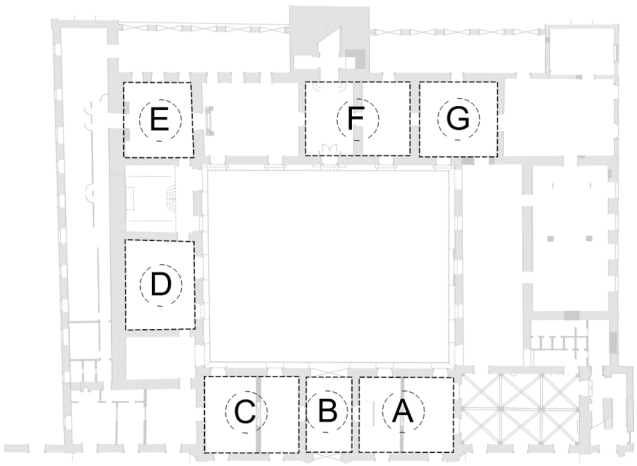


Figura 4.31 – Pavimentos alvo de ensaio com acelerómetro.

Pavimento A

Para o pavimento A foram registadas frequências fundamentais distintas face aos diferentes revestimentos encontrados no pavimento e como tal subdividiu-se o pavimento em três zonas, Figura 4.32.

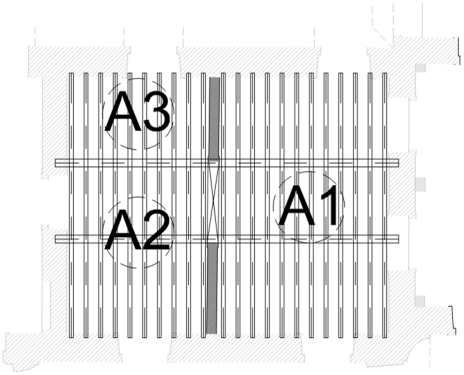
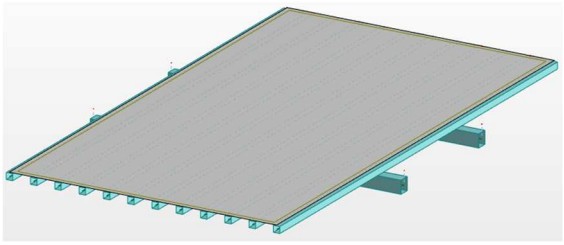


Figura 4.32 – Esquema estrutural do pavimento A.

O pavimento é constituído por duas vigas principais de secção rectangular de 20x24cm^2 que apoia uma segunda estrutura de secção entre 10x10cm^2 a 12x12cm^2 afastados entre si entre 0,40m a 0,50m. Na simulação numérica adoptou-se uma classe de resistência igual a D30. As vigas de pavimento materializam um apoio simples na parede de arco a meio vão do pavimento e realizam a entrega na parede. De modo a simular as frequências de vibração registadas, calibrou-se o modelo em função dos encastramentos parciais criados nas entregas nas paredes de alvenaria. O valor de encastramento considerado para o modelo numérico foi cerca de 40%, por corresponder a uma boa aproximação de valores experimentais e por ser um valor já estimado para casos idênticos de apoios de vigas em paredes de alvenaria de pedra, (Coelho, J.2016).

O pavimento A1 tem um revestimento sobre o soalho de madeira com 13cm de enchimento e foi registada uma frequência fundamental de 32Hz. O encastramento dos apoios foi apenas considerado nas entregas nas alvenarias e um apoio simples para o apoio nas paredes interiores. Os resultados encontram-se representados nas tabelas seguintes.

Tabela 4.2 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A1.



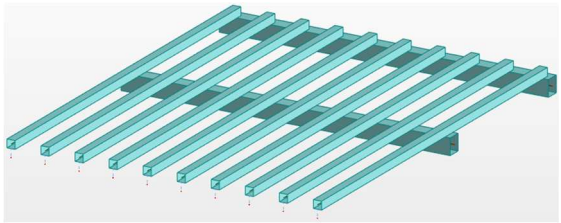
Experimental			32Hz
Modelo numérico	f1(Hz)	f2(Hz)	f3(Hz)
	14,70	22,75	31,37
Encastramento nos apoios		40%	

Para o modelo que simula o pavimento A1 é observável a disparidade de frequências mesmo após várias tentativas de calibração do modelo. Apenas na terceira frequência fundamental se obtêm um valor próximo após mobilizar cerca de 65,13% da massa do pavimento. Estes resultados podem indicar um sistema estrutural distinto daquele do que foi reconhecido no local e como tal necessita de um segundo

levantamento das propriedades geométricas e sistema estrutural. Esta incorrecção no levantamento ocorre das limitações colocadas pelo funcionamento do Museu aquando das inspecções realizadas e do alto esforço para conservar o soalho existente.

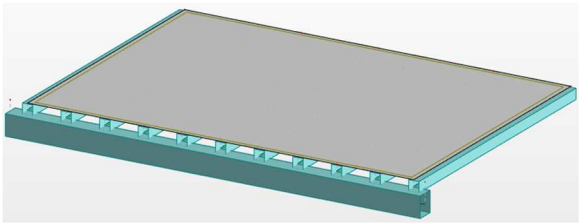
O pavimento A2 é o modelo que mais se aproxima dos valores de frequências medidos. Para o pavimento considerou-se que as vigas de pavimento se encontram simplesmente apoiadas, sem nenhum grau de encastramento, e a primeira frequência de vibração corresponde a 11,18Hz. O valor obtido indica que o sistema estrutural é muito idêntico ao sistema recolhido, contudo, é expectável um valor de frequência teórico inferior ao valor obtido em ensaio. Essa diferença pode ser representativa de uma classe de resistência distinta da utilizada.

Tabela 4.3 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A2.

	Experimental			10Hz
	Modelo numérico	f1(Hz)	f2(Hz)	f3(Hz)
		11,18	34,05	75,14
	Simplesmente apoiadas			

O pavimento A3 apresentava semelhanças construtivas ao pavimento A1, contudo, à semelhança do sucedido para o pavimento A1 as frequências de vibração obtidas foram dispares da frequência medida *in situ*. Assim se conclui a necessidade de preparar uma nova inspecção de caracterização geométrica e estimar a classe de resistência da globalidade do pavimento A.

Tabela 4.4 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento A3.

	Experimental			32Hz
	Modelo numérico	f1(Hz)	f2(Hz)	f3(Hz)
		15,88	20,74	24,07
	Encastramento nos apoios		40%	

Pavimento B

O pavimento B é constituído por um sistema de vigas de madeira principais e secundárias. As vigas principais apresentam secção circular de ø18cm espaçadas de 50cm, as secundárias de secção quadrada de 13x13cm^2 afastadas de 60cm, Figura 4.33.

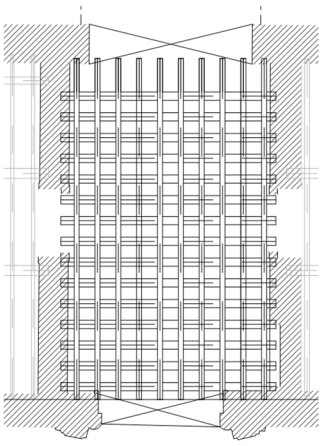
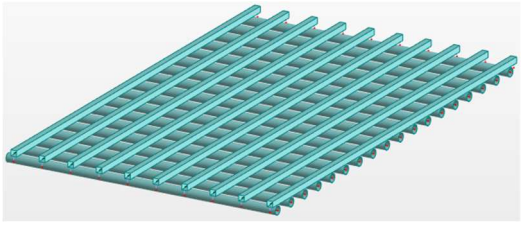


Figura 4.33 – Esquema estrutural do pavimento B.

A relação entre os resultados do modelo numérico do pavimento B e os resultados do ensaio é bastante satisfatória, com a primeira frequência de vibração a mobilizar cerca de 51,09% da massa do pavimento para uma frequência de 11,36Hz.

Tabela 4.5 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento B.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>12,4Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>11,36</td><td>13,52</td><td>18,64</td></tr>
<tr><td colspan="2">Encastramento nos apoios</td><td colspan="2">40%</td></tr>
</table>

Pavimento C

O pavimento C é constituído por vigas secundárias de secção 10x10cm^2 espaçadas de 0,45m e que apoiam directamente nas três vigas principais (20x24cm^2) e nas paredes de alvenaria nas extremidades. As vigas principais apoiam igualmente nas paredes de alvenaria e a meio vão no arco de alvenaria, Figura 4.34. As secções das vigas principais são desconhecidas. No entanto, assumiu-se uma secção idêntica ao pavimento A.

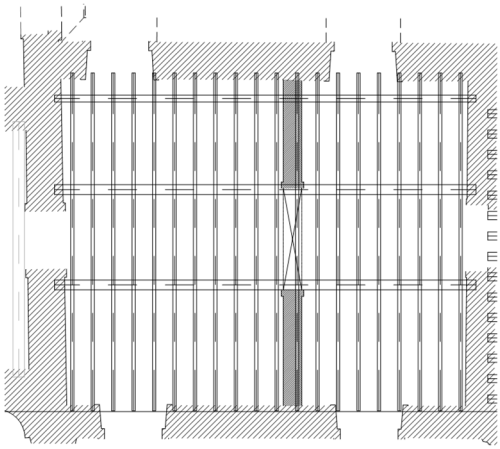
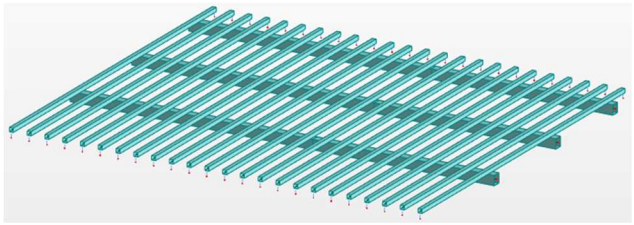


Figura 4.34 – Esquema estrutural do pavimento C.

Para o pavimento C considerou-se encastramento parcial nos apoios juntos das paredes e simplesmente apoiada no arco de alvenaria de pedra. Na Tabela 4.6 é observável a proximidade de frequências obtidas no modelo e a registada no local e que nos permite validar o sistema estrutural observado.

Tabela 4.6 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento C.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>10Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>8,88</td><td>11,01</td><td>15,83</td></tr>
<tr><td colspan="2">Encastramento nos apoios</td><td colspan="2">40%</td></tr>
</table>

Pavimento D

Do pavimento D, igualmente constituído por uma estrutura primária e secundária, possui a particularidade da estrutura secundária ter um afastamento maior entre elementos, o que não sucedia nos casos anteriores. A estrutura primária, constituída por vigas a cada 0,70m de secção 33x33cm^2 serve de suporte a uma estrutura secundária (12x12cm^2) e espaçamento alternado entre 1,30m e 1,40m.

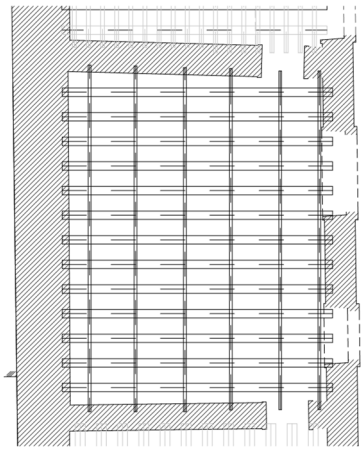
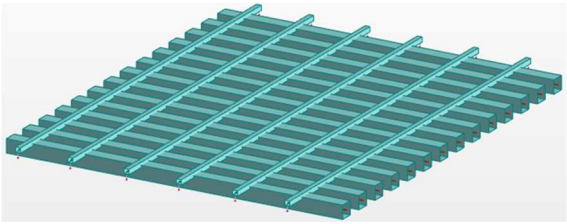


Figura 4.35 – Esquema estrutural do pavimento D.

No modelo numérico considerou-se o sistema de vigas simplesmente apoiadas nas paredes de alvenaria e obteve-se uma primeira frequência de 7,92Hz que mobiliza 67,21% da massa total do pavimento. A proximidade de valores entre a frequência *in situ* e a teórica permite-nos validar as características observadas e consideradas no modelo.

Tabela 4.7 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento D.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>8Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>7,92</td><td>8,68</td><td>10,24</td></tr>
<tr><td colspan="2">Encastramento nos apoios</td><td colspan="2">25%</td></tr>
</table>

Pavimento E

O pavimento E não foge a tipologia de pavimento até agora apresentado, com secção circular de 30cm de diâmetro as vigas principais apoiam as vigas secundárias de secção 11x11cm^2 espaçadas de 0,40m. Do sistema estrutural em análise é desconhecido o espaçamento entre vigas principais pelo que, devido à semelhança estrutural, adoptou-se o espaçamento registado no pavimento D (0,70m).

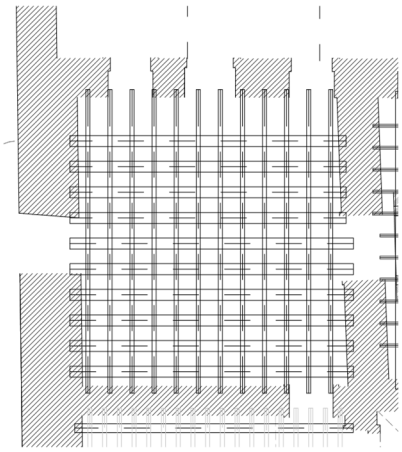
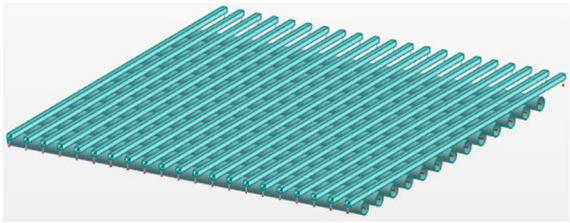


Figura 4.36 – Esquema estrutural do pavimento E.

Na simulação numérica considerou-se um encastramento parcial de 40% em todas as zonas de entrega na parede. Só com este pressuposto é que se conseguiu atingir valores de frequências naturais próximas das registadas. Contudo, é aconselhada um registo mais profundo das propriedades geométricas das vigas principais do pavimento. Na Tabela 4.8 estão organizadas as frequências obtidas no modelo numérico a par da frequência registada no local.

Tabela 4.8 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento E.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>11Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>7,47</td><td>9,23</td><td>13,03</td></tr>
<tr><td colspan="2">Encastramento nos apoios</td><td colspan="2">40%</td></tr>
</table>

A distância entre os valores deve-se essencialmente ao desconhecimento do espaçamento efectivo entre vigas principais. Contudo foram calculadas as frequências principais para o mesmo pavimento com espaçamento de vigas principais igual a 0,60m a fim de aumentar a frequência de vibração. Para a última análise obteve-se valores de frequência pouco acima dos 9Hz. Estes resultados podem indicar que o pavimento existente apresenta uma maior rigidez nos apoios e/ou uma classe de resistência superior a considerada.

Pavimento F

O pavimento F localizado no salão nobre do edifício, é também ele estruturalmente idêntico ao pavimento na zona frontal do edifício (Pavimento A e C). As vigas principais de secção e espaçamento desconhecida foram modeladas como elementos de barra de secção ø24cm espaçadas de 0,70m. As vigas secundárias apresentavam secção rectangular de 17x17cm^2 espaçadas de 0,50m e apoiam na parede interior de alvenaria.

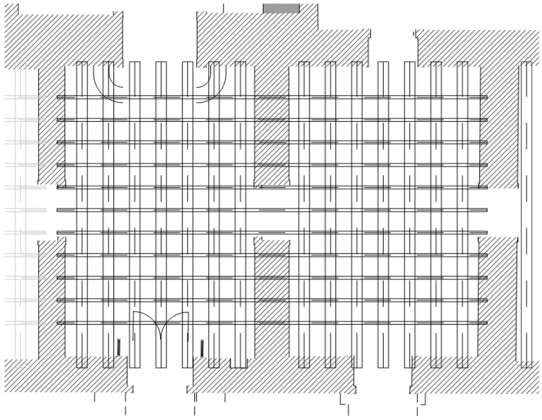
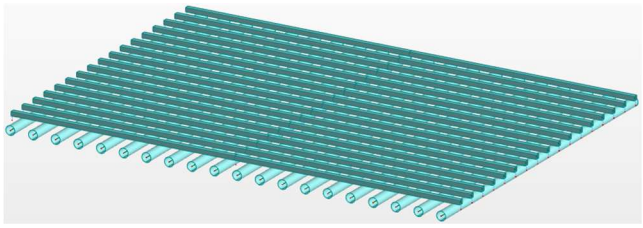


Figura 4.37 – Esquema estrutural do pavimento F.

No modelo numérico todos os apoios são apoios simples. Apesar dos pressupostos assumidos na modelação, os valores obtidos são indicadores de que o sistema estrutural não será muito distante do que foi modelado. Contudo, os resultados carecem de uma validação com recurso à inspecção dos elementos principais do pavimento.

Tabela 4.9 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento F.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>11Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>10,76</td><td>10,96</td><td>17,77</td></tr>
<tr><td colspan="4">Apoios simplesmente apoiados</td></tr>
</table>

Pavimento G

O último pavimento analisado foi o pavimento G o qual é constituído por um único conjunto de vigas que se apoiam nas paredes de alvenaria. As vigas em questão estão espaçadas de 0,50m a 0,70m e têm de secção ø24cm. Na modelação do pavimento considerou-se uma classe de resistência das vigas de

pavimento igual a D30, contudo, devido ao mau estado de conservação do pavimento, seria possível considerar uma classe de resistência inferior.

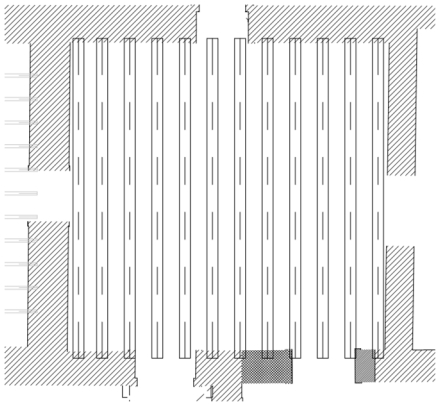
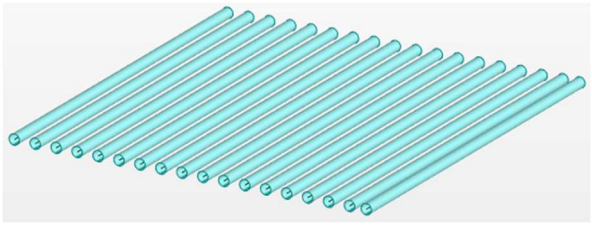


Figura 4.38 – Esquema estrutural do pavimento G.

Os resultados obtidos através da simulação numérica do pavimento forneceram informações distantes do valor referência obtido através de medições no local. De facto, a sensação aparente aquando da realização dos ensaios era a baixa vibração do pavimento em questão. Como tal o pavimento deverá ser alvo de um levantamento geométrico e estrutural mais exaustivo.

Tabela 4.10 – Frequências de vibração experimentais e numéricas do pavimento G.

<table>
<tr><td rowspan="4">  </td><td colspan="3">Experimental</td><td>20Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo numérico</td><td>f1(Hz)</td><td>f2(Hz)</td><td>f3(Hz)</td></tr>
<tr><td>9,24</td><td>9,31</td><td>9,44</td></tr>
<tr><td colspan="2">Encastramento dos apoios</td><td colspan="2">50%</td></tr>
</table>

Por último, a análise através da comparação entre as frequências fundamentais medidas *in situ* e as frequências obtidas através da simulação numérica dos pavimentos pretendia, essencialmente, validar os sistemas estruturais e características geométricas observadas aquando das inspecções realizadas. Das análises feitas conclui-se que os pavimentos A2, B, C, D, E e F encontram-se com sistemas estruturais e características geométricas semelhantes às estimadas. O levantamento simplificado destes pavimentos deve-se ao funcionamento em simultâneo das actividades do Museu, e como tal, procurou-se realizar o equilíbrio entre não perturbar ou deixar qualquer dano visível nos pavimentos e/ou tectos e obter informação necessária para a compreensão estrutural dos pavimentos.

A análise dos pavimentos A1, A3 e G, não foi satisfatória ficando a compreensão estrutural destes pavimentos como uma incógnita. Os pavimentos A1 e A3 apresentam uma camada de enchimento acima do soalho e que, na altura da sua aplicação, poderá ter sido executado um preenchimento dos apoios com natural aumento da rigidez dos mesmos. Tal aumento de rigidez permitiria aumentar a capacidade de encastramento do apoio e obter valores mais realistas. No entanto optou-se por não o fazer pois a variação provocada pelo aumento do nível de encastramento não seria suficiente para uma aproximação razoável aos valores obtidos. Ficam assim as dimensões das vigas e a materialização dos apoios a examinar numa próxima inspecção. O pavimento G é materializado por vigas e soalho de madeira, mas a simulação do mesmo não corresponde aos valores registados no ensaio. Um outro factor que poderá influenciar os resultados é a classe de resistência assumida na simulação dos pavimentos, no entanto segundo Coelho, J. (2016), a influência da escolha da classe de resistência apenas influência quando se erra com uma diferença de duas classes. A título de exemplo *"um erro na classificação da classe resistente da madeira de C16 para C18, a diferença que vamos obter na frequência do pavimento relativa ao primeiro modo de vibração não é relevante, neste caso de apenas cerca de 5%.",* (Coelho, J.,2016).

Reforça-se que esta análise simplificada serviu apenas para validação dos sistemas estruturais observados através da comparação entre as frequências medidas e simuladas. Trata-se de uma contribuição inicial a ser desenvolvida para uma análise mais extensa, e global do edifício, em que deve ser avaliada a materialização dos apoios das vigas nas alvenarias, a ligação entre a estrutura principal e secundária e se poderá existir alguma contribuição da estrutura de tecto que aqui foi desprezada.

4.7 MODELAÇÃO NUMÉRICA

4.7.1 Desenvolvimento do modelo

Foi efectuada a modelação numérica do edifício do Museu com a simulação da alvenaria típica e características geométricas do edifício. O modelo foi criado com o intuito de avaliar os níveis de tensões instalados nas paredes de alvenaria, analisar a influência da ligação entre elementos de madeira e alvenaria de pedra no comportamento dinâmico do edifício e a sua vulnerabilidade sísmica. Para tal, utilizou-se o programa *Robot Structural Analysis* v. 15.

A análise da construção antiga coloca desafios que se prendem na variabilidade das propriedades de material que os compõem, desconhecimento das patologias induzidas ao longo do tempo, entre outras. Para o caso de estudo em questão, o processo utilizado para a modelação foi a macro modelação que consiste na homogeneização de materiais que são incorporados num meio continuo sendo adoptada uma relação média para as tensões da alvenaria. Segundo Lourenço (2002), *"macro modeling is more*

practice oriented due to the reduced time and memory requirements as well as a user-friendly mesh generation. This type of modeling is most valuable when a compromise between accuracy and efficiency is needed.".

Sendo o edifício em estudo correspondente a uma estrutura existente, tentou-se neste trabalho, definir um modelo numérico que representasse o melhor possível a estrutura em análise. Com tal objectivo, definiram-se, no modelo, as características dos elementos estruturais e dos respectivos materiais constituintes. Além desta caracterização mecânica dos materiais, a modelação numérica pressupôs uma definição geométrica dos elementos estruturais, o que foi conseguido através da observação directa durante as inspecções e do estudo das plantas de arquitectura facultadas. Como foi apresentado nos subcapítulos anteriores, o edifício do Museu é composto por vários tipos de elementos com diferentes características que foram simuladas no modelo numérico, com algumas simplificações, tendo como finalidade traduzir o comportamento global da estrutura. No entanto, a aproximação entre o modelo e a realidade realizada neste caso de estudo, carece de ensaios de identificação dinâmica para obtenção dos principais modos de vibração do edifício, permitindo a calibração do modelo e simular o comportamento real do edifício.

Independentemente do tipo de solo presente no terreno, optou-se por considerar as bases das paredes de alvenaria impedidas de se movimentarem em qualquer direcção, estando livres a qualquer rotação na base.

Nas paredes de alvenaria de pedra não se verificaram diferenças consideráveis na qualidade da alvenaria usada no edifício e a observação mais detalhada do edifício permitiu concluir que o edifício apresenta paredes homogeneizadas em elementos de pedra regular e de espessura pouco variável em altura e em planta. Os cantos do Museu, assim como os contornos de vãos de portas e janelas, são em cantaria trabalhada, no entanto considerou-se no modelo uma parede homogénea de alvenaria de pedra de espessura constante de 60cm. O módulo de elasticidade considerado para alvenaria de pedra regular foi de 300MPa e um peso volúmico correspondente a 22kN/m^3, de acordo com Almeida, C. 2013. Como tensão resistente à compressão considerou-se um valor máximo de 1,5MPa e resistências residuais à tracção e ao corte entre 0,08MPa e 0,1MPa. Os valores admitidos são recomendados da Norma Italiana *"Norme Tecniche per le Costruzioni"* para a tipologia *muratura a blocchi lapidei squadrati*. Elementos ornamentais em cantaria não foram modelados.

Os pavimentos de madeira existentes foram modelados em elementos de barra. A hipótese de piso rígido nos pavimentos de madeira afasta-se da realidade, essencialmente devido à baixa rigidez do piso. As vigas de pavimento muitas vezes são entregues nas alvenarias através de aberturas já executadas ou simplesmente apoiadas sobre as mesmas o que não confere restrição de movimento às paredes resistentes. Perante isto, a modelação do pavimento de madeira consistiu em elementos de barra com

baixo módulo de elasticidade longitudinal (E=0,1MPa). Deste modo as vigas de pavimento não têm qualquer contributo para resistir à deformação fora-do-plano, no entanto permite a migração das cargas até as paredes. As restantes propriedades da madeira consideradas correspondem as características mecânicas da classe de resistência D30.

Os pavimentos de betão armado de laje aligeirada, apesar de se desconhecer as propriedades do betão usou-se a classe de resistência C20/25. Designou-se, desta forma os pavimentos em betão modelados em *Shell*, com distribuição de cargas unidireccional para os pavimentos aligeirados e bidireccional para o pavimento maciço. A definição de massa dos pavimentos de betão, foi contabilizada do mesmo modo definido para os materiais anteriores, através do seu peso volúmico (25kN/m^3).

Para caracterização dinâmica do edifício e a sua avaliação sísmica é essencial a definição adequada das massas envolvidas. As massas foram contabilizadas as massas através da massa volúmica dos vários elementos, contabilizadas as massas associadas as cargas permanentes e ainda uma participação das massas devido a sobrecarga. A participação das massas na análise dinâmica foi determinada segundo a cláusula 4.2.4 do EC8 (CEN, 2010b) e que se traduz na expressão seguinte em que Ψ_{2i} é o coeficiente multiplicativo do valor característico das sobrecargas e toma valor igual a 0,60 e φ igual a 0,50.

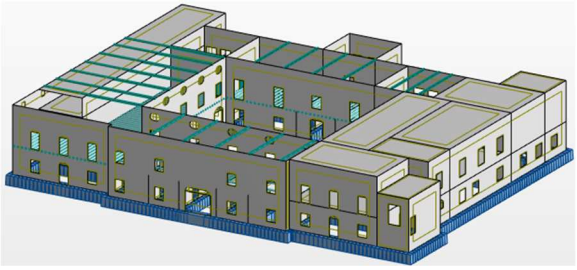
$$\Psi_{Ei} = \varphi \cdot \Psi_{2i} \tag{4.1}$$

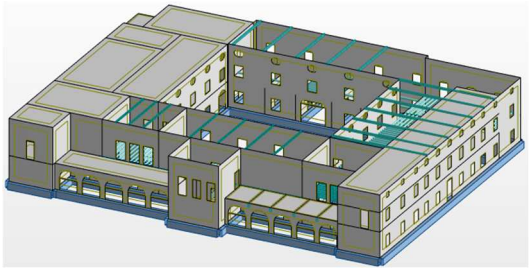
As cargas devido ao conjunto da cobertura composto pêlos vários sistemas de asna foram simulados através de cargas lineares distribuídas pelo topo das paredes de alvenaria.

O valor de cálculo dos esforços na situação de projecto sísmica foi determinado de acordo com a seguinte combinação:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k.j} + A_{Ed} + \sum_{i\geq 1} \Psi_{2i} Q_{k.i} \tag{4.2}$$

Definidos os materiais, massas, elementos da estrutura e combinações sintetizam-se ainda alguns pontos que importam referir, no sentido de dar início a uma análise mais global do modelo. Apresentam-se nas Figuras 4.8 a 4.11 algumas imagens do modelo para uma melhor percepção do que foi realizado.





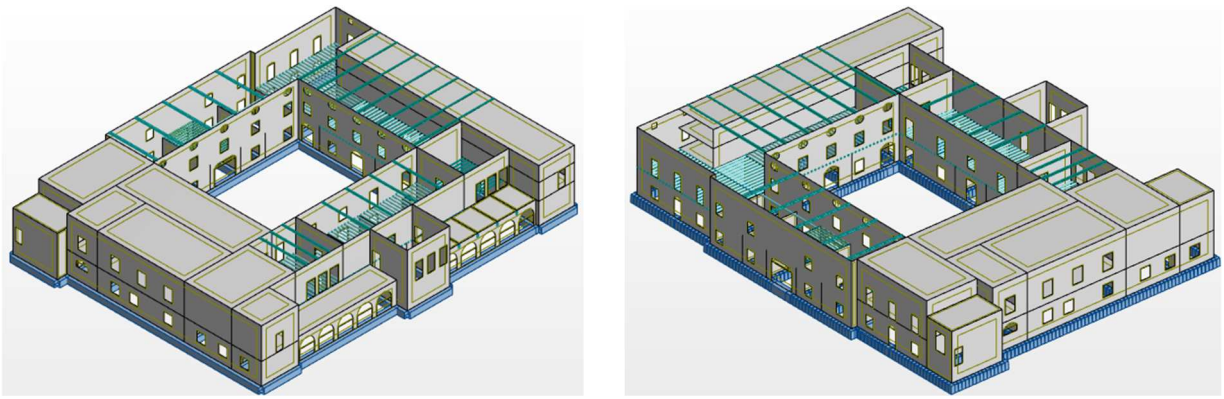


Figura 4.39 – Perspectivas do edifício do Museu.

Análise modal

Seguidamente, procede-se a caracterização dos quatro primeiros modos de vibração e a apresentação tridimensional das respectivas configurações. A determinação dos modos de vibração nesta fase permitiu também validar a correcta modelação do edifício, verificando visualmente a existência de painéis ou barras a funcionar individualmente. Na totalidade foram determinados 40 modos principais de vibração que mobilizam 73,25% da massa total.

Tabela 4.11 – Frequências de vibração e participação de massa dos primeiros modos de vibração.

Modo	Período (s)	Frequência (Hz)	Massa acumulada direcção X (%)	Massa acumulada direcção Y (%)
1	1,83	0,55	0,87	0,90
2	1,81	0,55	1,08	3,44
3	1,70	0,59	1,20	4,15
4	1,66	0,60	1,20	4,87

O primeiro modo de vibração de frequência 0,55Hz corresponde a um modo de translação do topo das paredes com maior comprimento livre fora do plano e com maior área de aberturas. O segundo modo de vibração, mobiliza mais massa, para uma frequência de 0,55Hz e corresponde à translação na direcção do eixo YY das paredes frontais do Museu. O terceiro modo de vibração dá já algumas informações importantes acerca da debilidade das paredes interiores do pátio que acusam ser as mais débeis sob uma acção sísmica, face à relação entre área efectiva de parede e aberturas assim como da inexistência de elementos ortogonais às mesmas, capaz de conferir rigidez transversal e redução do vão livre. O quarto modo de vibração corresponde ao típico segundo modo expectável para a fachada principal se estivéssemos a realizar uma análise individual da mesma.

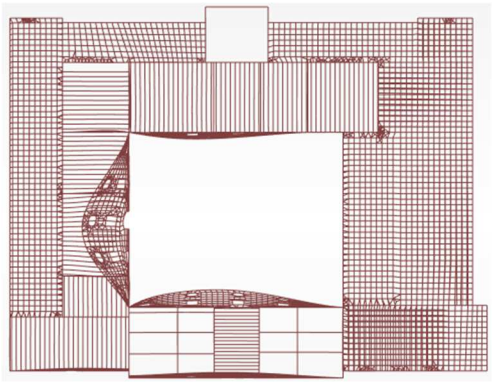


Figura 4.40 – 1º Modo de vibração (Vista XY).

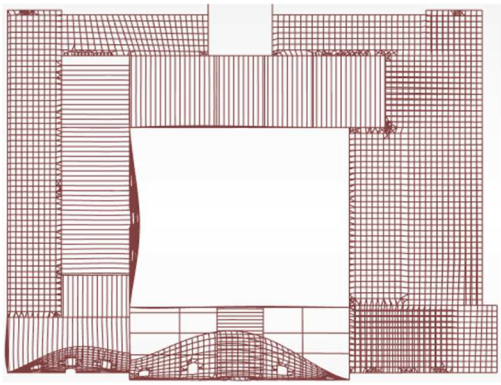


Figura 4.41 – 2º Modo de vibração (Vista XY).

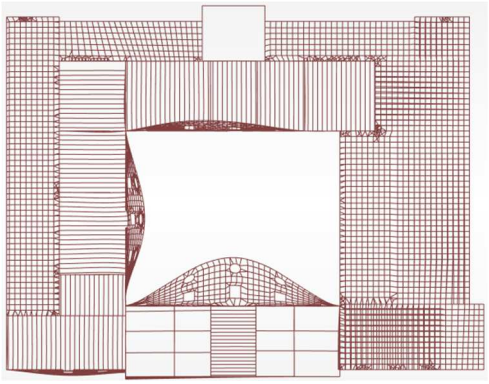


Figura 4.42 – 3º Modo de vibração (Vista XY).

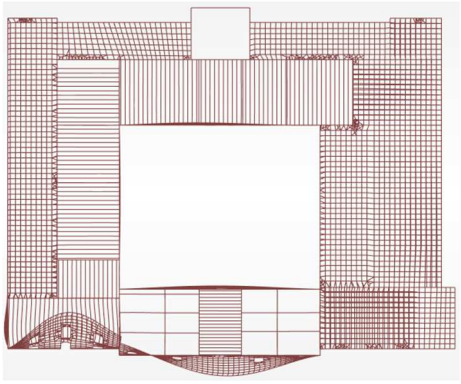


Figura 4.43 – 4º Modo de vibração (Vista XY).

4.7.2 Tensões nos elementos estruturais

Neste capítulo pretende-se analisar as tensões nas várias paredes de alvenaria, devidas à combinação de acção fundamental com acção variável base a sobrecarga. Os valores de tensão obtidos, são de tracção ou de compressão consoante sejam positivos ou negativos, respectivamente, de acordo com a convenção de sinais do software utilizado. A verificação global da segurança é efectuada em termos médios para os planos de parede, determinando-se as áreas mais condicionantes.

A Figura 4.44 permite uma visualização e compreensão dos planos verticais onde se verificaram as tensões. Optou-se por analisar todas as paredes que servem de suporte a pavimento em betão, por serem expectáveis maiores tensões de compressão na alvenaria de pedra, assim como das paredes interiores do pátio e fachada frontal por apresentarem uma percentagem de áreas de aberturas considerável. As restantes paredes foram igualmente avaliadas, e é apresentado no final do capítulo o caso particular da zona das arcadas na zona posterior do edifício.

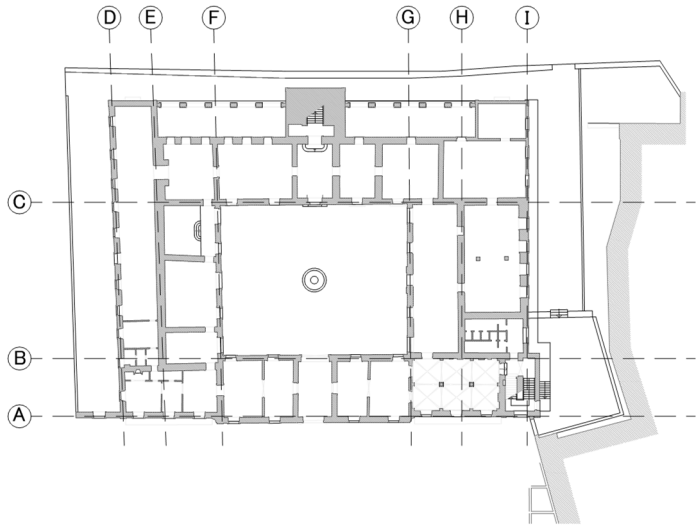


Figura 4.44 – Planos de paredes para verificação das tensões.

As figuras que se seguem representam a distribuição de tensões verticais nas paredes de alvenaria das fachadas para a combinação de acção fundamental acompanhadas de uma escala de cores representativas dos níveis de tensões instalados nas alvenarias.

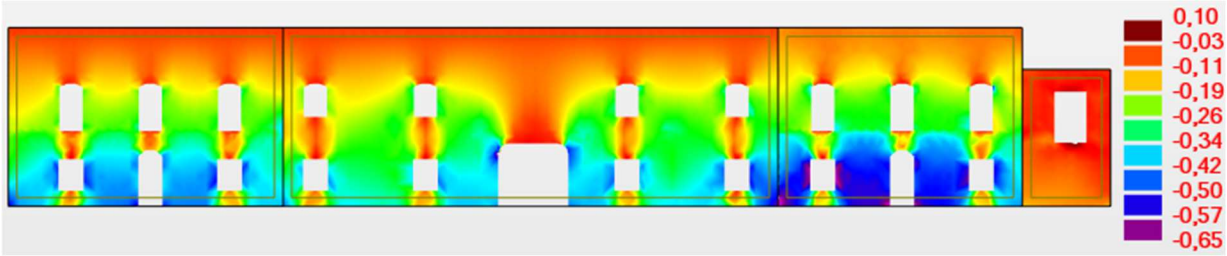


Figura 4.45 – Diagrama de tensões verticais do plano A devido às acções verticais (MPa).

Verifica-se a partir da Figura 4.45 que as tensões verticais aumentam no sentido descendente, o que vai ao encontro com o expectável. É observável, nas zonas onde estão localizados os vãos das portas, que há uma maior concentração de compressões nas paredes. Essa concentração deve-se à menor dimensão das paredes para suportar as cargas causadas pela abertura de vãos. É observável também uma assimetria de estados de compressão entre a fachada esquerda e direita do edifício, devendo-se aos diferentes elementos estruturais que materializam os pavimentos nessas zonas. Do lado esquerdo temos um pavimento de madeira com um peso especifico de cerca 3,14kN/m^3 constituído por vigas de pavimento e do lado direito uma laje de vigotas pré-esforçada e abobadilhas com um peso especifico de cerca de 14kN/m^3. Como será expectável, essa diferença entre carregamentos reflecte-se nas tensões ao nível da base das alvenarias em que se observa valores da gama dos 0,40MPa na parede esquerda e tensões médias de compressão de 0,50MPa na fachada direita. A fachada central principal apresenta

compressões médias mais reduzidas, 0,30MPa, devido à menor expressão das aberturas na área global da fachada.

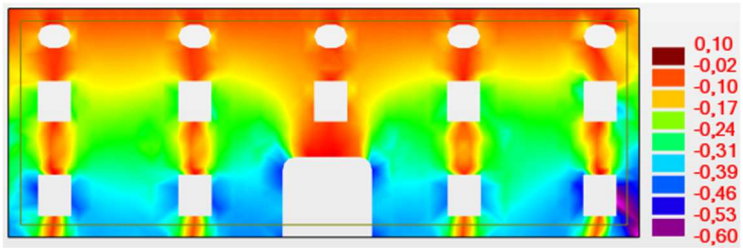


Figura 4.46 – Diagrama de tensões verticais para o plano B devido às acções verticais (MPa).

Na fachada do pátio interior do alinhamento B, podemos observar novamente o encaminhamento tipo das tensões até ao solo. É observável uma menor tensão de compressão em cima e em baixo dos vãos das janelas, registando em alguns pontos tracções pouco expressivas. No edifício real os vãos das janelas, portas e arcos, são vencidos por elementos de cantaria em arco que não foram modelados. Esses arcos permitem a transmissão das cargas, através de compressões, para os elementos de alvenaria. A não inclusão desses elementos no modelo não permite obter a distribuição exacta de tensões e como tal obtemos zonas traccionadas que na realidade estão comprimidas. No vão do portão principal registam-se tensões de tracção da grandeza dos 0,03MPa. No canto inferior direito sobressai uma concentração de compressões que não previstas considerando a fachada isolada. Contudo, as paredes de alvenaria foram modeladas sem qualquer interrupção na ligação entre elas e, como tal, as tensões que se observam resultam da influência da parede adjacente, Figura 4.47.

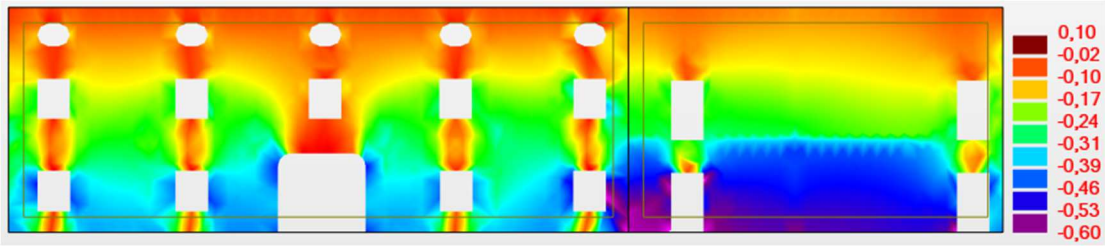


Figura 4.47 – Mapa de tensões para o plano B e parede interior devido às acções verticais (MPa).

Na figura pode-se observar a migração de tensões entre fachadas adjacentes. As tensões de compressão elevadas na fachada direita deve-se igualmente à presença de uma laje aligeirada no primeiro piso, e os topos das paredes encontram-se também com diferentes níveis de compressão, também devido à presença de uma laje aligeirada no tecto do piso 1.

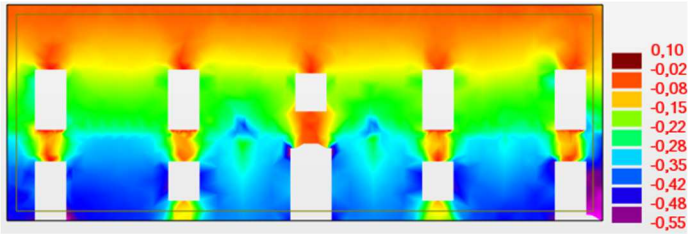


Figura 4.48 – Diagrama de tensões verticais para o plano C devido às acções verticais (MPa).

Na fachada do pátio interior do alinhamento C, Figura 4.48, observa-se um mapa de tensões idêntico ao que já foi referido nas fachadas anteriores. Na base da alvenaria a tensão de compressão é de cerca de 0,35MPa.

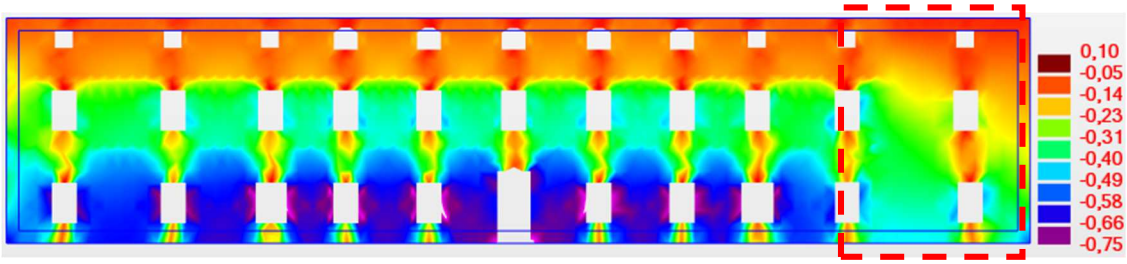


Figura 4.49 – Diagrama de tensões verticais para o plano D devido às acções verticais (MPa).

A Figura 4.49 apresenta os mapas de tensão de compressão da fachada exterior oeste que serve de suporte de lajes aligeiradas localizadas a diferentes cotas da fachada. As lajes aligeiradas existentes encontram-se na zona da cobertura, num piso intermédio e no piso 1 como é perceptível pela figura acima. Abaixo das janelas do primeiro piso detectam-se diminutas tensões de tracção que se assemelham às fissuras encontradas no local, apesar de diferente orientação, Figura 4.50. No entanto, as tensões de tracção determinadas no modelo numérico não são superiores ao valor de resistência à tracção da alvenaria.



Figura 4.50 – Fissuras padrão encontradas na fachada em estudo.

Na zona direita assinalada da fachada observa-se uma assimetria em relação ao resto do edifício, com tensões de compressão significativamente menores. Recorde-se que os pavimentos, tectos e coberturas

dessa zona é materializada essencialmente por vigas de pavimento, asnas e rincões de madeira e como tal a solicitação das paredes de alvenaria é significativamente menor.

Na fachada interior que se encontra no alinhamento E é mais perceptível a variação das tensões de compressão ao nível das lajes aligeiradas referidas anteriormente, Figura 4.51. Na fachada descarregam as lajes aligeiradas numa face e pavimentos de madeira na face contrária, com excepção da zona assinalada em que a orientação das vigas de pavimento é paralela à parede em questão. A tensão máxima de compressão assinalada na fachada foi de 0,72MPa.

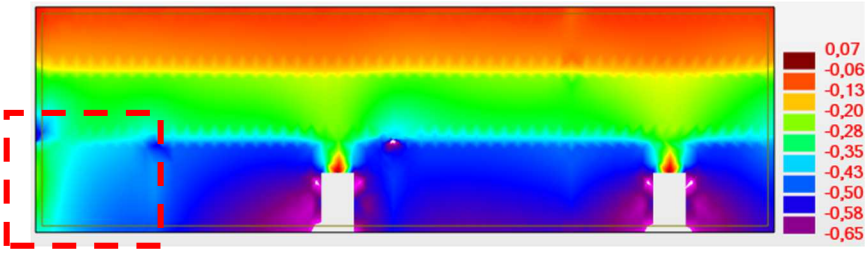


Figura 4.51 – Diagrama de tensões verticais devido às acções verticais (plano E) (MPa).

As fachadas dos alinhamentos F e G, Figura 4.52 e Figura 4.53, são semelhantes na sua forma e área de aberturas. A distinção entre elas reside na inexistência de um elemento rígido horizontal como se sucede na fachada do alinhamento G. É mais uma vez notório o efeito dos pavimentos mais pesados em relação à madeira. No entanto em nenhuma das fachadas são ultrapassados os 0,70MPa de compressão na alvenaria.

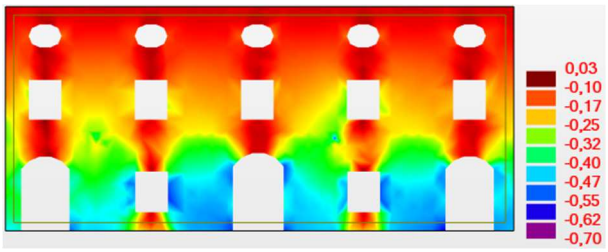


Figura 4.52 – Mapa de tensões verticais para a alvenaria (plano F) devido às acções verticais (MPa).

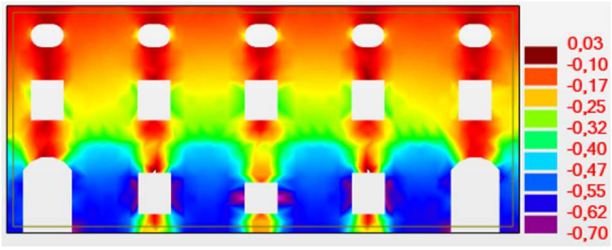


Figura 4.53 – Mapa de tensões verticais para a alvenaria (plano G) devido às acções verticais (MPa).

No alinhamento H, Figura 4.54, encontra-se uma fachada de alvenaria interior, desde o piso térreo até à cobertura, que serve de suporte aos pavimentos do piso 1 e elementos de cobertura. Relembra-se que nesta zona do edifício os pisos são materializados por pavimentos em laje aligeirada e consequentemente esta é a fachada do edifício mais solicitada axialmente. A presença de poucas aberturas na alvenaria revelou-se benéfico para a fachada que é solicitada por duas lajes aligeiradas. A presença de mais aberturas e/ou a proximidade entre aberturas poderia determinar uma maior tensão de compressão e consequentemente ser ultrapassado o valor resistente da alvenaria.

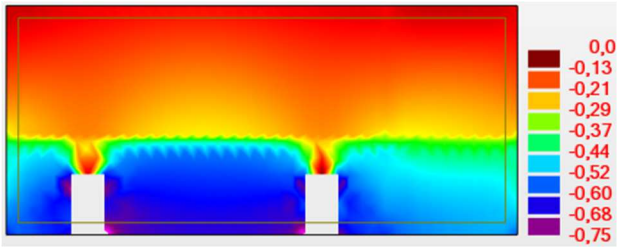


Figura 4.54 – Diagrama de tensões verticais para o plano H devido às acções verticais (MPa).

A fachada exterior Este, Figura 4.55, apresenta tensões de tracção na grandeza dos 0,04MPa, no topo e base dos vãos das janelas. Na zona intermédia da fachada ocorre a maior concentração de tensões de compressão devido ao estreitamento da largura da alvenaria como efeito da proximidade entre as aberturas. A maior tensão observada é de 0,75MPa junto das janelas intermédias.

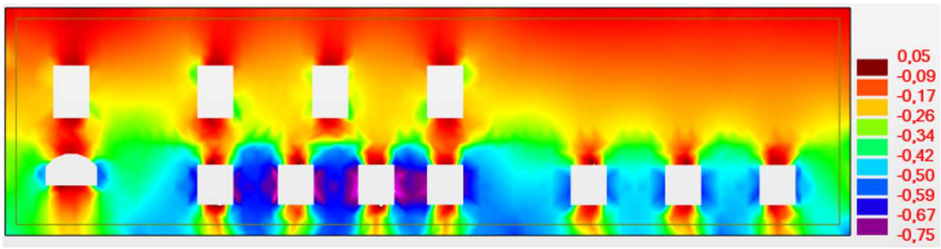


Figura 4.55 – Diagrama de tensões verticais para a alvenaria (plano I) devido às acções verticais (MPa).

Por último, na Figura 4.56 é apresentado o mapa de tensões na fachada posterior do edifício em que se observa uma tensão de compressão máxima de 0,55MPa. Na zona dos arcos é visível a condução dos esforços provenientes das lajes de varanda por compressão dos arcos até ao solo. Recorda-se que as lajes de varanda são constituídas por laje aligeirada (esquerda) e uma outra maciça (direita). Apesar de a laje aligeirada ter um peso específico mais baixo, a relação entre o peso específico e a espessura de cada laje origina a que a laje esquerda exerça um maior esforço de compressão como é facilmente detectável nas colunas.

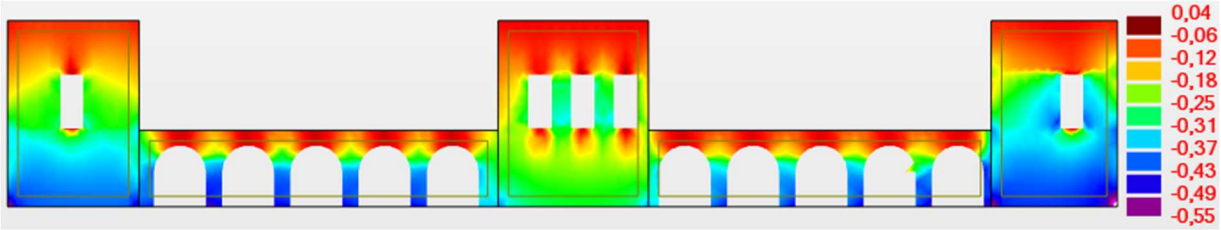


Figura 4.56 – Diagrama de tensões verticais para a alvenaria da fachada posterior devido às acções verticais (MPa).

Da análise dos resultados anteriores da distribuição das tensões verticais para a combinação fundamental, denota-se que os valores obtidos dos resultados não excedem os valores adoptados para a resistência da alvenaria de pedra, encontrando-se abaixo de 1,0MPa. Da análise detalhada e individual de cada alinhamento foi possível observar o contributo significativo dos pavimentos em betão para o aumento das tensões na base das alvenarias face aos pavimentos de madeira.

No entanto, devido à classe de importância elevada do edifício, o sismo poderá revelar-se a acção condicionante, pelo que se analisará de seguida as tensões devidas à combinação sísmica.

4.7.3 Avaliação sísmica

Como é perceptível foi realizada a análise dinâmica modal por espectros de resposta com o intuito de avaliar o comportamento da estrutura quando sujeita à acção sísmica. Começou-se por definir a acção sísmica através do espectro de resposta, de acordo com o Eurocódigo 8 (CEN, 2010b). Para a definição por espectro de resposta, consideraram-se os sismos tipo 1 e tipo 2 de acordo com o prescrito pelo Eurocódigo 8 classificando o solo do edifício do tipo B e zonas sísmicas 1,6 e 2,5, respectivamente. Na Tabela 4.12 encontram-se resumidos os valores caracterizadores do espectro de resposta para a estrutura em questão.

Tabela 4.12 – Parâmetros definidores do espectro de resposta.

Zona Sísmica	$S_{máx}$	T_B(s)	T_C(s)	T_D(s)	a_{gR}(m/s^2)	γ_I	a_g(m/s^2)	S
1,6	1,35	0,1	0,6	2	0,35	1,45	0,508	1,35
2,5	1,35	0,1	0,25	2	0,8	1,25	1	1,35

Refere-se que o parâmetro a_g(m/s^2) foi determinado consoante a classe de importância do edifício aqui adoptada como classe III. O coeficiente do solo (S) é obtido em função da aceleração à superfície do terreno, a_g(m/s^2), que neste caso de estudo é igual ou inferior 1 m/s^2, logo, de acordo com a cláusula NA-3.2.2.2(2)P, $S=S_{máx}$.

Por último, o coeficiente de comportamento tem em conta o equilíbrio entre a resistência e capacidade de dissipação de energia. O Eurocódigo não indica nenhum valor de referência deste coeficiente para estruturas existentes pelo que, tendo em conta a baixa resistência à tracção e reduzida capacidade de dissipação de energia do edifício, face ao sistema estrutural e materiais usados, utilizou-se o valor máximo recomendado no Quadro NA-9.1 do EC8 que indica 1,5 que corresponde ao valor proposto para paredes de alvenaria simples.

A análise sísmica realizada no modelo numérico foi executada através da definição da envolvente do espectro de cálculo para um coeficiente de amortecimento de 5%, representado nas Figura 4.57 e Figura 4.58.

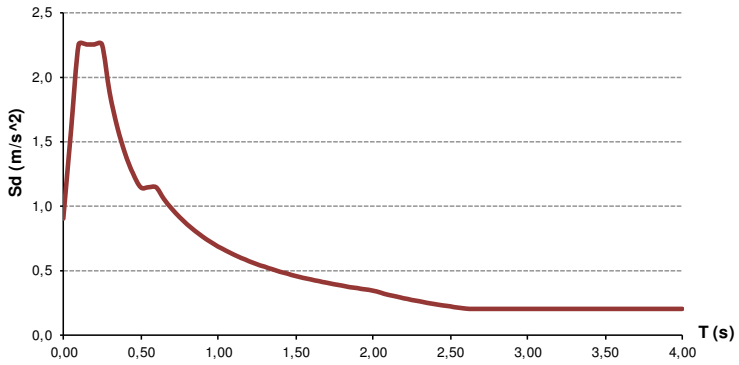


Figura 4.57 – Envolvente do espectro de cálculo Sd(T), Resposta Horizontal.

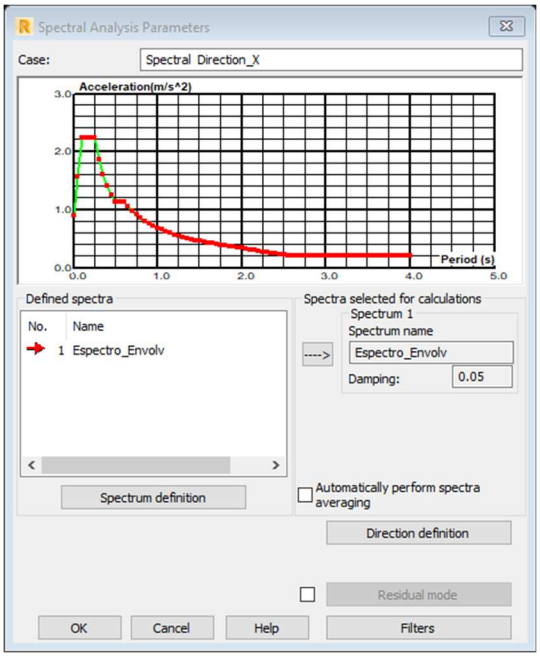


Figura 4.58 – Definição da envolvente do espectro de cálculo Sd(T), Resposta Horizontal, *Robot.*

Posto isto, verifica-se que, apesar de se ter atribuído uma classe de importância elevada ao edifício, os limites de resistência à compressão sejam verificados na maioria das paredes. Contudo são os valores das tensões de tracção os mais condicionantes, essencialmente devido à fraca resistência da alvenaria para essas tensões, pelo que merecem uma atenção especial. Apresentam-se nas figuras seguintes essas distribuições de tensões nos alinhamentos já indicados e um expectável mapa de fissuras.

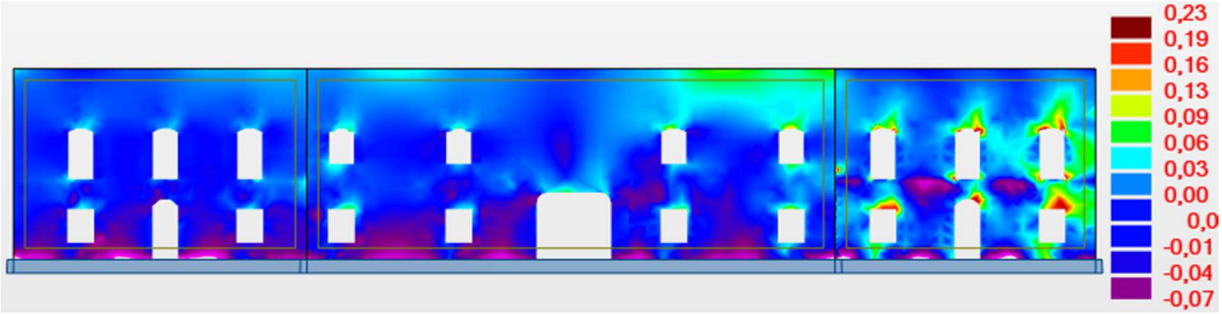


Figura 4.59 – Diagrama de tensões principais de tracção para o alinhamento A devido à combinação sísmica (MPa).

Na fachada principal, Figura 4.59, temos tensões de tracção (0,23MPa) superiores ao valor resistente da alvenaria de pedra. Essas tensões surgem como consequência da deformada da fachada transversalmente ao seu plano. Estando a fachada travada fora do plano pela parede do alinhamento G, esta irá originar uma maior concentração de tracções nessa zona pois o movimento transversal da fachada está a ser contrariado.

Na Figura 4.60 é exibido o mapa de tensões principais de tracção na alvenaria do alinhamento B.

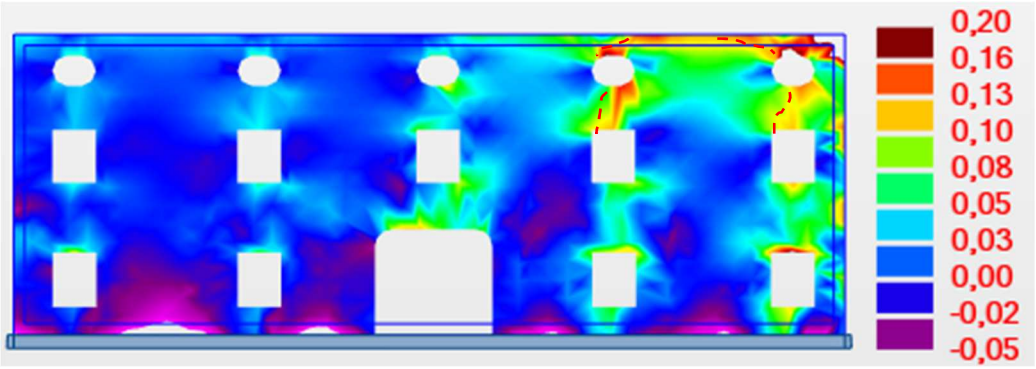


Figura 4.60 – Diagrama de tensões principais de tracção (plano B) devido à combinação sísmica (MPa).

As tensões de tracção elevadas no canto superior direito da fachada devem-se à translação das lajes de cobertura que, por apresentarem maior rigidez, conduzem a fachada na direcção do seu movimento provocando tensões de tracção elevadas. Na Figura 4.61, podemos observar o mapa de tensões principais de tracção sem a consideração das lajes de cobertura. A resistência fora do plano passa a ser resistida pela parede ortogonal do plano G, que devido a sua maior deformabilidade em relação as lajes

de betão, acompanha a deformação da fachada em análise originando tensões de tracção inferiores ao limite resistente. As tensões de tracção principais passam a ser originadas fundamentalmente pela deformação da parede fora do plano. Na Figura 4.61 encontra-se representada a fissuração e rotura expectável da fachada por deformação fora do plano.

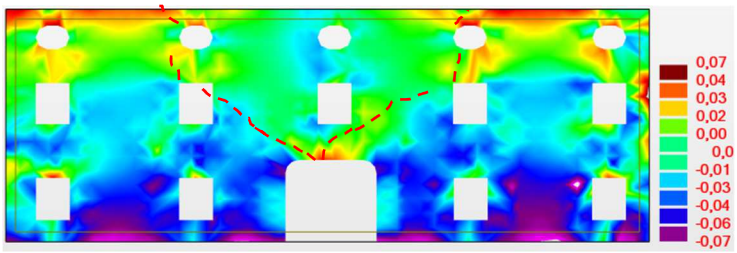


Figura 4.61 – Diagrama de tensões principais de tracção (plano B) devido à combinação sísmica sem lajes de cobertura (MPa).

A fachada do alinhamento C, apresenta tensões que excedem o valor resistente de tracção da alvenaria e que se encontram assinalados na Figura 4.62. A causa das tensões elevadas, à semelhança da fachada do plano B, deve-se à translação das lajes aligeiradas. Estas tensões, como também foi verificado anteriormente, reduzem significativamente se a laje de cobertura não for considerada.

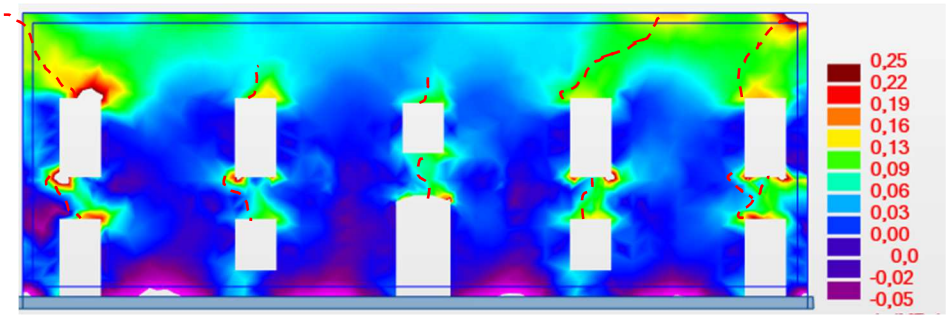


Figura 4.62 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano C) devido à combinação sísmica (MPa) e fissuração expectável.

Para o modelo estabelecido a fachada do plano D, Figura 4.63, não apresenta qualquer problema do ponto de vista da segurança com as tensões de tracção abaixo das tensões limite. O mesmo sucede com a parede do plano E, Figura 4.64, quem tem um número reduzido de aberturas, o que é uma vantagem para distribuição das tensões e, portanto, os valores das tensões actuantes estão longe dos valores resistentes.

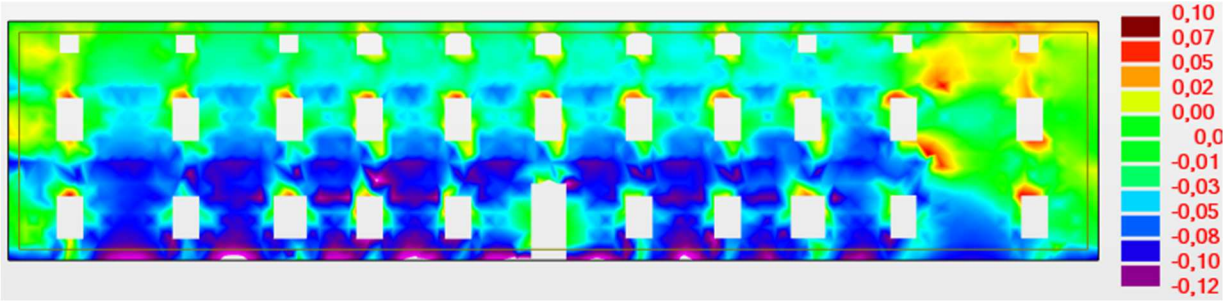


Figura 4.63 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria da fachada exterior oeste (plano D) para combinação sísmica (MPa).

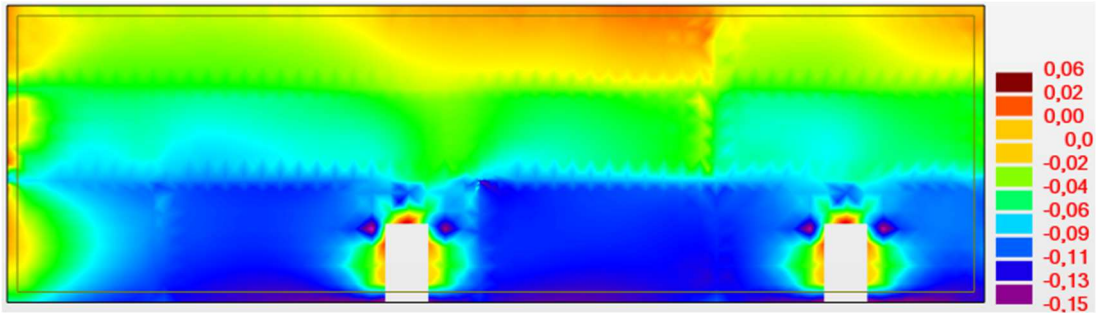


Figura 4.64 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano E para combinação sísmica (MPa).

A fachada do pário interior, plano F, apresenta tensões de tracção elevadas no canto superior direito. Este efeito local deve-se essencialmente à deformação de uma das paredes interiores que origina uma torção da zona de canto e consequentemente tensões de tracção mais elevadas (efeito de cunhal). Contudo, estes paramentos encontravam-se na altura da inspecção revestidos com pladur e não foi possível validar a ligação entre as paredes.

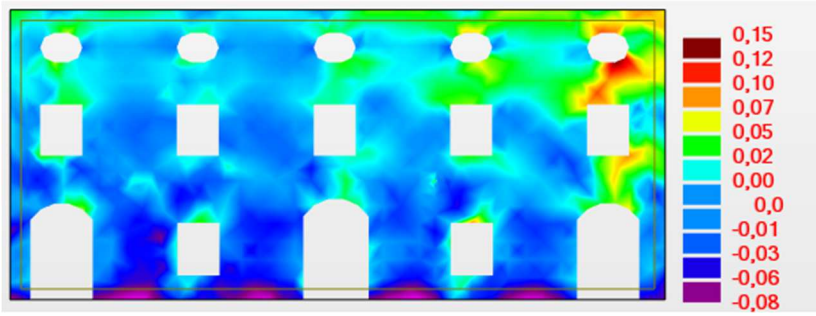


Figura 4.65 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano F para combinação sísmica (MPa).

A fachada oposta à anterior, Figura 4.66, é mais um exemplo do que foi observado, de tensões elevadas motivadas pelo movimento das lajes de piso. Neste caso concreto observa-se tensões de tracção máximas de 0,23MPa, consideravelmente superiores ao 0,1MPa de tensão resistente, capazes de

fendilhar na totalidade a fachada entre vãos de aberturas. Este efeito é um dano típico e observável pós-sismo.

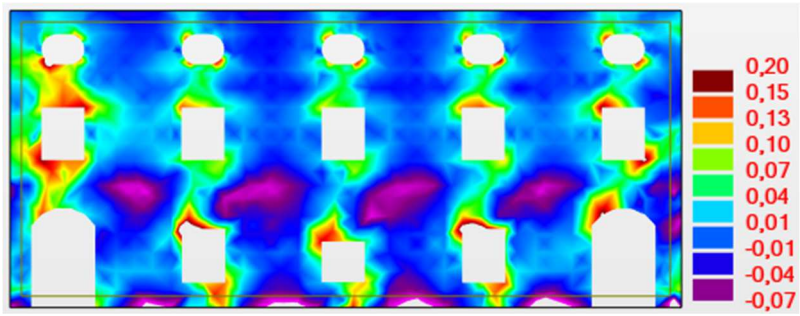


Figura 4.66 – Mapa de tensões principais de tracção para o plano G para combinação sísmica (MPa).

Por último, nas fachadas dos alinhamentos H e I, Figura 4.67 e Figura 4.68, observa-se uma reprodução dos acontecimentos acima descritos. São alvenarias de suporte da laje de piso e cobertura afectadas pelas translações das mesmas. A fachada do plano I tensões que colocam em causa a integridade da fachada ao nível dos vãos das aberturas. Este fenómeno deve-se em parte à extensão da parede sem existência de uma parede ortogonal capaz de aumentar transversalmente a rigidez local da fachada em análise.

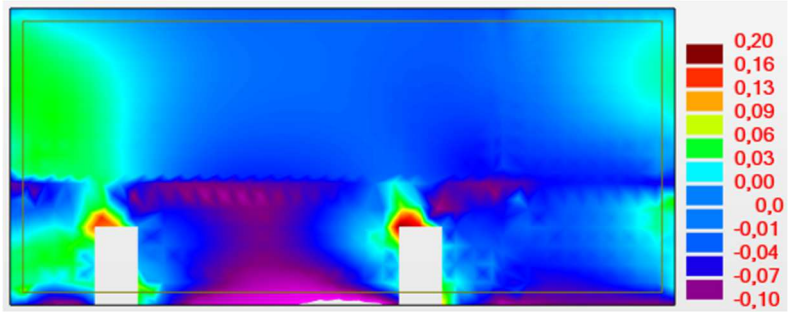


Figura 4.67 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano H) para combinação sísmica (MPa).

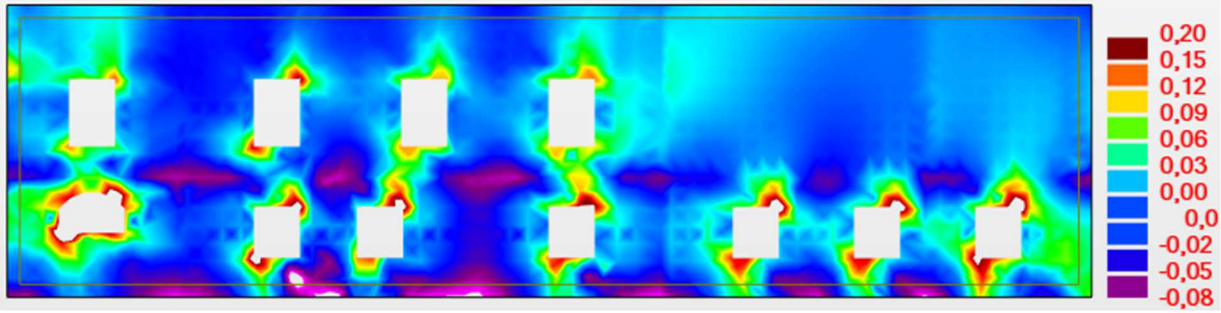


Figura 4.68 – Diagrama de tensões principais de tracção para a alvenaria (plano I) para combinação sísmica (MPa).

Da análise efectuada conclui-se que o edifício apresenta algumas debilidades ao nível comportamental face a um acontecimento sísmico. Nas várias fachadas foi possível visualizar a instalação de tensões de tracção superiores à tensão resistente da alvenaria regular, onde foi também representado um plausível mapa de fissuração. As fissuras expectáveis localizam-se essencialmente nos vãos de aberturas e cunhais das fachadas. Denotam-se tracções nas zonas das janelas, algumas excedendo mesmo os limites de resistência a tracção. No entanto a realidade observada no edifício mostra os vãos materializados por blocos de pedra que resultam num funcionamento à compressão, pelo que as tensões de tracção obtidas no modelo poderão ser inferiores. Os cantos das paredes são também zonas muito solicitadas na combinação sísmica de acções onde os efeitos de translação e torção têm uma expressão maior. Contudo, a alvenaria nesses cunhais é de melhor qualidade, muitas vezes materializada através de cantaria de pedra.

É igualmente observável a influência das lajes de betão apoiadas nas alvenarias face a um evento sísmico. Este efeito é notório no topo das fachadas, devendo-se à inexistência de paredes de alvenarias interiores desde o piso 0 até à cobertura. A existir, estas fachadas conferiam uma maior rigidez transversal das alvenarias, menor translação das lajes de piso e consequentemente um melhor comportamento do edifício. No modelo, não foram simuladas as paredes de tabique encontradas que poderiam ter alguma contribuição. Porém, devido a baixa resistência e alta deformabilidade não seria este detalhe na modelação capaz de mitigar estes efeitos.

Por último, não se referiu, na análise individual das fachadas, os níveis de tensões principais de compressão instaladas. No entanto, numa análise global verificou-se que os valores máximos das mesmas se aproximam dos 0,60MPa.

Este último capítulo serve apenas para uma análise superficial do edifício do Museu. Os resultados obtidos no modelo numérico tratam-se de aproximações da realidade ainda um pouco distantes. Sugere-se a calibração do modelo após realização de ensaios de identificação dinâmica às alvenarias e pavimentos, assim como validação da ligação entre os vários paramentos e materialização dos apoios dos elementos de madeira na alvenaria. Por último representa-se nas figuras seguintes o modelo global com representação dos mapas das tensões principais de tracção e correspondente deformação global das alvenarias para a combinação sísmica.

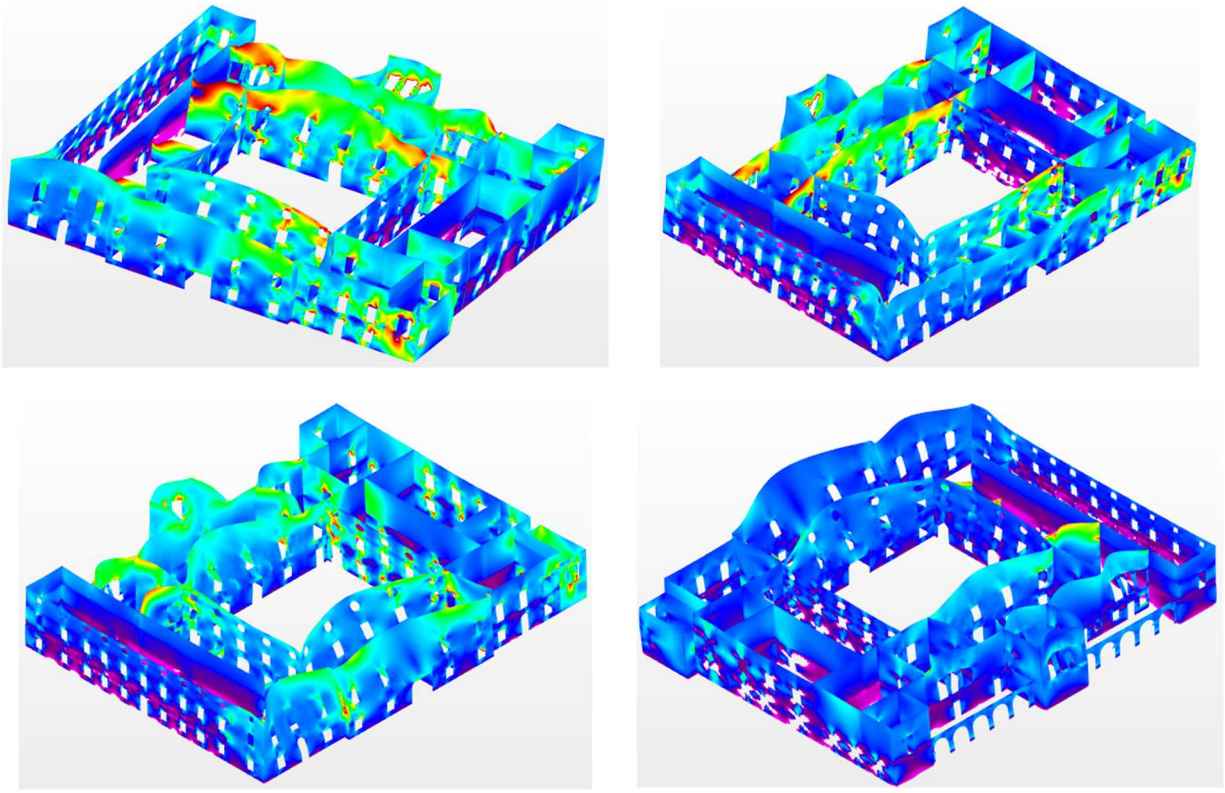


Figura 4.69 – Diagrama de tensões principais de tracção e deformações do modelo global.

CAPÍTULO 5

ARMAZÉNS VINÍCOLAS – CASO DE ESTUDO II

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo analisa-se em pormenor o caso de estudo acompanhado no NCREP, designado por *"Armazéns Vinícolas"*, destinados ao armazenamento, envolvidos no processo de envelhecimento dos vinhos, engarrafamento, destina-se às etapas últimas da vinificação do vinho. Os trabalhos realizados pelo NCREP englobaram as fases de inspecção, diagnóstico e projecto. De todo o centro de armazenamento foram alvo deste caso de estudo as coberturas dos armazéns aqui designados por armazém 12 e o armazém 14 sobre os quais, individualmente, são apresentados os resultados das fases de inspecção e diagnóstico dividida em seis partes: descrição geral da cobertura, caracterização dos elementos estruturais, respectivos danos e análise sumária dos resultados do ensaio *Resistograph®*, avaliação de segurança, medidas de intervenção e respectivo dimensionamento.

Após apresentação da cobertura em análise e caracterização da mesma, é feita uma análise de dados resultantes do cruzamento da informação obtida visualmente e os ensaios realizados, concretizada uma avaliação de segurança da estrutura existente e apresentadas simultaneamente as principais observações inerentes a cada uma das etapas.

Após a apresentação das principais conclusões da fase inspecção e diagnóstico são apresentadas as principais medidas de intervenção e dimensionamento dos novos elementos estruturais a introduzir.

Ao contrário do sucedido no caso de estudo anterior, a análise do presente caso explora fundamentalmente a fase de projecto, análise e tomada de decisões acerca das asnas de madeira da cobertura dos dois armazéns. No entanto, qualquer sugestão de intervenção deve sempre ser fundamentada e como tal são igualmente apresentados, como já referido, os dados resultantes da fase de inspecção e diagnóstico embora de uma forma menos exaustiva.

5.2 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS IN-SITU

A inspecção visual para caracterização geométrica, material e do estado de conservação dos elementos estruturais das coberturas de ambos os armazéns (A1 e A2) foi acompanhada, complementada e validada através da realização de ensaios tendencialmente não destrutivos. Nos ensaios realizados aos elementos de madeira foram utilizados os seguintes instrumentos: Martelo, formão, higrómetro e *Resistograph®*.

Referente a cada armazém é apresentado, enquadrado no respectivo capítulo "*Avaliação dos indicadores de estado de conservação*, de forma sumária os resultados da inspecção e dos ensaios efectuados para avaliação do estado de conservação das peças de madeira, incluído o seu interior.

5.3 ARMAZÉM 12

O armazém 12 possuí uma planta rectangular composta por uma cobertura de duas águas e uma área em planta aproximadamente rectangular de cerca 13,20x110m^2. Construtivamente, a cobertura em estudo é composta por uma estrutura resistente em madeira, constituída por asnas compostas dispostas paralelamente entre si, apoiadas em paredes resistentes em alvenaria de pedra nas empenas.



a) Vista geral



b) Alçado de asna tipo

5.3.1 Caracterização dos elementos estruturais

A caracterização dos elementos estruturais da cobertura em estudo é complementada pelas peças desenhadas que se encontram em anexo a este documento e, que na Figura 5.1, pode ser observada a organização dos elementos estruturais em planta.

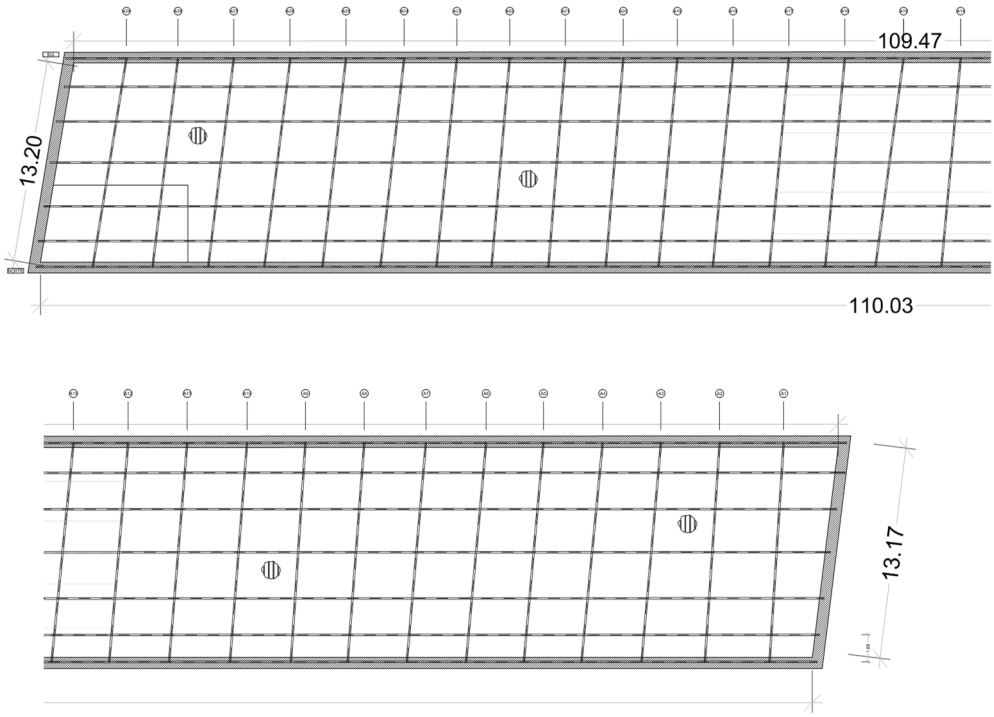


Figura 5.1 –Planta estrutural do armazém em estudo (sem escala).

A cobertura do armazém de vertente de duas águas e estrutura em madeira, é constituída por um conjunto de 29 asnas sobre as quais apoiam os elementos secundários: madres e cumeeira. O apoio das varas na parede de alvenaria é realizado sobre um frechal de madeira de secção transversal 7x20cm^2.

As asnas, com espaçamento médio de 3,80m, vencem um vão livre com aproximadamente 13,20m e têm uma altura de cerca 4,00m, sendo simétricas. Estas asnas são do tipo asna composta e constituídas por pernas, pendural principal e secundário (este último em cinta metálica), escoras (principais e secundárias) e linha. As asnas são compostas por elementos estruturais de secção transversal rectangular, variando as secções entre 7x16cm^2, 7x22cm^2 e 10x20cm^2, conforme apresentado na Figura 5.2. Em termos gerais, a cobertura é constituída por vigas em secção rectangular de madeira do tipo resinosa (presumivelmente pinho nacional, *Pinus pinaster*). Entre determinadas asnas é visível a existência de prumos metálicos introduzidos com o intuito de contraventar o descolamento fora-do-plano das linhas das asnas, Figura 5.3a).

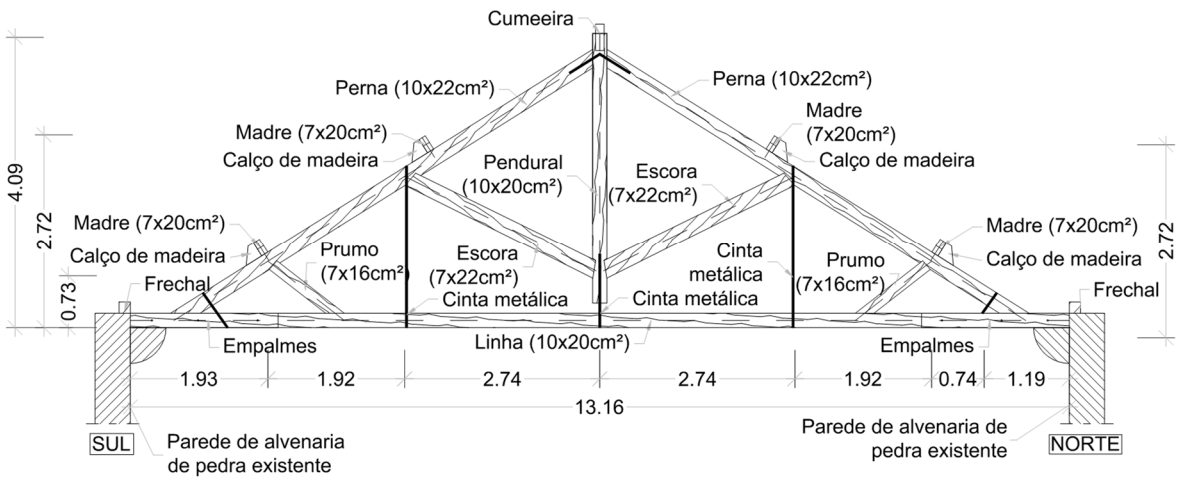


Figura 5.2 – Asnas existentes: esquema estrutural da asna tipo (sem escala).

As madres e cumeeira com secção rectangular, encontram-se apoiadas entre asnas. Salienta-se que o vão livre das cumeeiras corresponde a metade da distância entre asnas, já que as secções a meio vão se encontram apoiadas em pares de escoras inclinadas, com secção transversal de 7x16cm^2, ligadas ao pendural das asnas, Figura 5.3.b). Junto aos apoios a generalidade das asnas apresentam empalmes de ambos os lados da linha recorrendo a madeira folhosa do tipo Eucalipto (*Eucalyptus*), Figura 5.3c). A mesma tipologia de intervenção com recurso ao reforço dos elementos é observável nas pernas em que o reforço é também realizado com elementos de madeira folhosa, Figura 5.3d).

Em anexo apresentam-se as plantas estruturais com a indicação dos vãos, espaçamentos e secções transversais dos elementos estruturais da cobertura.



a) Pormenor dos prumos metálicos entre certas asnas.



b) Escoras de suporte das cumeeiras.



c) Pormenor do empalme da linha junto aos apoios.



d) Pormenor do reforço da perna.

Figura 5.3 – Pormenores da asna em estudo.

Determinadas asnas existentes foram sujeitas a intervenção, tendo sido substituídas parcial ou integralmente por asnas de madeira lamelada colada adoptando o mesmo sistema estrutural já anteriormente existente. Os elementos de asnas em madeira lamelada colada têm secção 12x24cm^2 nas pernas, 12x24cm^2 na linha, 10x24cm^2 nas escoras, prumos e pendural.



a) Pernas e linha em lamelada colada.



b) Pernas, linha e escoras em lamelada colada.

Figura 5.4 – Pormenores da asna em estudo.

5.3.2 Danos estruturais

5.3.2.1 Introdução

Os elementos obtidos através da inspecção visual e dos ensaios realizados permitiram analisar o estado de conservação dos elementos estruturais do armazém e assim definir as necessidades de intervenção. De uma forma geral, foram identificados diversos pontos de entrada de água e, consequentemente, focos de humidade, quer em elementos estruturais, quer em elementos secundários, como as varas ou o guarda-pó. Estas entradas de água situam-se maioritariamente nas paredes de empena, situação que encontra alguma correspondência com os ataques bióticos identificados. De facto, nas paredes de

empena é notória a quantidade de água que resulta, inclusivamente, na existência de fungos nestas paredes. Além de favorecer a degradação dos elementos de revestimento das paredes, a entrada de água cria condições para o ataque de agentes bióticos nos elementos de madeira. Este aspecto sublinha a importância da realização de acções de manutenção regulares, sendo esta a única forma de garantir a integridade de estruturas desta natureza.

No presente capítulo são apresentados e descritos os principais danos encontrados no armazém, sendo esta descrição suportada pelas peças desenhadas onde esta informação se encontra sintetizada.



Figura 5.5 – Exemplo de zona com entrada de água abundante.

5.3.2.2 Danos observados em elementos estruturais de madeira

Como referido anteriormente, os diversos pontos no armazém onde existem focos de humidade aliada à existência de apoios reforçados por empalmes com elementos de madeira indiciam a existência de pontos de degradação já intervencionados anteriormente. Nalguns desses casos, os ensaios realizados com o *Resistograph*® confirmaram a existência de degradações materiais nas secções originais, Figura 5.6.



Figura 5.6 – Exemplo de apoios degradados e já reforçados com empalmes

Para além da degradação material observada, foram registados outros danos em elementos de madeira decorrentes de uma deficiente concepção estrutural, como deformações excessivas visível ao longo de todo o armazém, o efeito de encurvadura, torção e bambeamento, que esteve na origem da rotura de algumas das peças existentes. Estas anomalias surgem fundamentalmente associadas ao sub-dimensionamento dos elementos que constituem a asna. A Figura 5.7 apresenta algumas imagens exemplificativas dos danos provocados pelo sub-dimensionamento das peças.



a) Deformação vertical excessiva da linha. b) Deformação fora-do-plano do pendural e linha.

Figura 5.7 – Anomalias associadas ao sub-dimensionamento.

Outros danos pontuais registados na cobertura de madeira foram a rotura dos elementos de apoio das asnas, Figura 5.8a), ataque de térmitas que provocaram vazios internos detectados com ensaios *Resistograph*® e o ataque de agentes bióticos identificados na estrutura da cobertura como caruncho e fungos, Figura 5.8b).



a) Deficiente entrega da linha da asna no apoio. b) Ataque superficial de caruncho.

Figura 5.8 – Exemplos de outros danos registados na cobertura.

5.3.2.3 Danos observados em elementos metálicos

Os elementos metálicos principais presentes no armazém na forma de peças de ligação entre elementos das asnas bem como os pendurais secundários (na forma de cintas), estão de uma forma geral em bom estado de conservação. Apresentam contudo, alguns sinais de corrosão nos elementos de ligação das asnas. Além disso, a maioria dos pendurais secundários metálicos não se encontram em funcionamento devido à deformação vertical das pernas, originando o desligamento destas às linhas da asna, Figura 5.9a).

Por outro lado, existem os prumos metálicos que foram colocados ao nível das linhas das asnas para impedir a instabilidade lateral destas mesmas linhas. Contudo, e como consequência da deformação das linhas fora-do-plano, é observável a encurvadura localizada do prumo metálico entre a asna A12 e A13, Figura 5.9b).



a) Ligação deficiente.



b) Encurvadura localizada do prumo metálico.

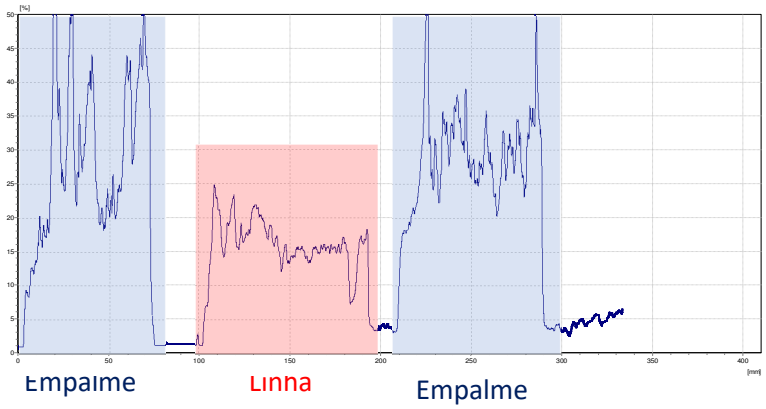
Figura 5.9 – Danos observados em elementos metálicos.

5.3.3 Avaliação dos indicadores do estado de conservação

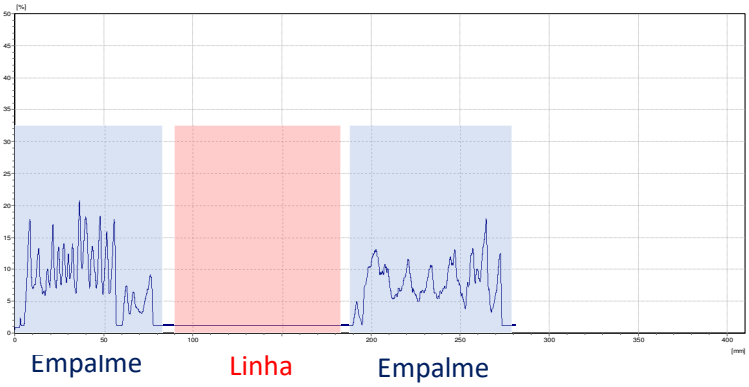
Durante campanha de ensaios no total foram realizados 45 ensaios *in-situ* com recurso ao *Resistograph®* em zonas especificamente escolhidas e representativas das estruturas de madeira da cobertura. Os ensaios realizados com o *Resistograph®* nos elementos estruturais de madeira da cobertura em estudo revelam que 48% dos ensaios encontram-se em mau/razoável estado de conservação, em especial na zona de apoios. De modo a repor as condições de segurança necessárias esses elementos devem ser alvo de substituição ou reforço.

Dos ensaios realizados, recorde-se que a generalidade das linhas se encontravam empalmadas por outros elementos de madeira e como tal reflecte-se nos resultados dos ensaios realizados onde é possível observar uma variação significativa de valores de *Resistograph®* que poderiam indicar um dano na madeira, contudo, trata-se da agulha a atravessar secções de espécies de madeira e estado de

conservação interno distintas. Na Figura 5.10 podemos observar dois ensaios realizados em peças com empalmes em que a linha se encontrava em bom (a) e mau (b) estado de conservação, sendo que nesta última era inexistente a secção da linha.



a) Bom estado de conservação



b) Mau estado de conservação

Figura 5.10 – Resultado gráfico de ensaios *Resistograph®* em elementos empalmados.

5.3.4 Avaliação de segurança estrutural

Apresentam-se em seguida os principais aspectos da verificação de segurança estrutural realizada aos elementos estruturais da cobertura para as acções verticais, com as considerações tomadas com base na fase de inspecção. A avaliação de segurança foi realizada para uma asna tipo de secções transversais, vãos e espaçamento entre elementos estruturais obtidos por amostragem. Os ensaios e a inspecção visual realizada permitiu concluir que as madeiras encontradas são maioritariamente do tipo resinosa e, como a densidade é um parâmetro correlacionável quando são inexistentes danos relevantes ou defeitos, e apesar da regulamentação nacional indicar a classe resistente C18, adoptou-se uma classe resistente C24 com base nos recentes trabalhos realizados por Costa *et al*. (2017).Para asnas recentemente substituídas por asnas estruturalmente semelhantes em lamelada colada considerou-se uma classe resistente GL24h. Relativamente aos elementos metálicos existentes nas cintas das asnas da

cobertura assim como dos prumos metálicos existentes, considerou-se um aço com características semelhantes ao aço da classe S235.

5.3.4.1 Quantificação de acções

Acções Permanentes (G_k)

No conjunto das acções permanentes incluem-se os pesos próprios dos elementos estruturais e não-estruturais, considerando as suas dimensões nominais, os pesos volúmicos dos materiais e as disposições descritas em 3.3.2.

Tabela 5.1 - Acções permanentes (G_k) consideradas.

Pesos Próprios (PP)

Peso específico do aço em elementos metálicos	77,00kN/m^3
Peso específico de madeira maciça resinosa (C24)	4,20kN/m^3
Peso específico de madeira lamelada colada (GL24h)	3,80kN/m^3

Restantes cargas permanentes (RCP)

Peso dos materiais de revestimento (telhas, ripas, lã-de-rocha, varas e guarda-pó) da cobertura	0,80kN/m^2

Acções Variáveis (Q_k)

Foram consideradas como variáveis as acções devidas à sobrecarga na cobertura, bem como a acção do vento.

Relativamente à sobrecarga da cobertura foi adoptado o valor de 0,4kN/m^2 correspondente à sobrecarga em coberturas ordinárias. A acção do vento nas estruturas foi simulada por intermédio de um carregamento estático equivalente, aplicado na estrutura como carga distribuída. A pressão do vento foi determinada supondo que o armazém se encontra localizado na zona A com categoria do terreno do tipo II, com cobertura múltipla de vertente de duas águas, segundo EC1 (CEN, 2009 e 2010a).

As combinações de acções consideradas são as regulamentares vigentes, já referenciadas no capítulo 3.3.2.4.

5.3.4.2 Avaliação de segurança das estruturas de madeira

A análise das estruturas de madeira da cobertura foi realizada através do cumprimento das condições preconizadas no Eurocódigo 5 (CEN, 2004) e envolveu a verificação aos estados limites últimos e aos estados limites de serviço. Relativamente aos estados limites últimos, foi verificado o comportamento à flexão simples, à flexão desviada, ao corte e à compressão perpendicular ao fio (na zona dos apoios dos

elementos estruturais), tendo sido considerados na análise os fenómenos de instabilidade por encurvadura lateral-torsional (bambeamento) e encurvadura. No que diz respeito aos estados limites de serviço, foi verificada a deformação. As características da ligação madeira/parede de alvenaria materializam um apoio que nesta verificação será considerado simples.

Valores de cálculo das propriedades dos materiais

As resistências de cálculo dependem das cargas que estão presentes em cada combinação e que se resumem na tabela seguinte para classe resistente C24 - madeira maciça, equivalente aos elementos de madeira existentes e para a classe resistente GL24h – madeira lamelada colada, correspondente aos elementos de madeira introduzidos recentemente.

Tabela 5.2 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais (existentes).

Classe Resistente	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)
C24	Permanentes	0,60	11,08	6,46	9,69	1,15	1,15
	Média duração (Sobrecarga)	0,80	14,77	8,62	12,92	1,54	1,54
	Curta duração (Vento)	0,90	16,62	9,69	14,54	1,73	1,73
GL24h	Permanentes	0,60	11,52	7,92	11,52	1,30	1,30
	Média duração (Sobrecarga)	0,80	15,36	10,56	15,36	1,73	1,73
	Curta duração (Vento)	0,90	17,28	11,88	17,28	1,94	1,94

Asnas de cobertura - Estados limites de últimos (ELU) e de serviço (ELS)

A verificação de segurança estrutural dos elementos da cobertura, tanto em termos de resistência (Estados Limites Últimos - ELU), como em termos de deformação (Estados Limites de Serviço - ELS) e que se apresenta em seguida, procurou avaliar a sua adequabilidade às cargas actuantes.

A verificação de segurança foi feita para os elementos estruturais mais solicitadas pelas acções verticais, ilustrando-se o modelo numérico de cálculo plano utilizado, nomeadamente para o cálculo estrutural dos esforços instalados nas asnas de cobertura.

Na Figura 5.11 apresenta-se a asna tipo (madeira C24) modelada no software para verificação dos estados limites seguida da Tabela 5.3 onde se resume os rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes).

A verificação de segurança estrutural permitiu concluir que a linha principal não verifica as condições regulamentares de segurança ao Estado Limite Último, apresentando uma secção insuficiente para resistir a efeitos de encurvadura na eventualidade de inversão dos esforços. As pernas e as escoras principais apresentam-se como elementos demasiado esbeltos e consequentemente muitos instáveis

para resistir a esforços de compressão e/ou flexão. Todos os restantes elementos apresentam rácios inferiores a 1 para os estados limites, verificando a segurança.

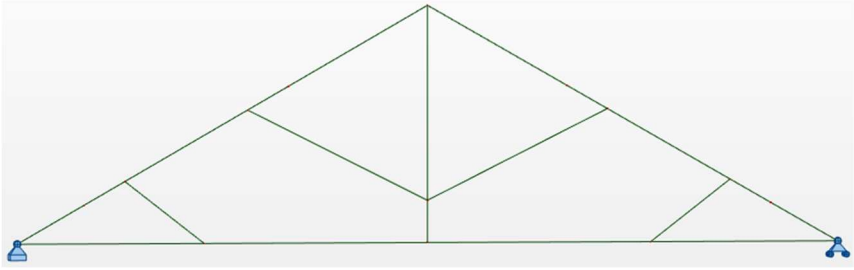


Figura 5.11 - Modelo numérico da asna de cobertura para verificação dos estados limites.

Tabela 5.3 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço (C24).

Elemento	**Rácio ELU**		**Rácio ELS**	
Linha principal	1.32	**KO**	0.58	**OK**
Escoras principais	1.02	**KO**	0.01	**OK**
Pendural	0.14	**OK**	0.01	**OK**
Pernas	2.28	**KO**	0.91	**OK**
Escoras secundárias	0.14	**OK**	0.01	**OK**

Do mesmo modo se fez a análise das asnas de madeira lamelada colada com as respectivas secções tipo e que se apresentam na Tabela 5.4 os valores resumidos dos rácios de segurança.

Ao contrário do sucedido para as asnas existentes em madeira maciça (C24) as asnas em lamelada colada (GL24h), tendo o mesmo sistema estrutural, apresenta secções suficientes para a verificação da segurança aos estados limites último e de serviço. Salienta-se o rácio elevado das pernas para verificação ao estado limite último. Esta verificação foi condicionada essencialmente pelas instabilidades que contabilizam uma redução da capacidade resistente em função das distâncias entre pontos de inflexão, pelo que como medida de intervenção julga-se interessante o travamento fora do plano das pernas na zona das madres.

Tabela 5.4 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço (GL24h).

Elemento	**Rácio ELU**		**Rácio ELS**	
Linha principal	0.22	**OK**	0.39	**OK**
Escoras principais	0.24	**OK**	0.01	**OK**
Pendural	0.09	**OK**	0.00	**OK**
Pernas	0.98	**OK**	0.51	**OK**

Escoras secundárias	0.03	OK	0.00	OK

Análise dos restantes elementos da cobertura

Foi igualmente realizada a verificação de segurança estrutural para as madres e cumeeiras que materializam a cobertura, para os Estados Limites Último (ELU) e os Estados Limites de Serviço (ELS).

A Tabela 5.5 apresenta os rácios resultantes da avaliação ao Estado Limite Último (ELU), tendo em conta os esforços a que estão sujeitas: flexão simples e flexão desviada, esforço transverso, compressão perpendicular ao fio e bambeamento. Como é possível observar, as madres existentes não verificam a segurança para os Estados Limites Últimos (Flexão desviada).

Tabela 5.5 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU.

	Caracteristicas geométricas			Carregamento		Caracteristicas material	Flexão simples		Bambeamento	Corte	Compressão ⊥ fibras	Flexão desviada			
Elemento	b(m)	h(m)	Vão (m)	L influecia (m)	gk (kN/m)	Maciça		Rácio	Rácio	Rácio	Rácio	$\sigma_{m,y,d}$ (Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$ (Mpa)	Rácio	Rácio
Madre - Cota superior	0,07	0,20	3,80	2,80	2,30	C24	1,14	KO	KO	OK	OK	14,61	24,10	1,97	2,09
Madre - Cota intermédia	0,07	0,20	3,80	2,30	1,90	C24	0,94	OK	OK	OK	OK	12,05	19,87	1,62	1,73
Cumeeira	0,07	0,20	1,90	2,97	2,43	C24	0,30	OK	OK	OK	OK	3,87	6,38	0,52	0,55

A verificação ao estado limite de deformação, apresentada na Tabela 5.6 permitiu concluir que as madres não cumprem os limites regulamentares de estado limite de deformação, e as cumeeiras cumprem devido ao escoramento existente ao pendural das asnas que reduz o vão das cumeeiras para metade do seu comprimento total.

Tabela 5.6 - Rácios de serviço das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELS.

	Caracteristicas geométricas		E.L.S. - Deformação ZZ (Ped,zz para Iy)						E.L.S. - Deformação YY (Ped,yy para Iz)					
Elemento	b(m)	h(m)	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério u_{inst}≤l/300	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério u_{fin}≤l/250			$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério u_{inst}≤l/300		$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério u_{fin}≤l/250	
Madre - Cota superior	0,07	0,20	14,98	12,67	KO	24,40	15,20	KO	68,09	12,67	KO	110,89	15,20	KO
Madre - Cota intermédia	0,07	0,20	12,36	12,67	OK	20,13	15,20	KO	56,15	12,67	KO	91,49	15,20	KO
Cumeeira	0,07	0,20	1,11	6,33	OK	1,81	7,60	OK	4,58	6,33	OK	7,46	7,60	OK

Após análise é possível concluir que o sistema de asnas observado no armazém 12 carece de elementos estruturais de secções capazes de resistir aos esforços instalados. A verificação de segurança das asnas da cobertura permitiu identificar o problema principal que se encontra em conformidade com os principais danos encontrados nas asnas, tais como deformação fora-do-plano, rotura de elementos e fenómenos de instabilidade agravados pelo estado de conservação das mesmas.

5.3.5 Sugestão de medidas de intervenção

5.3.5.1 Introdução

A análise efectuada nos capítulos anteriores permitiu avaliar o estado de conservação estrutural do armazém, tendo sido identificados alguns danos estruturais importantes. A verificação de segurança estrutural da estrutura para cargas verticais deu indicações importantes em relação ao nível de intervenção estrutural que a cobertura requer, nomeadamente sobre a necessidade de substituir, reabilitar e/ou reforçar os seus elementos estruturais que foi essencialmente influenciada pelo sub-dimensionamento dos elementos. Serve o presente subcapítulo de sugestão das medidas de intervenção que se julgam necessárias

5.3.5.2 Proposta de intervenção

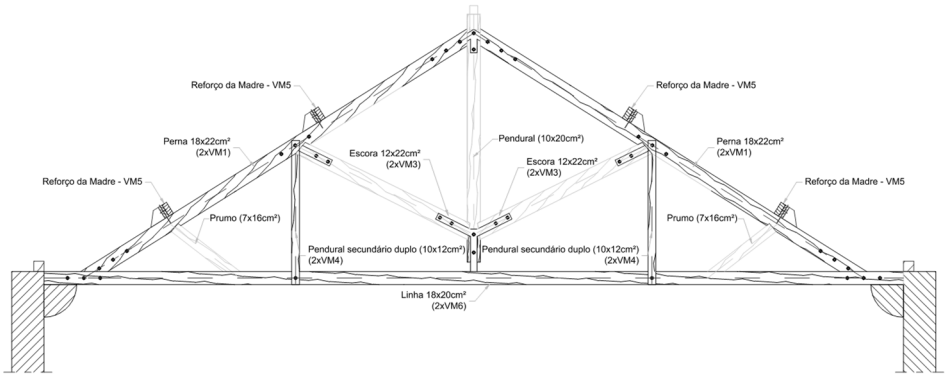
Como conclusão retirada do nível de conservação dos elementos de madeira da cobertura, aliado ao seu sub-dimensionamento aferido na análise numérica efectuada, apontam para a necessidade de soluções de intervenção que terá necessariamente algum grau de intrusividade.

A intervenção que se crê necessária na estrutura de madeira da cobertura pretende melhorar o comportamento dos elementos estruturais, dotando-os das características necessárias para cumprir as

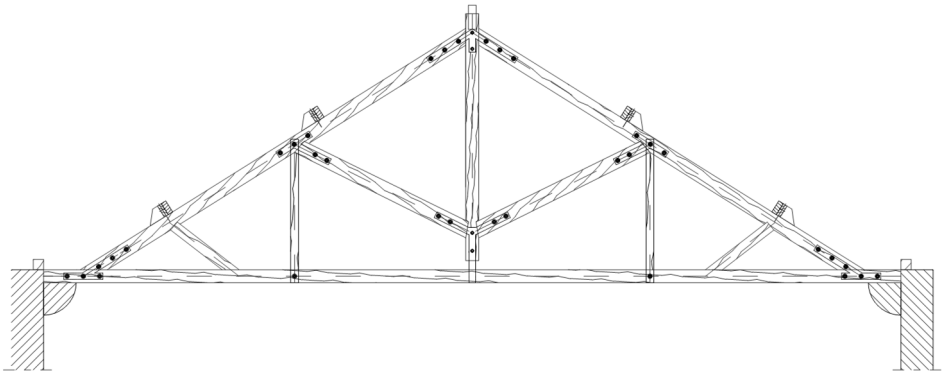
disposições regulamentares. Tendo em conta o exposto, as acções de reforço estrutural que se consideram mais importantes são as seguintes:

(i) Reabilitação e reforço das asnas da cobertura

Reforço dos elementos com rácios de solicitação mais elevados, através da fixação de novos elementos de madeira em ambas as faces, com o objectivo de aumentar a sua capacidade resistente e de impedir novos acréscimos de deformação ou a rotura do elemento. A ligação adequada entre os elementos de reforço e os elementos originais é essencial para garantir o funcionamento conjunto dos novos elementos reforçados. As ligações entre elementos deverão também ser reforçadas com recurso a chapas metálicas, internas ao reforço, que ligam os vários elementos. É indicada a introdução de dois pendurais duplos, colocados pelo exterior dos reforços em todas as asnas, substituindo o funcionamento das cintas metálicas (a maioria actualmente sem funcionamento), ver Figura 5.12. As escoras de ligação entre os pendurais e a cumeeira (do tipo "mão francesa") deverão ser substituídas por novas peças de secção suficiente para verificação do estado limite último a encurvadura.



a) Reforço de asna (layer a negrito-reforço; layer claro-existente).



b) Pormenor das ligações omitidas pelo reforço.

Figura 5.12 – Reforço de asnas.

(ii) Introdução de elementos de contraventamento das asnas

Limitação do risco de encurvadura global das asnas através da introdução de elementos de contraventamento em madeira entre as asnas (ligados de topo às pernas) e junto às fachadas. Esta acção visa limitar o risco de encurvadura global das asnas e a deformação global da cobertura.

(iii) Reabilitação estrutural das madres e cumeeiras

Substituição das madres e cumeeiras mais degradadas por novos elementos de madeira com secção transversal adequada às cargas e vãos a vencer. Todas as madres a ser mantidas deverão ser reforçadas lateralmente com um novo elemento de secção igual à existente. A ligação entre as madres e as pernas das asnas deverá também ser melhorada através de chapas metálicas furadas pré-fabricadas e de pregos e parafusos de enroscar, de forma a permitir limitar os fenómenos de encurvadura das pernas.

5.3.6 Projecto de execução e estabilidade

Neste capítulo pretende-se abordar a fase de projecto de estabilidade para as medidas de intervenção descritas anteriormente, desde o reforço dos elementos de asnas existentes, dimensionamento dos elementos de contraventamento das pernas e elementos metálicos de ligação entre elementos de asna.

Dimensionamento da estrutura em madeira dos elementos das asnas

As asnas existentes, tratando-se de peças com uma esbelteza notória, padecem, essencialmente, de rigidez fora do plano o que conduz à deformação das mesmas, quer por instabilidade por encurvadura ou encurvadura lateral torsional. A solução idealizada para este problema de estabilidade do sistema de asnas existente passa fundamentalmente por reforçar lateralmente os elementos de asna, com novos elementos em lamelada colada (GL24h), de modo a incrementar uma maior rigidez em relação a um eixo de menor inércia. Contudo, o modelo numérico utilizado não tem em conta variáveis como defeitos da madeira e/ou estado de conservação das mesmas pelo que como medida adicional todas as madres irão ser ligadas às pernas com intuito de reduzir o comprimento efectivo entre pontos de inflexão devido à encurvadura. Este último será realizado com recurso a um elemento metálico (Angular PF900110) e parafusos do tipo HBS6240 (ϕ6mm) da Rothoblass ou equivalente.

O dimensionamento e verificação aos estados limites últimos e de utilização foi efectuado com recurso a um modelo numérico plano da asna tipo modelada como elementos de barra e nós e cargas e combinações de acções determinadas segundo o capítulo 3.3.2.4 e pressupostos do capítulo 5.3.4.

A solução de reforço consiste no empalme lateral das peças existentes com valores de esforços actuantes superiores aos resistentes de modo a conferir resistência suficiente a estes elementos. Esta ideia de reforço passa por manter embebida, entre as peças existentes e os elementos de reforço, os novos elementos de ligação metálicos, o que levou a um jogo intelectual orientado para a escolha das secções de reforço de modo a compatibilizar as faces das peças de madeira com as ligações metálicas.

Posto isto, as secções finais do reforço para as pernas, linhas e escoras são 4x22cm^2, 2x22cm^2 e 4x20cm^2, respectivamente. Na Tabela 5.7 estão organizados os rácios de segurança para as secções finais estabelecidas.

Os pendurais duplos de madeira lamelada colada a ser introduzidos como substituição das cintas existentes terão secção dupla 5x12 cm^2 e serão colocados pelo extradorso das pernas e linhas como medida de restrição da deformação das linhas principais.

O alçado de asna reforçada assim como os pormenores apresentados adiante, podem ser consultados com maior detalhe nos desenhos anexos ao documento.

Tabela 5.7 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura reforçadas - Estado Limite Último e de Serviço.

Elemento	**Rácio ELU**		**Rácio ELS**	
Perna	0.56	**OK**	0.40	**OK**
Linha	0.54	**OK**	0.23	**OK**
Escora principal	0.28	**OK**	0.01	**OK**
Escora secundária	0.18	**OK**	0.01	**OK**
Pendural	0.16	**OK**	0.01	**OK**
Pendural secundário	0.78	**OK**	0.13	**OK**

O sistema estrutural da asna padecia de elementos de secção efectiva que conferissem rigidez suficiente para resistir aos esforços instalados e que mitigassem, essencialmente, os efeitos de instabilidade. Com a implementação das sugestões realizadas é possível conferir ao sistema estrutural rigidez fora-do-plano com o aumento da inércia (segundo o eixo menor inércia) e consequentemente da inércia torsional dos elementos críticos de modo a distanciar as tensões críticas das tensões actuantes expectáveis.

A ligação dos elementos de reforço aos existentes, para obter um comportamento aos esforços de um elemento composto (existente mais reforço), deverá ser executado com recurso a parafusos VGZ9160 (ϕ9, l=160) ou equivalente, espaçados de 0,25m e aplicados em quincôncio ao longo de toda a extensão da peça, Figura 5.13.

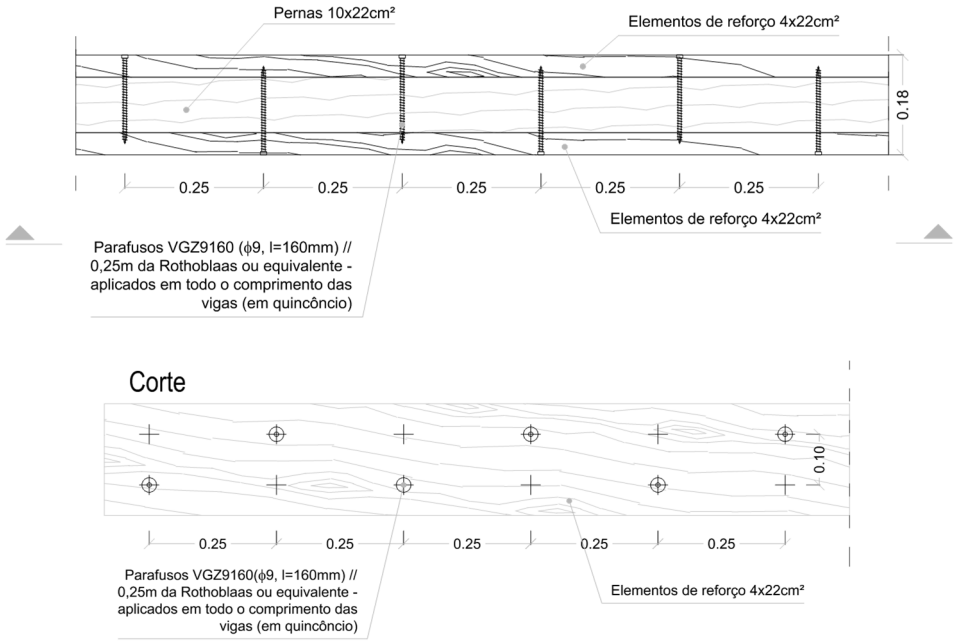


Figura 5.13 – Pormenor de fixação dos elementos de reforço aos elementos de asna existentes.

As escoras de ligação entre os pendurais e a cumeeira, unidos entre o meio vão da cumeeira e uma cota alta do pendural, apresentavam, na generalidade, razoável estado de conservação devido ao ataque de caruncho e sem capacidade para verificação do Estado Limite Último à encurvadura. Como tal foram dimensionadas novas secções a implementar com ligação à cota de intersecção das escoras com o pendural como medida adicional de travamento fora-do-plano do pendural das asnas. Considerando uma nova secção 10x12cm^2 e um comprimento efectivo de 2,60m temos:

$l_v = 1{,}5\times 2{,}60 = 3{,}90m$ comprimento de encurvadura recomendado por Alvarez. R *et al.,* (2000) para sistemas simplesmente apoiados devido à flexibilidade existente nas ligações.

$$\lambda = \frac{l_v}{i} = \frac{3{,}90}{0{,}028} = 135{,}1 \qquad \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{f_{,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{135{,}1}{\pi}\sqrt{\frac{24}{9{,}4\times 1000}} = 2{,}17$$

$$k_i = 0{,}5\left(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0{,}3) + {\lambda_{rel}}^2\right) = 0{,}5(1 + 0{,}10(2{,}17 - 0{,}3) + 2{,}17^2) = 2{,}95$$

$$k_c = \frac{1}{k_i + \sqrt{{k_i}^2 - {\lambda_{rel}}^2}} = \frac{1}{2{,}95 + \sqrt{2{,}95^2 - 2{,}17^2}} = 0{,}20$$

Simulado um sistema simplificado da cumeeira, apoiada nas asnas e escoras, determinou-se um esforço conservativo axial de compressão de 10kN nas escoras resultante da actuação simultânea das acções permanentes e sobrecarga consideradas na cobertura em 5.3.4.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} = \frac{833{,}33}{0{,}20 \times 15360} = 0{,}269 \qquad 0{,}269 < 1{,}0 \text{ verifica a segurança a encurvadura.}$$

Dimensionamento dos novos/reforço de elementos das madres

Como já referido, tanto a verificação como o dimensionamento das madres foram realizados com recurso a uma folha de cálculo existente nas ferramentas disponíveis no NCREP. Por uma questão de facilidade de execução do reforço das madres idealizou-se que o reforço iria ser executado com uma peça de secção idêntica a existente o que permitirá aumentar a resistência à flexão desviada e deformação, principais fenómenos de incumprimento dos estados limites. À semelhança do que acontece com o reforço dos elementos de asna, é também ideal o comportamento conjunto da madre existente mais o reforço de modo a serem verificados os Estados Limites Último e de Serviço, Figura 5.14.

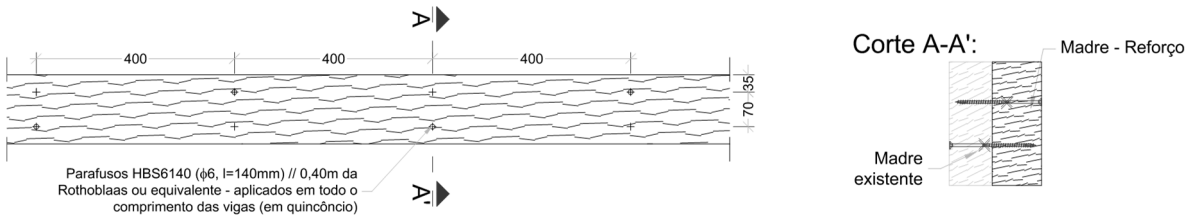


Figura 5.14 – Pormenor de fixação das madres de reforço as madres existentes.

Tabela 5.8 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU.

	Caracteristicas geométricas			Carregamento		Caracteristicas material	Flexão simples		Bambeamento	Corte	Compressão ⊥ fibras	Flexão desviada			
Elemento / Zona	b(m)	h(m)	Vão (m)	L influecia (m)	gk (kN/m)	Maciça		Rácio	Rácio	Rácio	Rácio	$\sigma_{m,y,d}$(Mpa)	$\sigma_{m,z,d}$(Mpa)	Rácio	Rácio
Madre - Cota superior	0,14	0,20	3,80	2,80	2,36	C24	0,58	OK	OK	OK	OK	7,44	6,13	0,79	0,76
Madre - Cota intermédia	0,14	0,20	3,80	2,30	1,96	C24	0,48	OK	OK	OK	OK	6,15	5,08	0,65	0,63

Tabela 5.9 - Rácios de serviço da solução de madres na cobertura para o ELS.

Elemento	Caracteristicas geométricas b(m)	h(m)	E.L.S. - Deformação ZZ (Ped,zz para Iy) $u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério u_{inst}≤l/300	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério u_{fin}≤l/250		E.L.S. - Deformação YY (Ped,yy para Iz) $u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério u_{inst}≤l/300	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério u_{fin}≤l/250	
Madre - Cota superior	0,14	0,20	7,63	12,67	OK	12,45	15,20	OK	8,80	12,67	OK	14,36	15,20	OK
Madre - Cota intermédia	0,14	0,20	6,32	12,67	OK	10,31	15,20	OK	7,29	12,67	OK	11,90	15,20	OK

Relembra-se novamente que deverá ser preconizado a ligação das madres às pernas com a finalidade de reduzir os pontos de inflexão das pernas. Essa ligação deverá ser realizada de acordo com o pormenor da Figura 5.15.

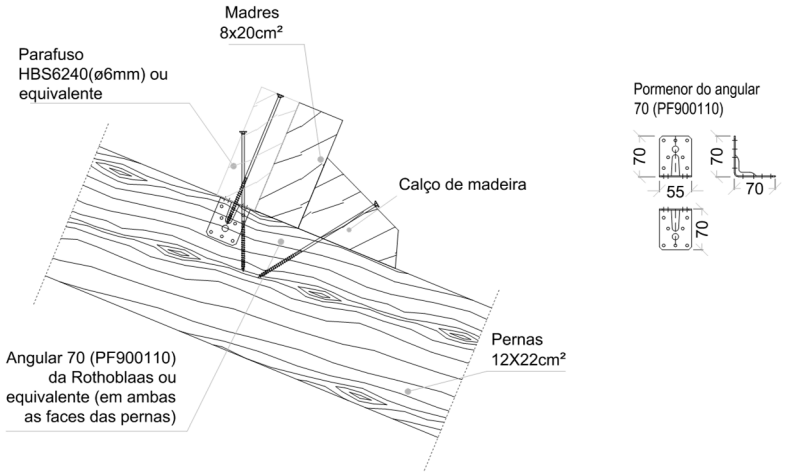


Figura 5.15 – Pormenor de fixação das madres as pernas das asnas.

Dimensionamento dos elementos metálicos de ligação entre elementos de asna

As ligações metálicas dimensionadas têm a funcionalidade de transmissão de forças entre membros. A sua implementação é necessária devido ao desvio e interrupção do fio em pontos de intersecção de elementos. Essa descontinuidade impede a transmissão de esforços, particularmente tracção e flexão, que é obtida, de forma parcial, com a interposição de ligadores.

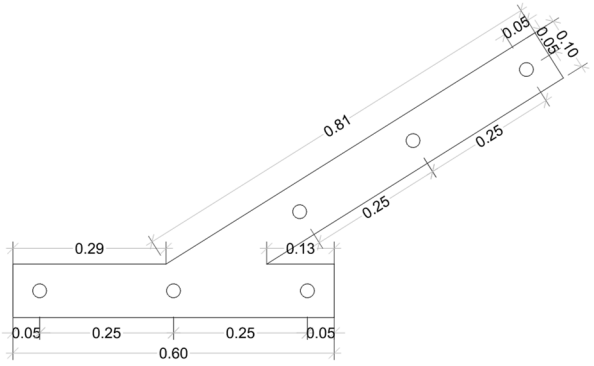
Para o tipo de ligação dimensionada para as asnas, a transmissão de forças é assegurada por pressão entre o ligador, a madeira e chapa e a sua resistência é geralmente condicionada pelo esmagamento da madeira na zona de contacto.

As verificações de segurança das ligações foram realizadas segundo as recomendações do Eurocódigo 5 (CEN, 2004) que se rege segundo o modelo da teoria de Johansen que estabelece as equações de

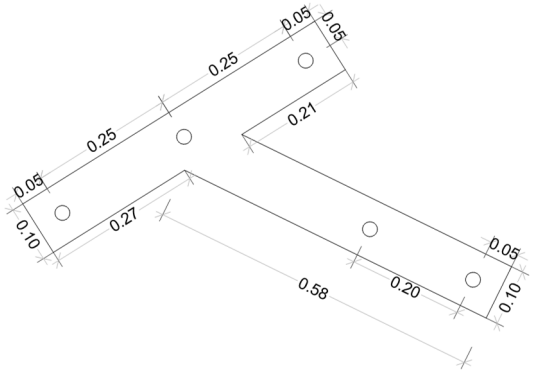
equilíbrio limite, traduzidas pela resistência ao esmagamento localizado da madeira e ao momento plástico do ligador segundo os diferentes modos de rotura (Negrão e Faria,2009).

No presente caso de estudo, todas as ligações correspondem a modos de rotura em corte duplo madeira-aço pelo que a análise recairá sobre os modos de rotura representados no Eurocódigo 5 de F a M que estabelece também uma relação entre diâmetro do furo dos parafusos e a espessura da chapa classificando-a de chapa fina ou espessa. Esta classificação procura contabilizar o comportamento do ligador na zona do furo, se é desenvolvido um momento de encastramento ou não (Negrão e Faria,2009).

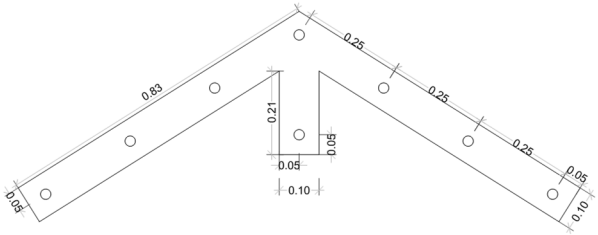
Na Figura 5.16 estão representadas as ligações idealizadas e serem dimensionadas neste capítulo. Considerou-se uma chapa de 6mm de espessura e parafusos M24 para verificação da segurança.



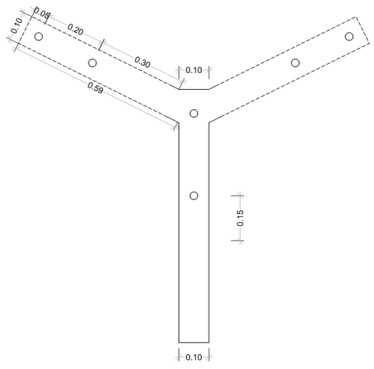
a) Ligação entre as linhas e pernas



b) Ligação entre as pernas e escoras



c) Ligação entre as pernas e pendural



d) Ligação entre as escoras, pendural e linha

Figura 5.16 – Pormenor das ligações entre elementos de madeira.

Posto isto, a relação entre a espessura da chapa(6mm) e o furo(26mm) a realizar classifica-a de chapa fina o que reduz o cálculo da resistência de um ligador aos modos de rotura de F a K, correspondente aos modos de rotura por esmagamento da madeira acompanhados ou não da formação de rotula plástica no ligador. O valor característico resistente final de um ligador ($F_{v,R,k}$) é dado pelo menor valor

resistente resultante dos limites calculados segundo os modos de rotura de Johansen. Esse valor traduz a resistência de um ligador por plano de corte. Nos modos de rotura com formação de rótula plástica (G e K) foi contabilizada a contribuição resistente por efeito de corda correspondente a 1/4 da resistência ao arranque de um parafuso, limitada a um valor máximo de 25% da parcela relativa à teoria de Johansen.

Para verificação de corte duplo constituindo a chapa o elemento exterior de uma ligação, corresponde aos modos de rotura J e K indicados no Eurocódigo 5 que corresponde ao esmagamento da madeira e da formação de rótula plástica, respectivamente. Para os modos de rotura em questão a resistência de um ligador por plano de corte($F_{v,R,k}$) é dada por:

$$F_{v,R,k} = 0{,}5 f_{h,2,k} t_2 d \qquad \text{Modo rotura J} \qquad (5.1)$$

onde:

$f_{h,2,k}$ – Valor característico da resistência ao esmagamento localizado da madeira;

t_2 – Espessura do elemento de madeira;

d – Diâmetro do ligador.

A resistência ao esmagamento localizado da madeira para ligadores de diâmetro inferior a 30mm pode ser determinado pela expressão:

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

$$f_{h,0,k} = 0{,}0082(1 - 0{,}01d)\rho_k \qquad (5.3)$$

$$F_{v,R,k} = 1{,}15\sqrt{2\, M_{y,Rk}\, f_{h,2,k}\, d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \qquad \text{Modo rotura K} \qquad (5.4)$$

onde:

$M_{y,Rk}$ – Valor característico do momento de cedência plástica do ligador;

$F_{ax,Rk}$ – Valor característico da resistência ao arranque do ligador;

Relembre-se que a parcela respeitante ao efeito de corda, segunda parcela da equação, está limitada a um máximo 25% da primeira parcela.

Os valores limites referidos acima podem ser determinados de acordo com:

$$M_{y,Rk} = 0{,}30\, f_{u,k}\, d^{2,6} \qquad (5.5)$$

$$F_{ax,Rk} = 3\, f_{c,90,k}\, \frac{\pi}{4} \left(d_{anilha}^2 - d^2\right) \qquad (5.6)$$

em que:

$f_{u,k}$ – Valor característico de resistência a tracção de um ligador;

O valor resistente característico final da acção conjunta de vários ligadores é dada pelo produto do número de ligadores pelo número de planos de corte e pela resistência de um ligador.

No dimensionamento que se apresenta nas tabelas seguintes, foi respeitada a disposição e as dimensões dos ligadores numa ligação, os seus afastamentos, e as distâncias mínimas dos ligadores aos bordos e às extremidades.

Tabela 5.10 – Verificação à segurança por corte duplo com chapa lateral.

Nome ligação	N_{sd} (kN)	d (mm)	Classe Resistente Parafusos	Classe Resistente Chapa	Tipo de madeira	t_2 (mm)	t_{chapa} (mm)	h_{chapa} (mm)	Modo j/l (N)	Modo k - Parcela Johansen (N)	Modo k - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Resistência de 1 ligador em corte duplo (N)	n parafusos por fiada	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	a_4 (mm)	n_{ef}	Fiadas	$F_{v,Rd\ ligação}$ (kN)	Resistência rotura por bloco (kN)	$N_{Rd\ 2\ chapas}$ (kN)	$F_{bRd\ 2\ chapas}$(kN)	RÁCIO RESISTÊNCIAS
Perna	74	24	8,8	S275	C24	100	6	100	26174	35896	42610	52349	3	250	96	80	72	2,54	1	82	124	282	248	0,90
Linha	64	24	8,8	S275	C24	100	6	100	26174	35896	42610	52349	3	250	96	80	72	2,54	1	82	124	282	248	0,78
Escora secundári	11	24	8,8	S275	C24	70	6	100	18322	35896	42610	36644	2	120	96	80	72	1,47	1	33	87	282	248	0,34
Prumo	4	24	8,8	S275	C24	100	6	100	26174	35896	42610	52349	2	120	96	80	72	1,47	1	47	124	282	248	0,08
Pendural	30	24	8,8	S275	C24	100	6	100	26174	35896	42610	52349	2	120	96	80	72	1,47	1	47	124	282	248	0,63
Escoras	33	24	8,8	S275	C24	70	6	100	18322	35896	42610	36644	2	200	96	80	72	1,67	1	38	87	282	248	0,88

Em anexo apresentam-se os desenhos e respectivos pormenores das chapas de ligação.

Como representado nos desenhos anexos, foi idealizado um reforço do apoio situado a Norte da asna A2. Relacionando as anomalias apresentadas pela asna A2, apenas no lado Norte, com os ensaios *Resistograph*®, apontam que a causa das anomalias visíveis seja o apoio, e como tal, o reforço é uma medida de conferir à asna capacidade suficiente de transmissão dos esforços à parede de alvenaria, enrijecendo uma zona mais degradada. O razoável estado de conservação da asna aliada ao razoável estado do apoio não justificaria a demolição e/ou substituição parcial dos elementos degradados ou mesmo da asna, pela dificuldade de execução. Assim, uma medida de reforço revela-se suficiente para mitigar a causa das anomalias e permite consequentemente a preservação integral da asna existente. Na Tabela 5.12 é possível observar as verificações de segurança do reforço apresentado na Figura 5.17.

Tabela 5.11 – Verificação à segurança do reforço dos apoios.

Nome ligação	N_{sd} (kN)	d (mm)	Classe Resistente Parafusos	Classe Resistente Chapa	Tipo de madeira	t_2 (mm)	t_{chapa} (mm)	h_{chapa} (mm)	Modo j/l (N)	Modo k - Parcela Johansen (N)	Modo k - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Resistência de 1 ligador em corte duplo (N)	n parafusos por fiada	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	a_4 (mm)	n_{ef}	Fiadas	$F_{v,Rd\ ligação}$ (kN)	Resistência rotura por bloco (kN)	$N_{Rd\ 2\ chapas}$ (kN)	$F_{bRd\ 2\ chapas}$(kN)	RÁCIO RESISTÊNCIAS
Linha	64	24	8,8	S275	C24	100	6	200	26174	35896	42610	52349	4	250	100	175	100	3,29	1	106	156	654	248	0,60
Perna	74	24	8,8	S275	C24	100	6	220	26174	35896	42610	52349	3	250	100	175	100	2,54	1	82	129	726	248	0,90

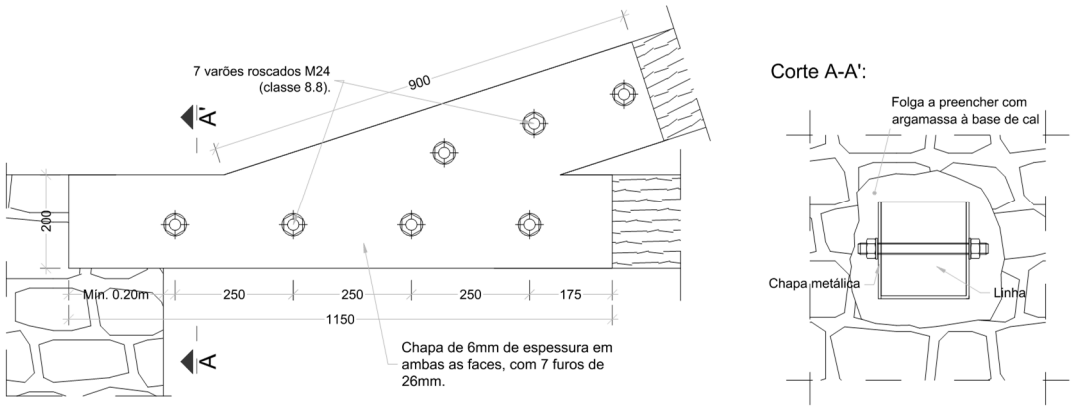


Figura 5.17 – Pormenor de reforço do apoio da asna A2.

Dimensionamento dos elementos de contraventamento das pernas

Segundo Alvarez. R *et al.,* (2000) o sistema adoptado confere à cobertura rigidez transversal, conferindo estabilidade às asnas aos movimentos horizontais, resistência à acção vento e transmissão de esforços as paredes, e constituição de pontos imobilizados das pernas com intuito de reduzir a encurvadura destes elementos. Alvarez defende ainda que os contraventamentos não devem estar afastados mais de 60m o que, avaliando a morfologia do armazém em planta, levou à implementação de contraventamentos junto às fachadas e outros dois vãos intermédios.

Como já referido anteriormente, no travamento das pernas das asnas, é necessário que os elementos de travamento apresentem rigidez e resistência adequada aos esforços instalados pela imobilização do ponto travado e que se pretende verificar neste subcapítulo.

A instabilidade de um elemento submetido a esforços de compressão e/ou flexão, quando detêm uma relação entre lados muito diferentes do valor unitário, as fibras comprimidas têm prepotência a instabilizar e deformar fora-do-plano. O travamento espaçado de determinados pontos origina a que a imobilização dos pontos gere esforços nos elementos de travamento que foram contabilizados segundo EC5 (CEN, 2004) e agora indicados.

Devido ao efeito de instabilidade por encurvadura temos:

$F_d = \frac{N_d}{k_{f,2}} = \frac{61{,}76}{50} = 1{,}24\ kN$ Correspondente a cerca de 2% do esforço axial instalado nas pernas.

$C = k_s \frac{N_d}{a} = 4 \times \frac{61{,}76}{2{,}57} = 96{,}12\ kN/m$ Rigidez necessária (Efeito de mola)

Por efeito de instabilidade por encurvadura lateral temos:

$\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78b^2}{hml} E_{0,05} = \frac{0{,}78 \times 0{,}10^2}{0{,}22 \times 0{,}88 \times 7{,}58} 7{,}1 \times 10^3 = 37{,}73\ MPa$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{37{,}73}} = 0{,}797$

$0{,}75 < \lambda_{rel,m} \leq 1{,}4\ ;\ k_{crit} = 1{,}56 - 0{,}75 \times 0{,}797 = 0{,}96$

Posto isto, o esforço axial actuante mais a contribuição da compressão devida à instabilidade lateral é dada por:

$N_d = N_0 + (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} = 61{,}76 + (1 - 0{,}96) \frac{9}{0{,}22} = 63{,}31\ kN$

$F_d = k_l \frac{aN_d}{k_{f,3} l} = 1 \times \frac{2{,}57 \times 63{,}32}{30 \times 7{,}58} = 0{,}72\ kN$

A força F_d a que cada elemento de travamento estará sujeito por cada perna é obtida pelo somatório da força aplicada devido a cada uma das instabilidades.

$F_d = 0{,}72 + 1{,}24 = 1{,}96\ kN$

Avaliando a posição dos contraventamentos, que se encontra representada em anexo, e contabilizando o número de asnas situadas na área de influência de cada um, encontrou-se a situação de maior esforço que corresponde a um esforço axial de cerca de 10kN por elemento de travamento. O sistema adoptado para os travamentos consiste na colocação de elementos cruzados em madeira lamelada colada (GL24h) ligados às pernas nos pontos imediatamente abaixo das madres e cumeeira com uma secção de 8x22cm^2. Na zona junto às fachadas de empena, o sistema encontra-se ligado às mesmas por intermédio de buchas químicas igualmente espaçadas a cada 0,50m (ver pormenores e plantas representativas da localização em planta e detalhes de fixação às pernas e zona de intersecção). A rigidez de mola foi determinada simulando o modelo de contraventamento num software de cálculo

numérico tridimensional, representado na Figura 5.18, tendo o sistema apresentado uma rigidez total de 17898 kN/m.

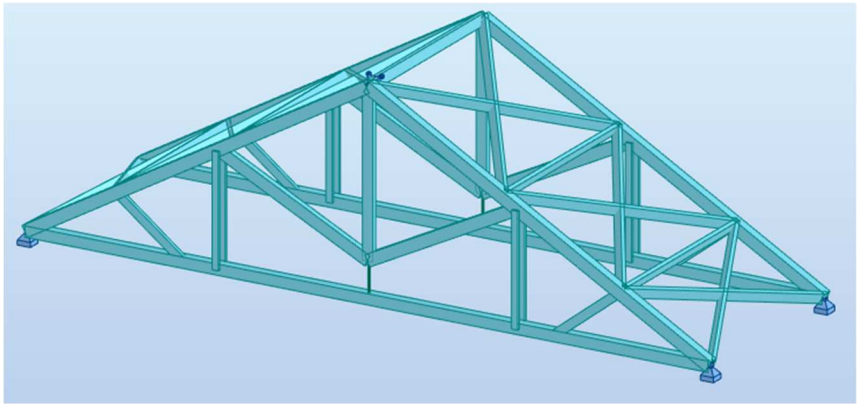


Figura 5.18 – Modelo tridimensional numérico do sistema de contraventamento.

A título exemplificativo, a Figura 5.19, é representativa do tipo de sistema de travamento pretendido e que resulta de um conjunto de elementos de madeira com rigidez e resistência suficiente para mitigar os efeitos de instabilidade das asnas assim como às forças transversais.



Figura 5.19 – Exemplo de aplicação de contraventamento. (NCREP, 2011)

5.4 ARMAZÉM 14

Neste capítulo pretende-se, à semelhança do que foi realizado para o armazém A1, caracterizar, apresentar e pormenorizar todos os pormenores associados ao armazém. O procedimento de inspecção e ensaios realizados foram executados de forma análoga ao armazém anterior.

A cobertura do armazém A2 apresenta uma área em planta aproximadamente rectangular de cerca 14x48m^2 e vertente de duas águas, Figura 5.20.

Construtivamente, a cobertura em estudo é composta por uma estrutura resistente em madeira, constituída por asnas dispostas paralelamente entre si, apoiadas em paredes de empena resistentes em alvenaria de pedra.



a) Vista geral do armazém b) Vista das asnas

Figura 5.20 – Armazém em estudo.

5.4.1 Caracterização dos elementos estruturais

A caracterização dos elementos estruturais da cobertura em estudo é complementada pelas peças desenhadas que se encontram em anexo a este documento e, que na Figura 5.21, pode ser observada a organização dos elementos em planta.

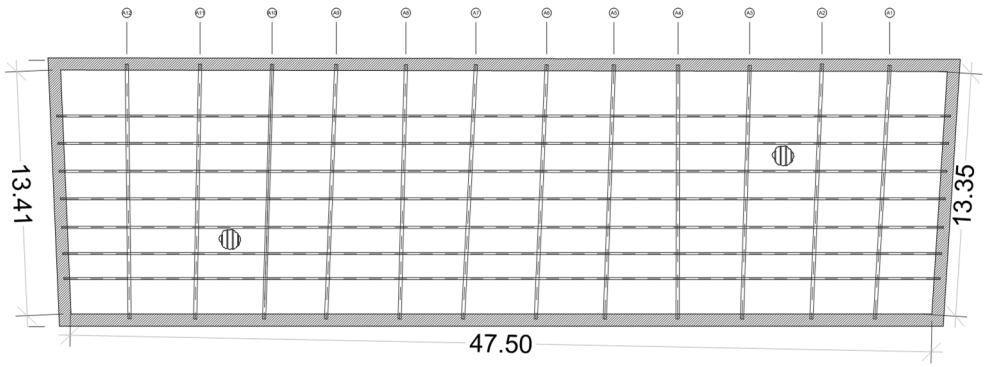


Figura 5.21 –Planta estrutural do armazém em estudo (sem escala).

A cobertura do armazém, com duas águas é uma estrutura típica em madeira, constituída por um conjunto de 12 asnas. Sobre estes elementos encontram-se uma camada de guarda-pó e as varas que apoiam sobre um frechal de madeira de secção rectangular.

As asnas, com espaçamento médio de 3,90m, vencem um vão livre de 13,16m e têm uma altura de cerca 4,20m, sendo simétricas e constituídas por pernas, pendural, escoras e linhas (principal, intermédia e elevada). As asnas são compostas por elementos estruturais de secção transversal circular, variando o diâmetro entre Ø12cm e Ø24cm, conforme apresentado na Figura 5.22. Em termos gerais, a cobertura é constituída por vigas em secção circular de madeira do tipo folhosa (presumivelmente Castanho, *Castanea Sativa* Mill).

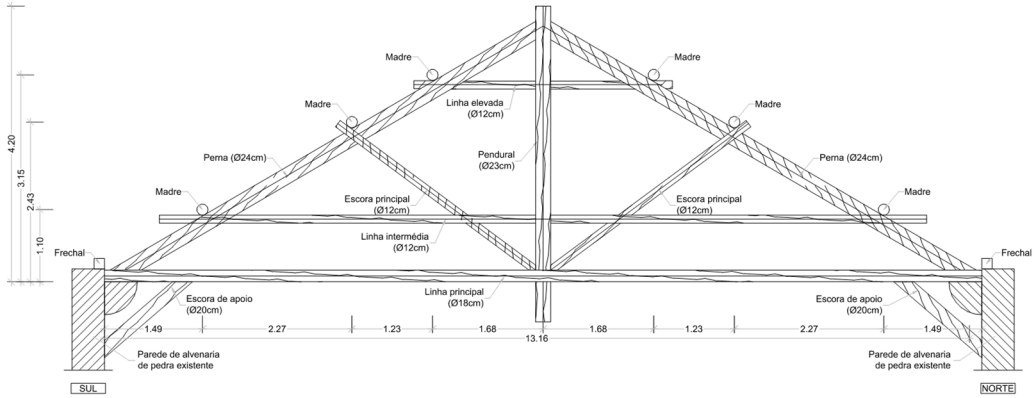


Figura 5.22 – Asnas existentes: Esquema estrutural da asna tipo (sem escala).

As madres e a cumeeira, com secção transversal circular, encontram-se apoiadas entre asnas. Salienta-se a existência de escoras inclinadas, entre asnas, ligadas ao pendural das asnas, com secção 7,5x15cm^2, que parecem ser mais recentes e que poderão ter sido colocadas com o intuito de suportar de forma intermédia as cumeeiras, Figura 5.23d. Do sistema estrutural da asna salientam-se as linhas existentes constituídas por dois elementos de madeira independentes entre si ligadas de forma deficiente, por um elemento metálico, como também se verifica na ligação dos restantes elementos, Figura 5.23a e Figura 5.23c. A transferência de carga das asnas para as paredes de alvenaria de pedra é realizada através de prumos existentes entre a linha e a parede e/ou através de cachorros onde se apoia a linha principal e a perna da asna sem se intersectarem, Figura 5.23b.



a) Pormenor da linha composta por duas peças empalmadas na zona de ligação



b) Pormenor da zona de apoio



c) Pormenor das ligações entre elementos



d) Escoras de suporte das cumeeiras

Figura 5.23 – Pormenores da asna em estudo.

5.4.2 Danos estruturais

5.4.2.1 Introdução

Efectuada a inspecção visual ao armazém A2 de forma a verificar a existência de danos, avaliar a sua intensidade e extensão, compreender qual o estado de conservação geral da estrutura existente e definir as necessidades de intervenção, concluiu-se que, à semelhança do que foi encontrado no armazém 12, foram identificados focos de humidade com alguma intensidade, quer em elementos estruturais e elementos secundários. Estas entradas de água são visíveis em todas as paredes, mas situam-se maioritariamente nas paredes de empena, situação que encontra alguma correspondência com a degradação identificada nos apoios das asnas.

As restantes observações acerca dos danos estruturais da cobertura do armazém 14 são estendidos a toda a cobertura, em que de uma forma geral e expedita é observável o empeno significativo dos vários elementos de madeira que constituem a cobertura. Este tem na sua causa factores naturais associados ao crescimento da peça e/ou perda de água e consequente secagem depois de cortada, Figura 5.24.



a) Linha intermédia com empeno no plano b) Empeno de madre

Figura 5.24 – Exemplos de elementos com empeno significativo.

Em determinadas zonas da cobertura observa-se que as varas apoiam directamente sobre calços de madeira colocados sobre as madres existentes (Figura 5.25). Este pormenor construtivo deve-se em parte aos empenos e deformações dos elementos de asnas. A localização em planta deste pormenor construtivo encontra-se assinalada na planta estrutural em anexo.



Figura 5.25 – Pormenor do calço (secção rectangular) devido ao empeno da madre existente (secção circular) e deformação global das asnas.

Foram registados outros danos em elementos estruturais de madeira decorrentes de deficiente concepção estrutural. É consequência disso a rotura dos elementos observada assim como a deformação vertical excessiva de elementos das asnas. Recorda-se o funcionamento das linhas como peças independentes aliadas a um mecanismo rotular incapaz de transmitir esforços flectores contribui significativamente para a deformação, Figura 5.26.



a) Ligação deficiente entre elementos



d) Deformação da linha.

Figura 5.26 – Exemplos vários de danos visíveis.

A presença de focos de humidade cria condições favoráveis ao aparecimento de agentes bióticos que causam a degradação das peças de madeira e a consequente perda de resistência mecânica e de secção transversal. Foram identificados ataques de agentes bióticos como caruncho, térmitas e fungos xilófagos, Figura 5.27. Os ataques de caruncho e de térmitas estão presentes nalgumas peças ao longo do seu comprimento, sendo que na zona dos apoios se verificou com maior intensidade o ataque por fungos de podridão e por térmitas, devido às entradas de água e à humidade presentes nestas zonas. Destaca-se a forte expressão dos ataques por térmitas que originou a degradação interna dos vários elementos de asna em que se encontraram vazios, fundamentalmente junto dos apoios, mas também em algumas escoras e pendurais. Esta extensão de ataque em elementos da mesma asna, demonstra a amplitude do ataque destes insectos sociais que migraram desde o apoio até à zona central da asna.



a)



b)



c) d)

Figura 5.27 – Exemplos de ataque de agentes bióticos em elementos estruturais, degradação do apoio a), caruncho b) e térmitas em c) e d).

5.4.3 Avaliação dos indicadores do estado de conservação

Por forma a complementar a informação recolhida através da inspecção visual foram realizados 84 ensaios não-destrutivos *in situ* com o *Resistograph®* de modo a obter indicações mais completas em relação ao estado de conservação dos elementos de madeira. A localização dos ensaios pode ser consultada na íntegra nas plantas anexas segundo a terminologia usada nos casos de estudo anteriores.

Os ensaios realizados com o *Resistograph®* nos elementos estruturais de madeira da cobertura em estudo confirmaram as impressões obtidas durante a inspecção visual, revelando o mau/razoável estado de conservação de cerca de 61% dos ensaios realizados, especialmente as zonas de apoios.

Comparativamente ao armazém anterior, o número de ensaios foi superior pois a principal causa para o razoável a mau estado de conservação devia-se a ataques de agentes sociais (térmitas).

5.4.4 Avaliação de segurança estrutural

A avaliação de segurança foi realizada com base nos elementos recolhidos das campanhas de inspecção realizadas. A verificação da segurança foi realizada igualmente para um sistema estrutural de asna tipo com secções e dimensões médias recolhidas de uma amostra composta por todas as asnas do armazém. Os ensaios e a inspecção visual realizados permitiram concluir que as madeiras encontradas nos elementos são do tipo folhosa e como tal, adoptou-se na análise dos elementos existentes uma classe resistente D30 (presumivelmente Castanho, *Castanea Sativa* Mill).

5.4.4.1 Quantificação de acções

Acções Permanentes (G_k)

No conjunto das acções permanentes incluem-se os pesos próprios dos elementos estruturais e não-estruturais, considerando as suas dimensões nominais, os pesos volúmicos dos materiais e as disposições previstas no capítulo 3.3.2.

Tabela 5.12 - Acções permanentes (G_k) consideradas.

Pesos Próprios (PP)

Peso específico do aço em elementos metálicos	77,00kN/m^3
Peso específico de madeira maciça folhosa (D30)	6,40kN/m^3

Restantes cargas permanentes (RCP)

Peso dos materiais de revestimento (telhas, ripas, lã-de-rocha, varas e guarda-pó) da cobertura	0,80kN/m^2

Acções Variáveis (Q_k)

Com localização e morfologia da cobertura idêntica ao armazém 12 as acções variáveis para verificação da segurança foram idênticas às do armazém anterior, com uma sobrecarga no valor de 0,4kN/m^2 e uma pressão do vento supondo que o armazém se encontra localizado na zona A com uma categoria do terreno do tipo III, segundo EC1 (CEN, 2009 e 2010a).

5.4.4.2 Avaliação de segurança das estruturas de madeira

A análise das estruturas de madeira da cobertura foi realizada através do cumprimento dos Estados Limites para os quais se verificou o comportamento à flexão simples, à flexão desviada, ao corte e à compressão perpendicular ao fio (na zona dos apoios dos elementos estruturais), além da consideração na análise dos fenómenos de instabilidade por encurvadura e por encurvadura lateral-torsional (bambeamento). Por último, foi verificada a deformação dos elementos de asnas, madres e cumeeira.

Valores de cálculo das propriedades dos materiais

As resistências de cálculo dependem assim das cargas que estão presentes em cada combinação e que se resumem na tabela seguinte para classe resistente D30 - madeira maciça, equivalente aos elementos de madeira existentes.

Tabela 5.13 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais (existentes).

Classe Resistente	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	0,60	13,85	8,31	10,62	3,69	1,38
	Média duração (Sobrecarga)	0,80	18,46	11,08	14,15	4,92	1,85
	Curta duração (Vento)	0,90	20,77	12,46	15,92	5,54	2,08

Asnas de cobertura - Estados limites de últimos (ELU) e de serviço (ELS)

Na Figura 5.28 apresenta-se a asna tipo modelada no software para verificação dos estados limites seguida da Tabela 5.14 onde se resume os rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes).

De forma resumida é verificado o seguinte:

A estrutura da asna tipo analisada, apresenta rácios inferiores à unidade evidenciando ser capaz de resistir aos esforços instalados, contudo as conclusões directas retiradas da análise do modelo seguem uma direcção oposta aquela que na realidade é visível no armazém. Apesar dos esforços realizados para aproximar o modelo da realidade, com atribuição de rótulas nos pontos de ligação entre os elementos, essa simulação ficou aquém do que é observável. Particularizando, a linha principal apresenta um rácio inferior a 1,0 (0.44 para ELU e 0.41 para ELS), quando na realidade se encontra muito deformada. Esta situação decorre da dificuldade em simular no modelo numérico a situação real, em que as várias peças (linhas empalmadas e pendural) se encontram ligadas entre si de forma muito deficiente. Nesse sentido, o resultado relativo às linhas principais deve ser analisado de forma cautelosa porque não representa de forma fidedigna a situação existente. Estas linhas deverão, por isso, ser intervencionadas.

Todos os restantes elementos apresentam rácios inferiores a 1 para ELU e ELS. Ainda assim, as peças apresentam um rácio relativamente alto (0.84).

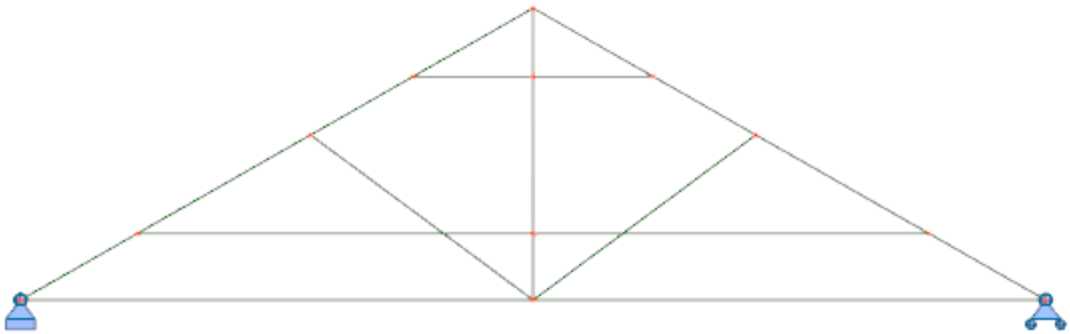


Figura 5.28 - Modelo numérico da asna de cobertura para verificação dos estados limites.

Tabela 5.14 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura mais solicitada para Estado Limite Último e de Serviço.

Elemento	Rácio ELU		Rácio ELS	
Linha principal	0.40	OK	0.41	OK
Linha intermédia	0.43	OK	0.42	OK
Escoras	0.56	OK	0.12	OK
Pendural	0.13	OK	0.04	OK
Pernas	0.84	OK	0.21	OK
Linha superior	0.19	OK	0.01	OK

Análise dos restantes elementos da cobertura

Foi igualmente realizada a verificação de segurança estrutural para as madres e cumeeiras que materializam a cobertura, para os Estados Limites Último (ELU) e os Estados Limites de Serviço (ELS). A Tabela 5.15 apresenta os rácios resultantes da avaliação ao Estado Limite Último (ELU), tendo em conta os esforços a que estão sujeitas: flexão simples, esforço transverso, compressão perpendicular ao fio e bambeamento. Como é possível observar, as madres existentes verificam a segurança para os Estados Limites Últimos.

Tabela 5.15 - Rácios de segurança (valores actuantes/valores resistentes) das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELU.

		Carregamento					Características e propriedades das vigas			E.L.U. Flexão (sem bamb.)			E.L.U. Corte		Compressão ⊥ as fibras	
NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO		Vão (m)	Revestimentos (kN/m2)	gk (kN/m2)	Sobrecarga (kN/m2)	psd. ELU (kN/m)	Maciça	h ou ø (mm)	Secção Transversal	$\sigma_{m,sd}$	M_{Rd} (kN m), G+ Q	Rácio (G+Q)	τ_{sd}	Rácio	$\sigma_{c,90,d}$	Rácio
A14	Cumeeira	2,96	0,8	1,60	0,3	2,97	D30	180	Circ.	5,7	11,63	0,28	0,34	0,19	0,24	0,05
	Madre superior	3,9	0,8	1,50	0,3	2,77	D30	180	Circ.	9,2	11,63	0,45	0,42	0,23	0,30	0,06
	Madre intermédia	3,9	0,8	1,82	0,3	3,38	D30	180	Circ.	11,2	11,63	0,55	0,52	0,28	0,37	0,07
	Madre inferior	3,9	0,8	1,90	0,3	3,54	D30	180	Circ.	11,8	11,63	0,58	0,54	0,29	0,38	0,08

A verificação ao estado limite de deformação, apresentada na Tabela 5.16 permitiu concluir que as madres não cumprem os limites regulamentares de estado limite de deformação. Note-se, no entanto, que a deformação calculada está próxima dos limites regulamentares. Tendo em consideração que não foi possível medir todas as madres, considerou-se no cálculo um valor conservativo de 18cm de

diâmetro para as secções transversais das madres. Se o diâmetro for superior, as deformações passam a cumprir os limites regulamentares. Além disso, a deformação observada no local de algumas madres deve-se à deformação vertical das asnas (provocando deformação no apoio das madres) e não da flecha a meio vão das madres.

Tabela 5.16 - Rácios de serviço das madres e cumeeiras existentes na cobertura para o ELS.

		Carregamento					Características e propriedades das vigas			E.L.S. - Deformação			
NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO		Vão (m)	Revestimentos (kN/m2)	gk (kN/m2)	Sobrecarga (kN/m2)	psd, ELU (kN/m)	Maciça	h ou ø (mm)	Secção Transversal	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério $u_{,inst£l/300}$	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério $u_{,fin£l/200}$
A14	Cumeeira	2.96	0.8	1.60	0.3	2.97	D30	180	Circ.	4.40	9.87	7.20	14.80
	Madre superior	3.8	0.8	1.50	0.3	2.77	D30	180	Circ.	10.92	12.67	17.90	19.00
	Madre intermédia	3.8	0.8	1.82	0.3	3.38	D30	180	Circ.	13.32	12.67	21.81	19.00
	Madre inferior	3.8	0.8	1.90	0.3	3.54	D30	180	Circ.	13.92	12.67	22.78	19.00

5.4.5 Sugestão de medidas de intervenção

5.4.5.1 Introdução

A análise efectuada permitiu avaliar o estado de conservação estrutural da cobertura, tendo sido identificados danos estruturais importantes, nomeadamente no interior das peças junto dos apoios nas paredes de alvenaria. A verificação de segurança da estrutura não deu indicações importantes em relação ao nível de intervenção estrutural que a cobertura requer. A necessidade de substituir, reabilitar e/ou reforçar os elementos estruturais foi essencialmente influenciada pelo estado conservação dos elementos. O presente capítulo servirá para sugerir, de forma sucinta, as medidas de intervenção que se julgam necessárias e posteriormente dimensionadas.

É importante realçar que o conjunto de operações destinados a garantir a manutenção dos elementos de cobertura existentes, resulta de um esforço para manter o registo histórico das actividades de engenharia e conceito arquitectónico inerentes às asnas existentes. Este esforço de preservação da ligação entre o existente e o pós-intervenção resulta, em detrimento das mais altas recomendações, numa intervenção algo intrusiva devida ao estado de conservação em que se encontra a cobertura. A máxima usada foi o princípio de que *"As qualidades únicas da construção e da sua envolvente, que*

resultam da sua forma original e de qualquer alteração posterior, não devem ser destruídas." (ICOMOS,2004)

5.4.5.2 Proposta de intervenção

A análise numérica efectuada aponta para um funcionamento global favorável do esquema estrutural existente, com excepção da linha principal. Contudo é complicada a simulação dos empenos e danos estruturais existentes que apontam para a necessidade de soluções de intervenção medianamente intrusivas.

No que respeita à intervenção na estrutura da cobertura, passará pelo reforço estrutural através de um conjunto de operações que se ilustram nas peças desenhadas e que aqui se descrevem resumidamente.

A intervenção que se crê necessária na estrutura de madeira da cobertura pretende dotar os elementos estruturais das características necessárias para cumprir as disposições regulamentares, não pretendendo corrigir as deformações e os empenos instalados resultantes da encurvadura dos elementos que constituem a cobertura. Essas deformações encontram-se instaladas há vários anos e obrigaram a estrutura a adaptar-se a novas posições de equilíbrio, por vezes pouco estáveis, que não poderão ser globalmente corrigidas sem que haja o risco de dano, ou mesmo rotura das peças existentes. Além disso, as imperfeições, como os empenos, são parte da história da estrutura e como tal devem ser mantidos. Não é justificativo a sua substituição desde que não comprometam as exigências de segurança.

Tendo em conta o exposto, as acções de reforço estrutural que se consideram mais importantes são as seguintes:

(i) Reabilitação e reforço das asnas da cobertura

Substituição dos elementos estruturais mais degradados das asnas por elementos que confiram a capacidade resistente necessária, ou seja, secção idêntica à existente. O sistema estrutural existente, deverá ser complementado com a introdução de escoras secundárias de madeira lamelada colada (GL24h) de secção 12x12cm^2 e pendurais secundários metálicos de secção ø20.

As asnas identificadas para substituição integral deverão ser substituídas pela solução e esquema estrutural idêntico em lamelada colada (GL24h) representado em anexo.

(ii) Melhoria da ligação entre elementos das asnas

De forma a limitar a deformação das linhas sugere-se o reforço da ligação das linhas na zona de empalme através da introdução de parafusos de rosca total a ligar os dois elementos e a introdução de pendurais metálicos ligados entre as linhas e as pernas. Complementarmente, todas as ligações entre os

restantes elementos deverão ser alvo de um reforço por aplicação de parafusos de rosca total. É particularmente importante a melhoria de ligação perna/linha principal junto aos apoios.

Na Figura 5.29, encontra-se representada a asna tipo após as medidas acima sugeridas. A negrito encontram-se os elementos a introduzir na asna existente (cor clara).

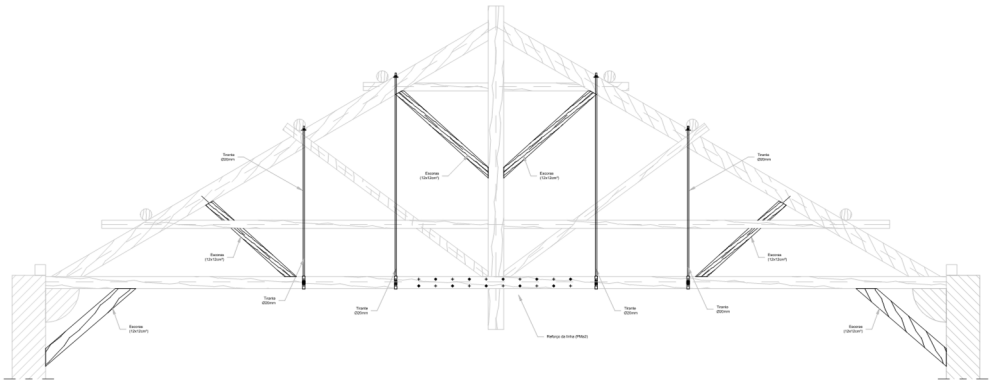


Figura 5.29 – Reforço da asna com introdução de escora, pendurais e reforço de ligações.

A ligação entre as madres e as pernas das asnas deverá também ser melhorada através de chapas metálicas furadas pré-fabricadas e de parafusos de rosca.

(iii) Reforço dos apoios das asnas nas paredes de alvenaria de pedra

Os apoios assinalados e em avançado estado de degradação, deverão ser reforçados com fixação de chapas metálicas por meio de parafusos que deverá ser estendida até uma zona sã do elemento a reforçar.

5.4.6 Projecto de execução e estabilidade

Segundo o modelo numérico de cálculo a estrutura existente é suficientemente capaz de resistir aos esforços a que se encontrava solicitada e, como tal, qualquer um dos elementos introduzidos, desde que tenham secção adequada, apenas iram reduzir efeitos de deformação assim como uma melhor distribuição das cargas entre os vários elementos da asna.

Como consequência natural dos desaprumos entre elementos nos planos transversal e longitudinal, principalmente entre as pernas e as linhas, a principal dificuldade para a decisão de solução aplicar para reforço dos apoios degradados e introdução de pendural foi a articulação entre os elementos a introduzir e a adaptação desses elementos aos desalinhos. Como solução final para os tirantes metálicos idealizou-se uma chapa metálica, pré-furada de 6mm, circunjacente à linha fixada com parafusos do tipo HBS. A chapa metálica tem na lateral uma aba que será ajustada a cada asna e que permite vencer o desnível entre a face lateral da linha e o centro geométrico da perna, Figura 5.30. A decisão adoptada

para reforço dos apoios degradados resultou numa ideia mais descomplicada com a introdução de calços de madeira para colmatar o espaço entre chapas metálicas.

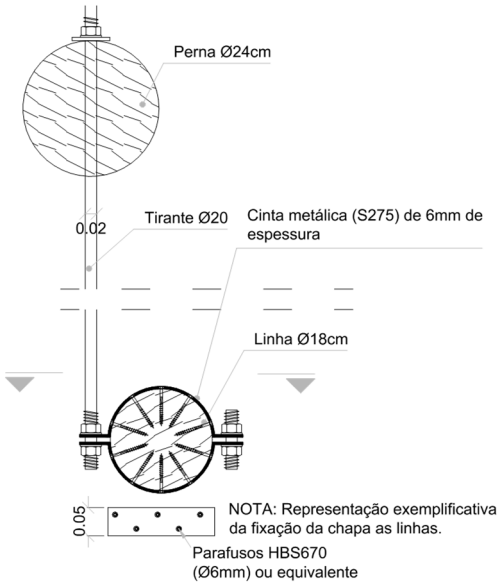


Figura 5.30 – Pormenor de execução da ligação dos pendurais metálicos entre pernas/linhas.

Dimensionamento da solução de reforço dos apoios das asnas

As conclusões retiradas da fase de inspecção e diagnóstico expõem a degradação material dos elementos de madeira, em especial a zona de apoios, aliada ao deficiente sistema de ligação entre elementos, como as principais causas das anomalias detectadas. Face aos problemas observados foi sugerido como medida de sugestão de intervenção uma acção de reforço de apoios degradados de asnas em estado de conservação razoável passiveis de serem mantidas mediante o conjunto de medidas sugeridas. O reforço dos apoios consistiu na inclusão de elementos de chapa metálica lateral ligados por parafusos de rosca. Esta medida procura conferir à zona de apoio uma secção rígida o suficiente que permita colmatar a descontinuidade de transferência de esforços das pernas e/ou linhas à parede de alvenaria de pedra devido à degradação material presente nessa zona. Para tal, é fulcral a ligação das chapas metálicas à zona sã dos elementos a reforçar. Na Figura 5.31 e Figura 5.32 estão representados o reforço de apoio degradados na perna ou linha, respectivamente, seguidas da tabela de verificação de segurança, recorrendo a uma ligação madeira-aço em corte duplo, tal como já apresentado.

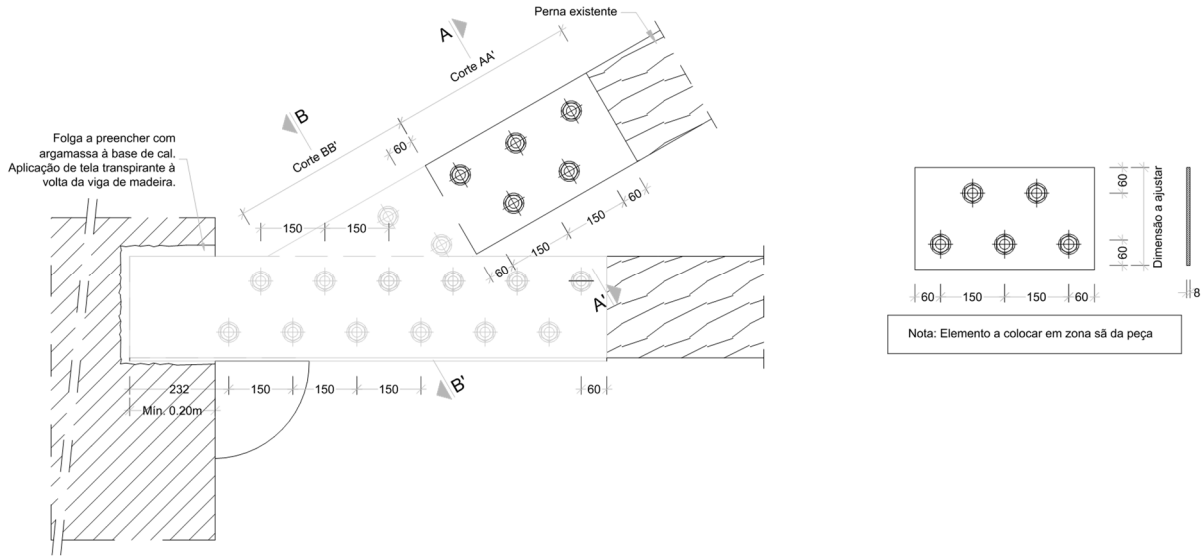


Figura 5.31 – Pormenor de reforço estrutural das pernas de madeira degradadas na zona dos apoios.

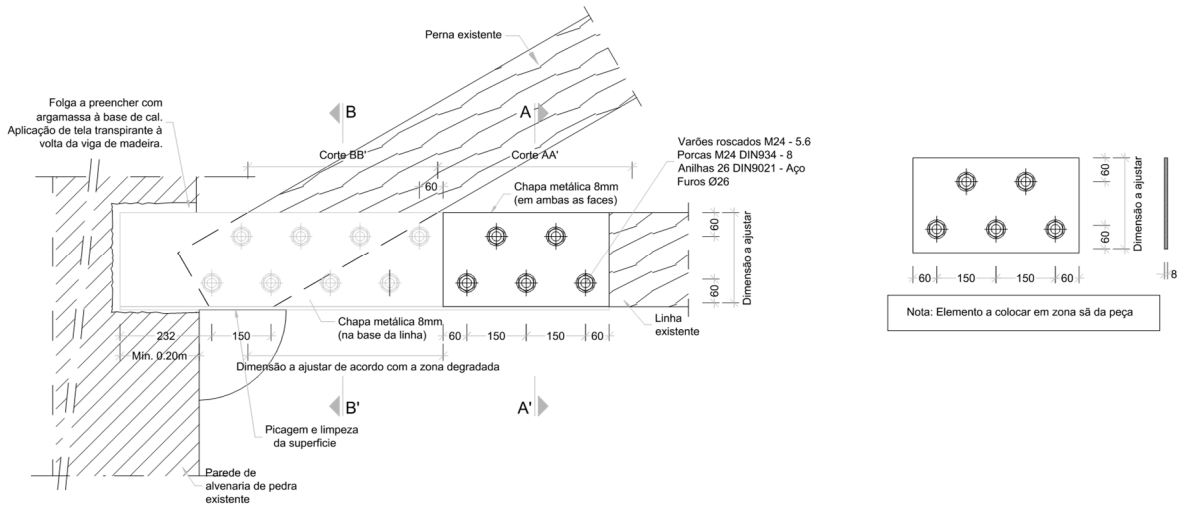


Figura 5.32 – Pormenor de reforço estrutural das linhas de madeira degradadas na zona dos apoios.

Tabela 5.17 – Verificação de segurança do reforço dos apoios.

Nome ligação	N_{Sd} (kN)	d (mm)	Classe Resistente Parafusos	Classe Resistente Chapa	Tipo de madeira	t_2 (mm)	t_{chapa} (mm)	h_{chapa} (mm)	Efeito Corda Modo k (N)	Modo j/l (N)	Modo k - Parcela Johansen (N)	Modo k - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Resistência de 1 ligador em corte duplo (N)	n parafusos por fiada	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	a_4 (mm)	n_{ef}	Fiadas	$F_{v,Rd}$ ligação (kN)	Resistência rotura por bloco (kN)	N_{Rd} 2 chapas (kN)	F_{bRd} 2 chapas(kN)	RÁCIO RESISTÊNCIAS
Perna	89	24	5,6	S275	D30	240	8	240	8730	95125	34921	43652	87303	2	150	120	60	60	1,55	2	167	383	951	330	0,53
Linha	76	24	5,6	S275	D30	180	8	180	8730	71344	34921	43652	87303	2	150	96	60	60	1,55	2	167	215	654	330	0,46

Dimensionamento das novas asnas a introduzir

A solução de asnas novas, a introduzir no local de asnas em mau estado de conservação a substituir, passa por uma solução com esquema estrutural semelhante ao sistema estrutural das asnas existentes. Os elementos a introduzir serão em madeira lamelada colada de classe resistente GL24h. Na tabela seguinte resumem-se as resistências de cálculo em função da duração das cargas aplicadas.

Tabela 5.18 - Resistências de cálculo dos elementos de madeira estruturais.

Classe Resistente	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)
GL24h	Permanentes	0,60	11,52	7,92	11,52	1,30	1,30
	Média duração (Sobrecarga)	0,80	15,36	10,56	15,36	1,73	1,73
	Curta duração (Vento)	0,90	17,28	11,88	17,28	1,94	1,94

O dimensionamento e verificação aos estados limites últimos e de utilização foi efectuado com recurso a um modelo numérico plano da asna tipo modelada como elementos de barra e nós e cargas e combinações de acções determinadas segundo o capítulo 3.3.2 e pressupostos do capítulo 5.4.3

Do dimensionamento realizado, resultaram as secções 12x24cm^2 para as pernas, linha principal e pendural, secção quadrada 12x12cm^2 para as escoras secundárias e prumos de ligação entre a linha principal e parede de alvenaria. A escora principal obteve-se uma secção final de 12x16cm^2 e secções duplas para as linhas intermédia e superior. Todos estes elementos estarão ligados por intermédio de chapas e parafusos metálicos. O alçado de asna em questão assim como os pormenores apresentados adiante, podem ser consultados com maior detalhe nos desenhos anexos a este documento.

Na Tabela 5.19 estão organizados os rácios de segurança para as secções finais estabelecidas seguidas do dimensionamento das ligações metálicas entre elementos de madeira. As ligações metálicas encontram-se caracterizadas nos desenhos anexos e foram dimensionados ao corte duplo para os modos de rotura correspondentes a chapa fina.

Tabela 5.19 - Rácios de segurança dos elementos de madeira das asnas da cobertura novas - Estado Limite Último e de Serviço.

Elemento	**Rácio ELU**		**Rácio ELS**	
Perna	0,41	**OK**	0,14	**OK**
Linha	0,27	**OK**	0,14	**OK**
Linha intermédia	0,29	**OK**	0,06	**OK**
Linha superior	0,13	**OK**	0,01	**OK**
Escora principal	0,12	**OK**	0,06	**OK**
Escoras secundária	0,07	**OK**	0,03	**OK**
Pendural	0,12	**OK**	0,01	**OK**

Tabela 5.20 – Verificação à segurança por corte duplo com chapa lateral.

Nome ligação	N_{sd} (kN)	d (mm)	Classe Resistente Parafusos	Classe Resistente Chapa	Tipo de madeira	t_2 (mm)	t_{chapa} (mm)	h_{chapa} (mm)	Modo j/l (N)	Modo k - Parcela Johansen (N)	Modo k - Parcela Johansen + Efeito corda (N)	Resisténcia de 1 ligador em corte duplo (N)	n parafusos por fiada	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	a_4 (mm)	n_{ef}	Fiadas	$F_{v,Rd\ ligação}$ (kN)	Resisténcia rotura por bloco (kN)	$N_{Rd\ 2\ chapas}$ (kN)	$F_{bRd\ 2\ chapas}$(kN)	RÁCIO RESISTÊNCIAS
Perna	89	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	3	200	96	80	72	2,41	1	105	182	208	248	0,85
Linha	77	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	3	200	96	80	72	2,41	1	105	182	208	248	0,73
Escora	19	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	1	200	96	80	72	0,89	1	39	182	208	248	0,50
Perna	38	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	2	200	96	80	72	1,67	1	73	182	208	248	0,52
Pendural	25	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	1	200	96	80	72	0,89	1	39	182	208	248	0,64
Linha intermédia	19	24	5,6	S275	GL24h	120	6	80	34102	29570	36820	68203	1	200	96	80	72	0,89	1	39	182	208	248	0,50

CAPÍTULO 6

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE CÁLCULO E OPTIMIZAÇÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Um dos propósitos da realização do estágio curricular foi a identificação e melhoria de um procedimento de cálculo, tratamento de dados, procedimento de inspecção ou um outro procedimento interno no qual identifica-se uma possibilidade de melhoria. Neste sentido, durante o estágio curricular, e em consequência dos trabalhos desenvolvidos nos casos de estudo apresentados anteriormente, foi elaborada uma macro para auxílio da elaboração dos anexos, relativos aos ensaios de *Resistograph®*, e ainda, concebida uma folha de cálculo para verificação aos estados limites de pavimentos existentes reforçados.

Recorrendo às potencialidades da programação em *Visual Basic for Applications* (VBA), pretende-se eliminar um dos processos de composição do anexo relativo aos ensaios com *Resistograph®*, dotando a aplicação *Microsoft Word* de uma ferramenta de introdução e organização dos ensaios, conservando a necessidade de análise e comentários técnicos por parte do utilizador relativos a cada um dos ensaios. Desta forma, o descorar na fase de edição do documento, permite aplicar essa atenção a outras fases de exigência técnica mais elevada.

Por outro lado, a realização da folha de cálculo para verificação aos estados limites, surge da inexistência de uma ferramenta de cálculo expedita que permitisse contabilizar os valores de cálculo resistentes de um pavimento em madeira reforçado.

6.2 PROCESSO DE ORGANIZAÇÃO DOS ENSAIOS *RESISTOGRAPH®*,

É a finalidade deste subcapítulo possibilitar uma melhor compreensão do modo de funcionamento da macro esclarecendo cada linha de comando que, no decorrer da apresentação serão acompanhadas por ilustrações.

Os processos necessários à realização da macro são mais claros quando se tem idealizado o objectivo final do desenvolvimento desta ferramenta programática, embora, a ordem dos mesmos seja irrelevante na fase inicial. Posto isto, tendo em conta a pré-existência na empresa de um *layout* totalmente funcional para a realização deste anexo não fazia sentido a alteração do mesmo, sendo assim o *layout* existente serviu de orientação para macro criada, Figura 6.1.

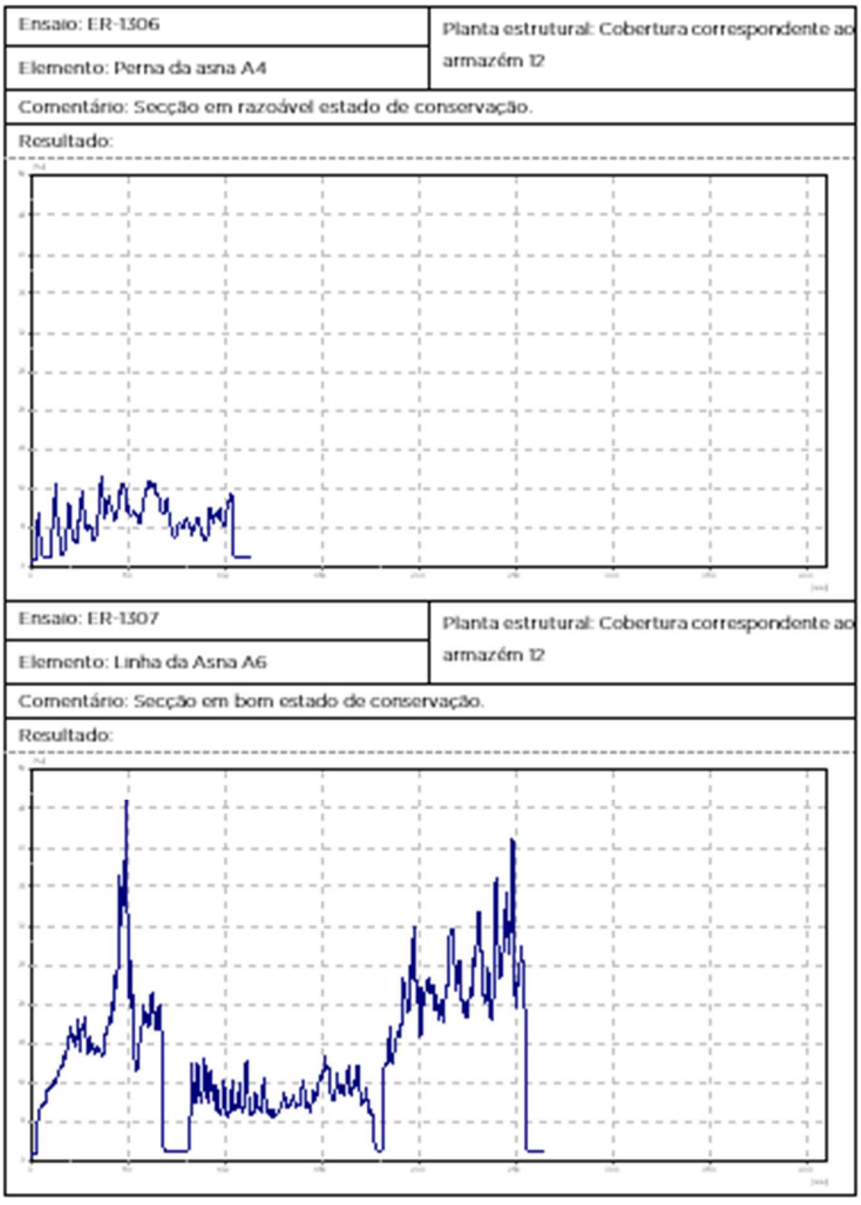


Figura 6.1– *Layout* tipo de apresentação dos ensaios *Resistograph®*.

Uma macro é uma série de comandos e instruções agrupados numa única ordem para desempenhar automaticamente uma tarefa. Ou seja, a macro executa os comandos como se do próprio utilizador se tratasse accionando apenas um botão. Assim, o utilizador só tem de idealizar de que maneira executaria a tabela acima apresentada e transpor esse procedimento para a linha de código do *Visual Basic*. Do *layout* existente, é conhecido que é possível introduzir apenas dois ensaios, e informação inerente, por página, assim como, a cada dois ensaios temos uma tabela com 10 linhas. Da tabela supra representada realça-se o campo referente á *"Planta Estrutural"* que como consequência do pouco extenso conhecimento de programação em VBA teve de ser adaptado e como tal será exibido numa linha única conforme os restantes campos.

Posto isto, os processos a executar serão:

- Selecção dos ensaios a introduzir;
- Introdução de uma tabela com 7 linhas para o primeiro ensaio;
- Formatação da tabela (Limites, altura das linhas, ajuste das linhas, Estilo do texto);
- Recolhe o nome dos ficheiros dos ensaios para usar como identificação no campo *"Ensaio"*;
- Adicionar mais tabelas consoante o número de ensaios a introduzir e formatar as mesmas;
- Inserir e editar os ensaios no respectivo campo;
- Identificar os campos *"Elemento", "Planta estrutural"," Comentário" e "Resultado"*;
- Separação de duas tabelas por uma página.

De seguida são explicados de forma sucinta e parcelar funcionamento do código VBA. Após o inicio do código e definição das variáveis temos:

A abertura da caixa de diálogo que permite seleccionar os gráficos dos ensaios *Resistograph®* a introduzir em formato de imagem (gif, jpeg, jpg, bmp, tif, png) (Ver Figura 6.2).

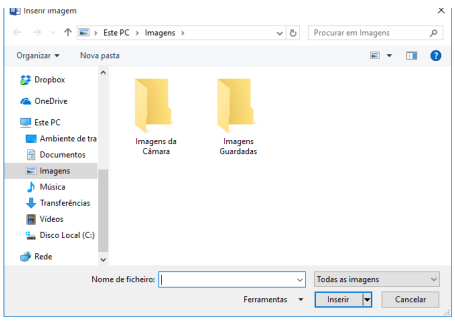


Figura 6.2 – Caixa de diálogo para inserir imagens

Posteriormente é definida uma primeira tabela tipo, com os limites, de 7 linhas por 1 coluna com 15,36cm de largura para receber o conteúdo da primeira imagem e respectiva formatação, Figura 6.3.

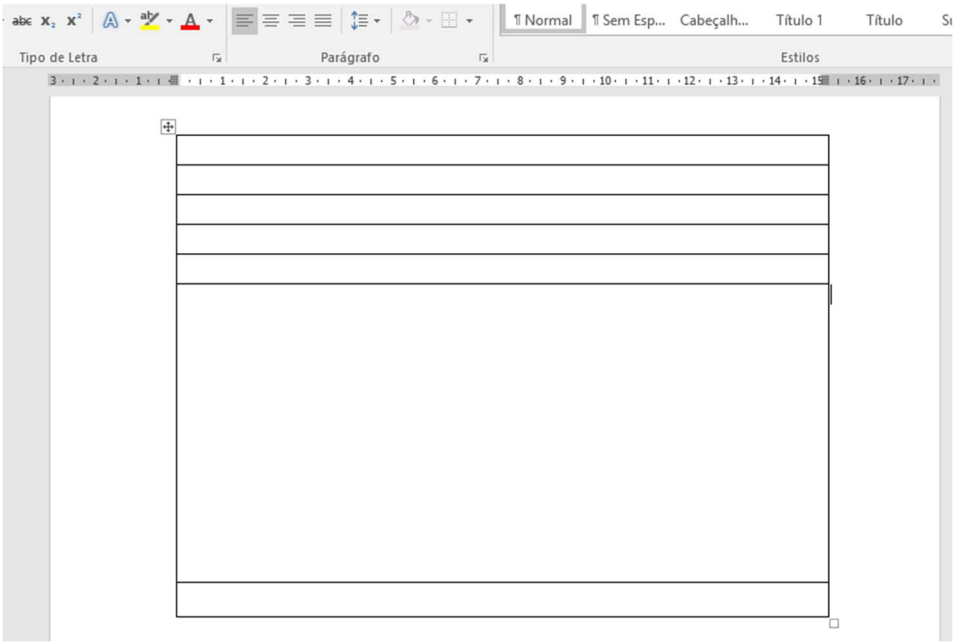


Figura 6.3 – Tabela de 7x1 com 15,36cm de largura adicionada.

Posteriormente a edição da tabela tipo, é iniciado um ciclo de 1 até ao número de ensaios a introduzir, verifica se existem linhas em falta e adiciona 7 linhas por cada imagem. Adicionadas todas as linhas necessárias, são colocados os gráficos dos ensaios *Resistograph®* e realiza a edição dos mesmos, removendo os limites do gráfico da imagem original, Figura 6.4.

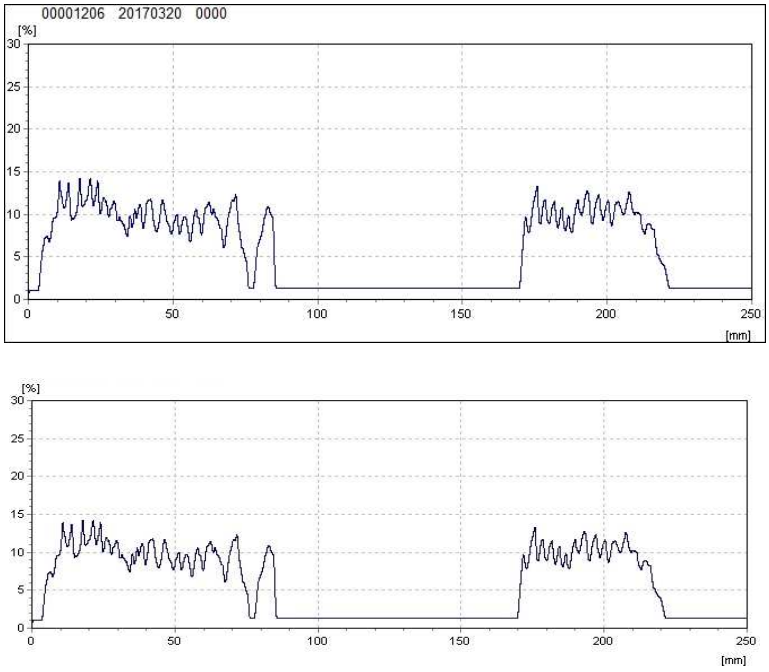


Figura 6.4 – Gráfico do ensaio *Resistograph®* antes e depois da edição.

O passo seguinte é a recolha do nome do ficheiro, que corresponde ao número do ensaio, cria uma legenda "Ensaio: ER" que é colocada na primeira linha da tabela a **Negrito** e com o espaçamento antes e depois igual a 3 pt, Figura 6.5. As restantes linhas são preenchidas com o *label "Planta estrutural:"*, *"Elemento:", "Comentário:", "Resultado:"*

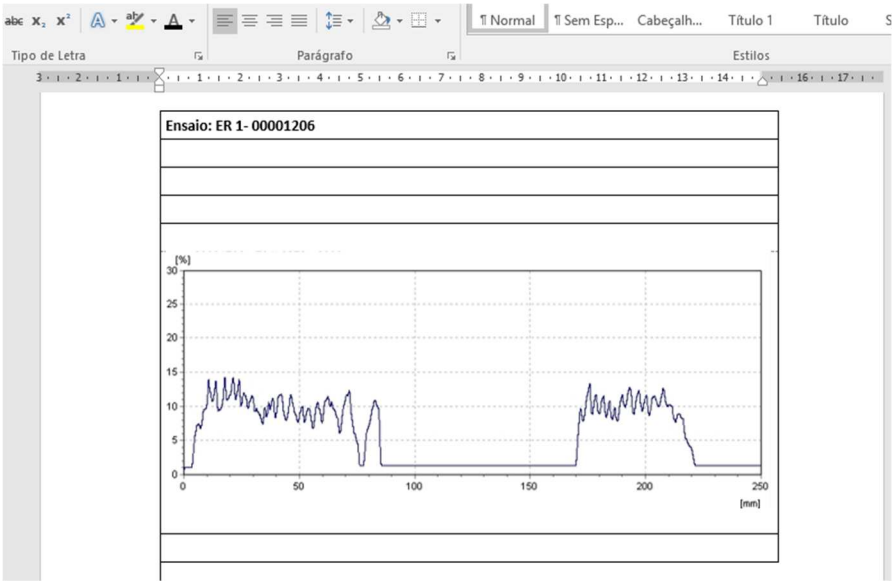


Figura 6.5 – Introdução da legenda do ensaio.

Até esta fase, os ensaios encontram-se agrupados numa só tabela, surgindo com uma apresentação desorganizada, e como tal, a última função consiste em organizar dois ensaios por página. Para tal, foi criado um ciclo invertido que introduzia uma quebra de página a cada dois ensaios. Na figura seguinte podemos observar o produto final para quatro ensaios *Resistograph®*.

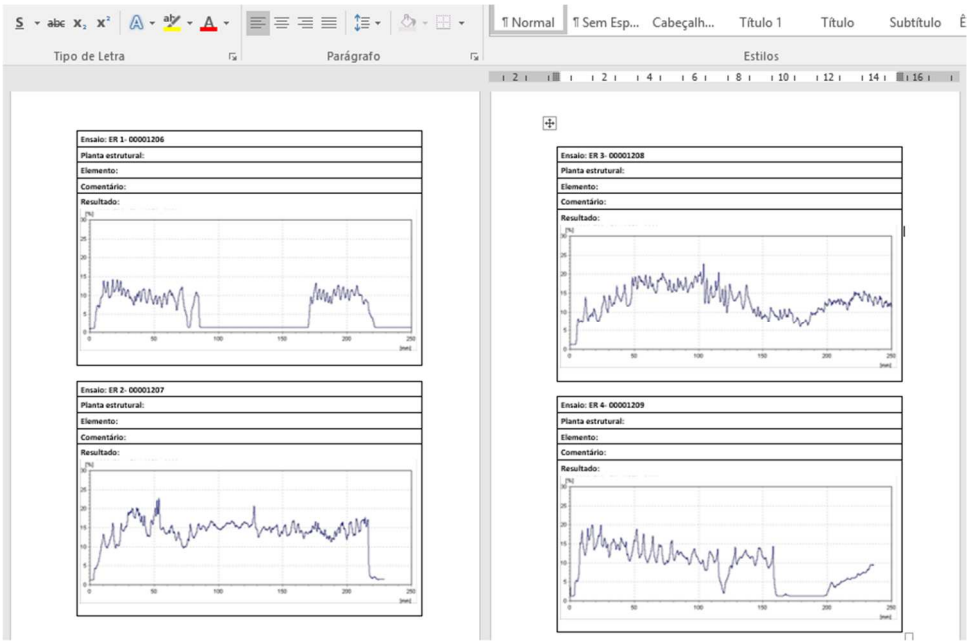


Figura 6.6 – Resultado final resultante dos processos executados pela macro.

6.3 FOLHA DE CÁLCULO PARA VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE PAVIMENTOS REFORÇADOS

Como já referido, é objectivo principal desta folha de cálculo permitir uma análise ágil de valores resistentes e rácios de segurança para pavimentos de madeira reforçados. A folha de cálculo surge ajustada a uma folha existente para verificação de pavimentos existentes, permitindo uma fácil adaptação da equipa do NCREP à mesma. A fidelidade dos resultados da folha existente encontrava-se num vazio aquando da introdução de um elemento de reforço de diferentes características geométricas ou mecânicas. O âmbito é então a adaptação da folha de cálculo a pavimentos existentes de madeira reforçados, lateralmente ou com peças intercaladas, com outros elementos de madeira de qualquer espécie, classe resistente ou secção desde que se respeitem alguns pressupostos que serão descritos.

As hipóteses de reforço aqui exploradas são limitadas aos reforços tipicamente mais aplicados, os reforços a meio vão, entre vigas existentes, com redução significativa das tensões instaladas nas vigas existentes e o reforço lateral das vigas existentes com aumento da secção transversal resistente. Cada um dos reforços apresenta particularidades relacionadas com a contabilização de capacidade resistente que são exploradas neste subcapítulo.

6.3.1 Fundamentação teórica

Analisando o reforço lateral ou aumento de secção lateral das vigas existentes, a folha de cálculo parte de um princípio básico da Resistência dos Materiais, imposto intencionalmente, e que consiste na homogeneização material em função do módulo de elasticidade (E) de todos os elementos de reforço na mesma classe de resistência das vigas de pavimento existentes. A primeira imposição permite a avaliação de segurança global do pavimento em relação às mesmas capacidades resistentes. Este pressuposto desde logo carrega uma margem de erro inerente ao facto de as características mecânicas da madeira existente serem diferentes das vigas de reforço, devido às condições de exposição de ambas e fluência ocorrida. Contudo, segundo *Alvarez* (*2000*), o módulo de elasticidade é a propriedade mecânica que menor variação tem por variação de 1% de teor de água o que já minimiza o desvio entre os valores de cálculo e o comportamento real.

A hipótese de homogeneização facilita significativamente a análise, sendo apenas necessário determinar características geométricas como o centro de gravidade e inércias do elemento agora composto. Porém é apenas aplicável segundo a hipótese de Navier-Bernoulli, ou seja, a elementos rígidos. Resumidamente, os segmentos inicialmente lineares e perpendiculares ao eixo da viga permanecem lineares e perpendiculares ao eixo flectido da viga. Assim sendo a veracidade da análise de pavimentos reforçados com aumento lateral de secção das vigas de pavimento fica dependente da rigidez da ligação entre as vigas.

Considerando uma peça existente de secção quadrada com comprimento de 24cm e de classe resistente C18 (E=9 GPa), reforçada lateralmente com uma peça secção transversal idêntica mas classe de resistência equivalente a GL24h (E=11,6 GPa), temos um coeficiente de homogeneização igual a m=E1/E2=1,29. Ou seja, para efeitos de cálculo e verificação à segurança de um pavimento, a folha assumirá uma peça existente de secção transversal 24x24cm^2 e uma peça de reforço de (24x1,29)x24cm^2 ambas de classe resistente C18, ou seja, uma secção transversal final de 55x24cm^2, Figura 6.7.

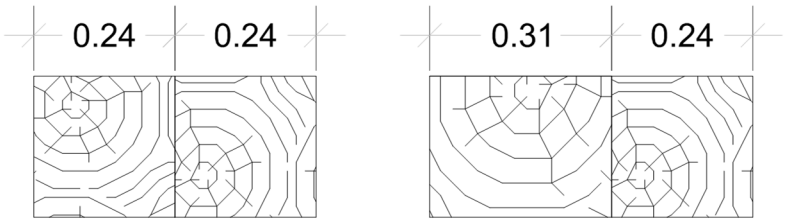


Figura 6.7 – Exemplos de elementos com empeno significativo.

A partir da seção composta assumida são determinadas características inerentes à geometria de massa da peça em relação aos eixos principais (centro de gravidade, Inércia a flexão, momento elástico) a partir das quais se realizam as principais verificações de segurança (flexão, corte, compressão perpendicular às fibras, deformação e vibração).

6.3.1.1 Verificação aos estados-limite últimos de resistência

A verificação à instabilidade lateral torsional é verificada para pavimentos através da determinação do momento flector critico dado por:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi\sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y} \tag{6.1}$$

onde:

$E_{0,05}$ - módulo de elasticidade paralelo ao fio pertencente ao quantilho dos 5%;

I_z – Momento de inércia em relação ao eixo de menor inércia;

$G_{0,05}$ – Módulo de distorção paralelo ao fio correspondente ao quantilho dos 5%;

I_{tor} – Momento de inércia torsional;

W_y – módulo de flexão em relação ao eixo de maior inércia;

l_{ef} – Comprimento de encurvadura.

Contudo, na expressão geral surgiu a dificuldade de determinar o momento de inércia torsional (I_{tor}) de uma peça composta quando no pavimento a verificar se encontrem vigas de secção circular ou, as vigas

têm secção rectangular, mas alturas distintas. Para pavimentos com vigas circulares a inércia em relação ao eixo fraco, é igual ao do eixo oposto o que leva a um aumento do momento crítico diminuindo o risco de instabilizar. Além disso, a generalidade dos pavimentos apresenta tarugos, ou um sistema de vigas secundárias, que reduzem o comprimento de encurvadura e como tal optou-se por assumir que a folha de cálculo não verificaria a segurança a instabilidade ao bambeamento, ficando a ressalva que esta interrupção deverá ser sempre apurada através de outros meios complementares.

A verificação ao corte, apresenta também ela uma singularidade para vigas de pavimento reforçadas lateralmente, ou seja, compostas. Essa particularidade reside essencialmente na verificação ao corte sugerida pelo EC5 (CEN, 2004) em que a determinação da tensão de corte actuante é repartida em duas expressões para peças circulares ou rectangulares:

$$\tau_{sd} = \frac{3}{2}\frac{V_{sd}}{A} \qquad \text{Peças rectangulares}$$

$$\tau_{sd} = \frac{4}{3}\frac{V_{sd}}{A} \qquad \text{Peças circulares}$$

Na presença de um pavimento existente composto por vigas de secção circular e reforçado com vigas rectangulares ou até mesmo circulares, não é possível aplicação directa destas expressões o que exigiria que se recorresse às expressões primordiais a partir das quais o seu desenvolvimento originou as expressões acima apresentadas. Como é objectivo desta folha uma análise rápida e simplificada dos pavimentos, optou-se por adoptar uma distribuição de cargas pelas duas vigas, que constituem uma viga composta (existente mais reforço), e posteriormente examinar individualmente cada uma delas. A distribuição de cargas pelas vigas foi realizada em função da rigidez de flexão (inércia) de cada elemento, tendo em conta que a transferência das cargas não é repartida da mesma forma por elementos de diferentes secções. Ou seja, um esforço de corte actuante de 10kN não é repartido de forma igual pelas vigas, 5kN + 5kN, mas sim em partes diferentes ditada pela relação de inércias, 7kN+3kN por exemplo. Posteriormente, a verificação ao corte é analisada individualmente e são apresentados os valores resistentes e rácios de segurança referentes à viga mais solicitada.

Na compressão perpendicular ao fio, o esmagamento do apoio é verificado como se de um pavimento novo se tratasse. Esta verificação está essencialmente dependente das características geométricas da viga que fora resolvido aquando da homogeneização das duas vigas numa peça composta.

A verificação aos estados limites últimos é uma das metas da realização da folha de cálculo, auxiliando a análise de estados limites de deformação e vibração após a introdução dos elementos de reforço.

6.3.1.2 Verificação aos estados-limite de serviço

Como já referido em 3.3.2.3 a deformação final dos elementos de madeira deve-se à deformação instantânea devido a aplicação das cargas agravada com o factor de fluência (k_{def}). Para o cálculo da

deformação instantânea recorre-se à utilização do valor médio do módulo de elasticidade e aos habituais conceitos da Resistência dos Materiais.

Segundo Alvarez *et al*. (2000), na madeira a influência da deformação devido ao esforço de corte comparada com a deformação devida a flexão, é maior quando comparada com outros materiais e em alguns casos não deverá ser desprezada. Isto deve-se à alta razão entre o do módulo de elasticidade transversal (G) e o módulo de elasticidade longitudinal (E), E/G=16. Esta relação é da ordem de 2,6 para o aço e 2,5 para o betão.

Assim, para uma viga simplesmente apoiada de secção rectangular, sujeita a uma carga uniformemente distribuída, a flecha a meio vão, considerando também a deformação por efeito de corte, é dada pela seguinte expressão:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EI} \left[1 + \frac{24}{25} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] \tag{6.2}$$

onde:

q — Carga actuante;

l — Vão efectivo;

E — Módulo de elasticidade longitudinal;

I — Momento de inércia;

G — Módulo de elasticidade transversal;

h — Altura da secção.

A verificação da deformação depende essencialmente de parâmetros geométricos, mecânicos e inerentes ao material, que já foram resolvidos recorrendo à homogeneização do material e determinação dos parâmetros da geometria de massa, entre eles a inércia a flexão. A particularidade desta verificação é referente à parcela de deformação devida por efeito de corte, em que h é a altura da secção. Perante uma secção composta por duas peças que poderão ter alturas distintas a deformação por corte para uma e outra viga é desigual. Posto isto assumiu-se uma altura equivalente a $2 \times y_g$, sendo y_g o centro de massa da secção composta, ou seja, uma altura homogeneizada.

A vibração dos pavimentos deverá ser verificada para assegurar adequadas condições de conforto e segurança. As verificações segundo EC5 têm como objectivo principal limitar as vibrações originadas por actividade humana em pavimentos, que geram desconforto e uma sensação de insegurança, e são expressas fundamentalmente para pavimentos com frequências superiores a 8Hz. A frequência fundamental de um pavimento em madeira simplesmente apoiado com carga uniformemente distribuída poderá ser estimada pela seguinte expressão:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \tag{6.3}$$

onde:

l — vão do pavimento;

m — massa por unidade de área, em kg/m^2;

$(EI)_L$ — Rigidez equivalente de flexão do pavimento segundo um eixo perpendicular à direcção das vigas.

Para pavimentos com frequência fundamental superior a 8Hz são especificadas duas verificações, apresentadas nas Eq. 6.4 e 6.10. A primeira relacionada com as vibrações de baixa frequência representada pela deformação central do pavimento provocado por uma força estática unitária. O segundo estado limite está relacionado com a velocidade de resposta do pavimento de madeira a um impulso também ele unitário.

1º Estado limite:

$$\frac{u}{F} \leq a \tag{6.4}$$

em que:

u — flecha vertical máxima instantânea causada por uma força vertical estática concentrada F aplicada em qualquer ponto do pavimento, tendo em conta a distribuição das cargas;

$$\begin{aligned} a &\leq 1{,}8\ (mm) && \text{,para } l \leq 4{,}0m \\ a &\leq \frac{16500}{l^{1{,}1}}(mm) && \text{,para } l \geq 4{,}0m \end{aligned} \tag{6.5}$$

A deformação da zona central do pavimento pode ser encontrada a partir da seguinte equação:

$$a = \frac{1000 k_{dist} l_{eq}^3 k_{amp}}{48(EI)_{viga}} \tag{6.6}$$

Relembra-se que a viga em estudo se trata de uma viga composta e como tal o valor respectivo à rigidez da viga(EI) é a obtida pelo produto da inércia da viga composta pelo módulo de elasticidade do material homogeneizado base.

$$k_{dist} = máx\left\{0{,}38 - 0{,}08 ln\left[\frac{14(EI)_b}{s^4}\right]; 0{,}30\right\} \tag{6.7}$$

em que:

$(EI)_b$ — É encontrado a partir da rigidez de flexão do soalho segundo um eixo de flexão paralelo à orientação das vigas principais;

s — Espaçamento médio entre as vigas principais;

$(EI)_{viga}$ — é a rigidez de flexão da viga de pavimento;

l_{eq} — vão equivalente das vigas determinado por:

$$l_{eq} = \begin{cases} l\ para\ vigas\ simplesmente\ apoiadas \\ 0{,}9l\ para\ vãos\ extremos\ de\ vigas\ contínuas \\ 0{,}85l\ para\ vãos\ intermédios\ de\ vigas\ contínuas \end{cases} \quad (6.8)$$

k_{amp} — é um factor de amplificação que tem em conta as deformações por corte das vigas:

$$k_{amp} = \begin{cases} 1{,}05\ para\ vigas\ simplesmente\ apoiadas \\ 1{,}10\ para\ vigas\ contínuas \end{cases} \quad (6.9)$$

<u>2º Estado limite</u>

$$v \leq b^{(f_1 \xi - 1)} \quad (6.10)$$

$$b = \begin{cases} 180 - 60a, com\ a \leq 1mm \\ 180 - 40a, com\ a > 1mm \end{cases} \quad (6.11)$$

em que:

f_1 — primeira frequência natural de vibração do pavimento (Hz);

ξ — Coeficiente de amortecimento modal;

v — resposta em velocidade a um impulso unitário, ou seja, o valor inicial máximo da velocidade de vibração vertical do pavimento causada por um impulso unitário.

$$v = \frac{4(0{,}4 + 0{,}6n_{40})}{mbl + 200} \quad (6.12)$$

em que:

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

m — Massa do pavimento;

b — Largura do pavimento;

l — Vão do pavimento.

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_B} \right\}^{0,25} \quad (6.13)$$

Encontra-se deste modo apresentado o funcionamento da folha de cálculo para verificação de pavimentos reforçados com aumento de secção lateral das vigas de pavimento, ou seja, com reforço lateral das vigas existentes.

Para o reforço de pavimentos com redução do vão existente entre vigas de pavimento, a única alteração introduzida é a distribuição de cargas que, de forma simplista, foi assumida que será metade das cargas instaladas se a redução do vão for igual a ½ do vão inicial. Posto isto, a verificação do novo pavimento reforçado para os Estados Limites Último traduz-se na análise individual das vigas de pavimento existentes e de reforço. Os estados limites de deformação foi determinado analisando individualmente as vigas e associada a deformação máxima do pavimento à deformação máxima entre a viga existente e a de reforço. Esta análise é um quanto tanto conservativa tendo em conta que a distribuição de cargas devido à variação de rigidez, entre as vigas existentes e de reforço, não é contabilizada na análise e como tal a deformação será sempre menor do que a determinada na folha.

O estado limite de vibração necessitou de uma análise mais cuidada em especial para a verificação do estado limite para frequências baixas de vibração. A expressão 6.7, traduz a proporção de carga suportada por uma viga apenas em função da rigidez do soalho e espaçamento entre vigas. Neste caso particular, o espaçamento, s, é dado pelo espaçamento entre vigas existentes e vigas de reforço. Na determinação da flecha da zona central do pavimento eq.6.6, a rigidez contabiliza a rigidez das duas vigas.

6.3.2 Validação da folha desenvolvida

No final do trabalho desenvolvido, foi realizada uma apreciação dos resultados e validação da folha de cálculo para que, confirmado o correcto funcionamento da mesma, possa ser empregue no processo frequente de verificação de segurança de pavimentos reforçados.

Para tal definiu-se um pavimento materializado por vigas rectangulares de madeira de classe de resistência C18 com secção transversal de 12,5x20cm^2. Na tabela seguinte encontram-se resumidos os restantes parâmetros considerados para validação da folha de cálculo.

Soalho (m)	0,03	p_{ed} (kN/m) – Estado Limite Serviço (G)	0,74
Vão (m)	8,12	p_{ed} (kN/m) – Estado Limite Serviço (Q)	1,25
Largura de pavimento (m)	5	Classe de serviço	2
Espaçamento de vigas (m)	0,50	Duração da acção	Média
Revestimentos (kN/m^2)	1	k_{sys}	1,1
g_k (kN/m^2)	1,48	K_h	1,0

Sobrecarga (kN/m^2)	2,5	ψ_2	0,60
p_{ed} (kN/m) – Estado Limite Último	2,88		

Pretende-se agora, para o pavimento existente e acima descrito, o reforço das vigas de pavimento com vigas de secção e classe de resistência idêntica. A resistência final do pavimento é equivalente a um pavimento com vigas de secção 20x20cm^2. Nas tabelas que se seguem são apresentados os valores de cálculo das acções actuantes para os estados limites, valores resistentes e respectivos rácios de segurança.

Tabela 6.1 – Características do pavimento existente com secção 25x20cm^2.

Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Revestimentos (kN/m2)	gk (kN/m2)	Sobrecarga (kN/m2)	psi2	psd, ELU (kN/m)	psd, ELS, G (kN/m)	psd, ELS, Q (kN/m)	Massa serviço (kg)	Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	k_{sys}	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	k_h
0,03	8,12	0,5	1	1,48	2,5	0,6	2,88	0,74	1,25	304	Maciça	C18	2	Média	1,1	250	200	Rect.	1,00

A Tabela 6.2 resume as características do pavimento existente na 1ª linha seguida da combinação do pavimento existente com as vigas de reforço. É a segunda linha que se pretende validar em comparação com a Tabela 6.1. Inicialmente podemos validar a determinação da acção actuante para os estados limites e massa do pavimento.

Tabela 6.2 – Características do pavimento existente com reforço.

Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Revestimentos (kN/m2)	gk (kN/m2)	Sobrecarga (kN/m2)	psi2	psd, ELU (kN/m)	psd, ELS, G (kN/m)	psd, ELS, Q (kN/m)	Massa serviço (kg)	Tipo de madeira	Maciça	Classe de serviço	Duração da acção	k_{sys}	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	k_h
0,03	8,12	0,5	1	1,30	2,5	0,6	2,75	0,65	1,25	285	Maciça	C18	2	Média	1,1	125	200	Rect.	1,00
Reforço de secçã		0,50	1,00	1,48	2,50	0,60	2,88	0,74	1,25	304	Maciça	C18	2	Média	1,1	125	200	Rect.	1,00

Na Tabela 6.3 encontram-se os pavimentos com vigas de secção 20x20cm^2 e na linha seguinte o pavimento existente com reforço de vigas iguais às existentes 10x20cm^2. Como podemos observar os valores de momentos flectores actuantes e resistentes são idênticos.

Tabela 6.3 – Verificação do Estado Limite Último de Flexão.

			Características e propriedades das vigas				E.L.U. Flexão (sem bamb.)						
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	M_{sd} (kN m), G + Q	$\sigma_{m,sd}$	M_{Rd} (kN m), G + Q	*Rácio (G+Q)*	M_{sd} (kN m), G	M_{Rd} (kN m), G	*Rácio (G)*
0,03	8,12	0,5	C18	250	200	Rect.	23,7	14,2	20,31	1,17	8,3	15	0,08
Reforço de secção		0,50	C18	125	200	Rect.	23,7	14,2	20,31	1,17	8,3	15	0,08

A comparação realizada até aqui foi a mesma realizada para as restantes verificações, apresentando-se nas Tabela 6.4 à Tabela 6.6 as restantes verificações.

Tabela 6.4 – Verificação dos E.L. Último de corte e compressão perpendicular.

			Características e propriedades das vigas				E.L.U. Corte			E.L.U. Esmag. apoio			
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	V_{sd}	τ_{sd}	*Rácio*	l_{apoio} (mm)	$\sigma_{c,90,d}$	$k_{c,90}$	*Rácio*
0,03	8,12	0,5	C18	250	200	Rect.	11,68	0,52	0,42	100	0,36	1,00	0,27
Reforço de secção		0,50	C18	125	200	Rect.	11,68	0,52	0,42	100	0,36	1,00	0,27

Tabela 6.5 – Verificação dos E.L. Serviço de deformação.

			Características e propriedades das vigas				E.L.S. - Deformação			
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	$u_{inst,total}$ (mm)	*1º Critério u,inst£l/300*	$u_{fin,total}$ (mm)	*2º Critério u,fin£l/250*
0,03	8,12	0,5	C18	250	200	Rect.	75,89	27,07	121,36	32,48
Reforço de secção		0,50	C18	125	200	Rect.	75,89	27,07	121,36	32,48

Tabela 6.6 – Verificação dos E.L. Último de vibração.

			Características e propriedades das vigas				E.L.S. - Vibração								
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Maciça	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	I vigas (m4)	Frequência (Hz)	a (mm)	amax (mm)	Rácio	n40=	vp (m/(Ns^2)	v=	Rácio (v<=vp)
0,03	8,12	0,5	C18	250	200	Rect.	1,67E-04	2,37	2,34	0,83	2,84	8,83	0,018	0,002	0,10
Reforço de secção		0,50	C18	125	200	Rect.	1,67E-04	2,37	2,34	0,83	2,84	8,83	0,018	0,002	0,10

Os resultados acima apresentados servem apenas para validar os cálculos efectuados pela folha de cálculo, neste caso para um reforço lateral com madeira da mesma classe resistente da existente. O novo *input* à folha de cálculo existente reside nos reforços de pavimentos com vigas de pavimento com diferentes classes de resistência e/ou secção transversal. A validação de reforço com madeira de classes diferentes foi realizada, e reside na determinação de um coeficiente de homogeneização e análise da viga composta homogeneizada na classe de resistência da viga existente, cálculos que já foram acima verificados. Assim para uma viga de secção 12,5x20cm^2 de classe de resistência C18, reforçada lateralmente com uma viga de secção idêntica, mas de classe de resistência GL24h, a folha de cálculo cria uma secção homogeneizada em C18 e realiza as verificações acima demonstradas.

O coeficiente de homogeneização neste exemplo é de m=1,29, logo a base da secção final será (1,29 x12,5)+12,5=28,60cm. Pretende-se assim, comparar os valores de resistência entre uma peça de secção 28,60x20cm^2(C18) com uma viga composta por uma secção de 12,5x20cm^2(C18) e outra secção de 12,5x20cm^2(GL24h). A primeira linha corresponde à secção de 28,60x20cm^2(C18) e a segunda linha corresponde à viga dupla.

Tabela 6.7 – Verificação do Estado Limite Último de Flexão.

			Características e propriedades das vigas						E.L.U. Flexão (sem bamb.)						
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Tipo de madeira	Maciça	Lamelada Colada	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	M_{Sd} (kN m), G + Q	$\sigma_{m,sd}$	M_{Rd} (kN m), G + Q	Rácio (G+Q)	M_{Sd} (kN m), G	M_{Rd} (kN m), G	Rácio (G)
0,03	8,12	0,5	Maciça	C18	GL36c	286	200	Rect.	24,0	12,6	23,24	1,03	8,6	17	0,06
Reforço de secção		0,50	Lam. Col.	D70	GL24h	125	200	Rect.	24,0	12,6	23,24	1,03	8,6	17	0,06

Tabela 6.8 – Verificação dos E.L. Último de corte e compressão perpendicular.

			Características e propriedades das vigas						E.L.U. Corte			E.L.U. Esmag. apoio			
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Tipo de madeira	Maciça	Lamelada Colada	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	V_{sd}	τ_{sd}	Rácio	l_{apoio} (mm)	$\sigma_{c,90,d}$	$k_{c,90}$	Rácio
0,03	8,12	0,5	Maciça	C18	GL36c	286	200	Rect.	11,83	0,46	0,38	100	0,32	1,00	0,23
Reforço de secção		0,50	Lam. Col.	D70	GL24h	125	200	Rect.	11,83	0,46	0,38	100	0,32	1,00	0,23

Tabela 6.9 – Verificação dos E.L. Serviço de deformação.

			Características e propriedades das vigas						E.L.S. - Deformação			
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Tipo de madeira	Maciça	Lamelada Colada	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério $u,inst \leq l/300$	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério $u,fin \leq l/250$
0,03	8,12	0,5	Maciça	C18	GL36c	286	200	Rect.	67,21	27,07	107,66	32,48
Reforço de secção		0,50	Lam. Col.	D70	GL24h	125	200	Rect.	67,21	27,07	107,66	32,48

Tabela 6.10 – Verificação dos E.L. Último de vibração.

			Características e propriedades das vigas						E.L.S. - Vibração								
Espessura soalho (m)	Vão (m)	Espaçamento vigas (m)	Tipo de madeira	Maciça	Lamelada Colada	b (mm)	h ou ø (mm)	Secção Transversal	I vigas (m4)	Frequência (Hz)	a (mm)	amax (mm)	Rácio	n40=	vp (m/(Ns^2)	v=	Rácio (v<=vp)
0,03	8,12	0,5	Maciça	C18	GL36c	286	200	Rect.	1,91E-04	2,51	2,05	0,83	2,48	8,86	0,016	0,002	0,11
Reforço de secção		0,50	Lam. Col.	D70	GL24h	125	200	Rect.	1,91E-04	2,51	2,05	0,83	2,48	8,86	0,016	0,002	0,11

As próximas comparações pretendem validar o cálculo de valores resistentes e actuantes dos pavimentos reforçados com vigas de secção transversal diferente, uma vez que necessitam de maiores cálculos auxiliares (centro de gravidade e inércias). Assim, considerando uma viga de pavimento existente de secção transversal 10x20cm^2 reforçada com uma viga de secção de 10x25cm^2 ambas de classe de resistência C18 para as condições acima descritas, temos:

Carregamento

$$g_k = \left(0{,}03 + \frac{0{,}2\times0{,}1}{0{,}25} + \frac{0{,}25\times0{,}1}{0{,}25}\right)\times9{,}81\times380\times1000 + 7 = 7{,}78\ kN/m^2$$

$$p_{sd} = (1{,}35\times7{,}78 + 1{,}5\times2)\times0{,}25 = 3{,}38\ kN/m^2$$

Tabela 6.11 – Carregamento.

	Carregamento									Características e propriedades das vigas	
	Espaçamento vigas (m)	Revestimentos (kN/m2)	gk (kN/m2)	Sobrecarga (kN/m2)	psi2	psd, ELU (kN/m)	psd, ELS, G (kN/m)	psd, ELS, Q (kN/m)	Massa serviço (kg)	b (mm)	h ou ø (mm)
Reforço de secção	0,25	7,00	7,78	2,00	0,20	3,38	1,95	0,50	834	100	250

Cálculo auxiliar

Os valores apresentados dizem respeito a secção transversal composta pelas duas vigas.

$$y_g = 113{,}8mm$$

$$I_{yg} = 2{,}04\times10^{-4}m^4$$

$$w_{el} = 1{,}715\times10^{-3}m^3$$

Verificação de estado limite último de flexão

$$M_{sd} = \frac{3{,}38\times3{,}90^2}{8} = 6{,}40\ kNm$$

$$\sigma_{m,sd} = \frac{6{,}40}{1{,}715\times10^{-3}}\times10^{-3} = 3{,}70\ MPa$$

$$M_{Rd} = \frac{18\times0{,}80\times1{,}1}{1{,}30}\times1{,}715 = 20{,}90\ kNm$$

Tabela 6.12 – ELU de flexão.

	Características e propriedades das vigas		E.L.U. Flexão (sem bamb.)						
	b (mm)	h ou ø (mm)	M_{sd} (kN m), G + Q	$\sigma_{m,sd}$	M_{Rd} (kN m), G + Q	Rácio (G+Q)	M_{sd} (kN m), G	M_{Rd} (kN m), G	Rácio (G)
Reforço de secção	100	250	6,4	3,7	20,90	0,31	5,0	16	0,02

Verificação de estado limite último por corte

$$V_{sd} = \frac{3{,}38 \times 3{,}90}{2} = 6{,}58\ kN$$

$$\tau_{sd} = \frac{3}{2} \times \frac{6{,}58}{(0{,}1 \times 0{,}2 + 0{,}1 \times 0{,}25) \times 0{,}67} \times 10^{-3} = 0{,}33\ MPa$$

Tabela 6.13 – ELU de corte.

	Características e propriedades das vigas		E.L.U. Corte		
	b (mm)	h ou ø (mm)	V_{sd}	τ_{sd}	Rácio
Reforço de secção	100	250	6,58	0,33	0,27

Verificação de estado limite de serviço deformação

Recorda-se que para verificação do estado limite de deformação, o numerador h/L referente a parcela da deformação por efeito de corte considerou-se igual a 2xy_g.

$$u_{inst,G} = \frac{5 \times 1{,}95 \times 3{,}90^4}{384 \times 9 \times 2{,}04 \times 10^{-4}} \times \left[1 + 24/25 \times \frac{9}{0{,}56} \times \left(\frac{2 \times 113{,}8 \times 10^{-3}}{3{,}90}\right)^2\right] \times 10^{-3} = 3{,}36mm$$

$$u_{inst,Q} = \frac{5 \times 0{,}50 \times 3{,}90^4}{384 \times 9 \times 2{,}04 \times 10^{-4}} \times \left[1 + 24/25 \times \frac{9}{0{,}56} \times \left(\frac{2 \times 113{,}8 \times 10^{-3}}{3{,}90}\right)^2\right] \times 10^{-3} = 0{,}86mm$$

$$u_{inst,total} = 3{,}36 + 0{,}86 = 4{,}23mm$$

$$u_{final,total} = 3{,}36 \times (1 + 0{,}80) + 0{,}86 \times (1 + 0{,}2 \times 0{,}80) = 7{,}06mm$$

Tabela 6.14 – ELS de deformação.

	Características e propriedades das vigas		E.L.S. - Deformação									
	b (mm)	h ou ø (mm)	K_{def} G e P.P.	K_{def} Q e VV	$u_{inst,G}$ (mm)	$u_{inst,Q}$ (mm)	$u_{inst,total}$ (mm)	1º Critério u_{inst}£l/300	$u_{fin,G}$ (mm)	$u_{fin,Q}$ (mm)	$u_{fin,total}$ (mm)	2º Critério u_{fin}£l/250
Reforço de secção	100	250	0,80	0,80	3,36	0,86	4,23	13,00	6,05	1,00	7,06	15,60

Verificação de estado limite de serviço de vibração

$$f1 = \frac{\pi}{2\times 3{,}90^2}\sqrt{\frac{9\times 10^9 \times \frac{2{,}04\times 10^{-4}}{0{,}25}}{834}} = 9{,}69Hz$$

$$fa = \frac{14\times(9\times 2{,}25\times 10^{-6})}{0{,}25^4}\times 10^3 = 72{,}57$$

$$a = \frac{1000\times 0{,}30\times 3{,}90^3\times 1{,}05}{48\times(9\times 10^9\times 2{,}04\times 10^{-4})}\times 10^3 = 0{,}21mm/kN$$

Tabela 6.15 – ELS de vibração.

	Características e propriedades das vigas		E.L.S. - Vibração											
	b (mm)	h ou ø (mm)	I vigas (m4)	Frequência (Hz)	fa	kdist	a (mm)	amax (mm)	Rácio	bv=	n40=	vp (m/(Ns^2)	v=	Rácio (v<=vp)
Reforço de secção	100	250	2,04E-04	9,69	72,576	0,300	0,21	1,80	0,12	167	22,39	0,016	0,002	0,10

6.3.3 Pressupostos de utilização

A folha de cálculo tem algumas considerações a ter em conta aquando da sua utilização e que aqui se pretendem resumir. Não se pretendendo uma folha de cálculo de resultados exactos, tendo em conta o número elevado de variáveis inerentes, a folha pretende apresentar resultados fiáveis aproximados. Da folha enumera-se as características resumidas a ter em consideração:

Vigas de pavimento reforçadas lateralmente

- Secção de vigas de reforço homogeneizadas no material existente a partir do qual se realizam as verificações de segurança;
- As verificações de segurança são realizadas a partir dos valores geométricos da viga composta e homogeneizada;
- Hipótese das deformações - deformações lineares e perpendiculares mantem-se lineares e perpendiculares. Tratando-se de uma viga composta, a hipótese de cálculo é válida apenas se for garantida uma ligação rígida entre as vigas de pavimento;
- Não é verificada a instabilidade lateral-torsional;

- Quando o pavimento é composto por vigas secção transversal distinta (circular+rectangular) a verificação ao corte é realizada individualmente e a distribuição de esforço de corte é realizado em função da inércia;
- A deformação contabiliza a parcela relativa a deformação devido ao efeito de corte, em que h é considerado igual a $2xy_g$.

Pavimento reforçado com introdução de vigas a meio vão

- Viga de pavimento verificadas individualmente, com redução de cargas correspondente a metade do vão inicial;
- A deformação contabiliza a parcela relativa à deformação devido ao efeito de corte.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

O presente documento pretende resumir as actividades desenvolvidas e acompanhadas ao longo da experiência do estágio, nomeadamente a realização de trabalhos de inspecção e diagnóstico no Museu e coberturas dos Armazéns Vinícolas, que culminou num projecto de reabilitação para este último. Em ambos os projectos foi notória a importância da fase de inspecção, ensaio e diagnóstico como metodologias essenciais para o sucesso dos projectos de reabilitação, auxiliando a definição de medidas de intervenção baseadas na caracterização estrutural, danos observados e avaliação de segurança adaptada a cada projecto.

Dos casos de estudo explorados, o Museu permitiu uma actividade alargada da campanha de inspecção e diagnóstico, desde a recolha de informação de arquivo, de forma a conhecer o seu enquadramento histórico, eventuais obras ou alterações ao projecto inicial e/ou revelar soluções estruturais, que dificilmente seriam identificadas sem auxilio dessa documentação ou ensaios. A caracterização dos elementos construtivos e levantamento de danos registados exaustivamente foi fundamental para uma visão global dos problemas e auxiliar na avaliação. Destaca-se também os trabalhos alargados a todas a estrutura do edifício (cobertura, pavimentos, vigas, pilares, arcos, etc.), auxiliados por ensaios tendencialmente não destrutivos para avaliação do estado de conservação da estrutura recorrendo a instrumentos como o martelo, o *Resistograph®*, videoscópio e *Ferroscan* para caracterização estrutural. Como conclusão principal retira-se o bom estado de conservação da estrutura do edifício do Museu exceptuando algumas zonas da cobertura e lajes exteriores. O caso de estudo do Museu permitiu o contacto com vários danos comuns em materiais estruturais como a madeira, alvenaria e betão, como o ataque de agentes bióticos e insectos sociais, humidade ascensional e utilização de materiais incompatíveis, carbonatação e corrosão, fomentando um conhecimento mais empírico das debilidades que causam em elementos estruturais. Da análise efectuada ao edifício através da modelação do mesmo, conclui-se que o edifício apresenta algumas debilidades à acção sísmica, com tensões principais de tracção superiores à tensão resistente da alvenaria. Essas tracções surgem essencialmente sobre as janelas ou vãos de aberturas. No entanto, constatou-se que na realidade essas tensões poderão ser

inferiores ou não existir. Na análise global das tensões de compressão, verificou-se que existe um acréscimo significativo das tensões nas alvenarias que suportam lajes de piso materializadas em betão. No entanto, em nenhuma fachada foram observadas tensões de compressão superiores à resistência da alvenaria.

O projecto de reabilitação dedicado às coberturas dos Armazéns Vinícolas, aqui apresentado como segundo caso de estudo, centrou-se na fase de projecto de execução dotando as coberturas de capacidade resistente adequada às cargas e danos observáveis. A estrutura da cobertura do armazém A1, apresentava debilidades do ponto de vista do sub-dimensionamento das asnas que constituem a cobertura, onde eram visíveis fenómenos de instabilidade devida à esbelteza dos elementos assim como deformações transversais e longitudinais ao plano da cobertura. Como solução de reforço estrutural, dimensionou-se um reforço de elementos capaz de prover a capacidade necessária à estrutura. Esta medida foi adaptada ao sistema estrutural existente em que, fazendo uma comparação entre aparência existente e a prevista, apenas serão notórios os tirantes em madeira colocados como pendurais e os parafusos de ligação, visíveis em algumas peças já reforçadas. Todos os elementos de ligação metálica que apontam para uma estrutura intervencionada encontram-se omissos entre as peças existentes e as de reforço. Realça-se ainda a importância da introdução de elementos contraventamento que confere à cobertura rigidez transversal e estabilidade às asnas aos movimentos horizontais.

Relativamente ao armazém A2, identificou-se como principal fragilidade o razoável a mau estado de conservação de vários elementos que compunham as asnas de suporte da cobertura, em particular as zonas de apoio nas paredes de empena que registavam extensas manchas de humidade. A cobertura apresentava acentuadas deformações devido à deficiente ligação entre elementos de asnas, em particular entre linhas principais. A solução de intervenção proposta actua directamente na causa dos danos, com o reforço dos apoios degradados recorrendo a chapas metálicas e ao aumento de rigidez na ligação entre linhas, com a introdução de mais elementos de ligação.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para complementar os trabalhos desenvolvidos no NCREP, sugere-se as seguintes acções:

- Medição das frequências próprias das alvenarias do museu para calibração do modelo de cálculo;
- Melhoria do código VBA da macro desenvolvida de modo a organizar o anexo dedicado aos ensaios Resistograph® de forma mais célere adoptando comandos mais expeditos;
- Desenvolvimento de um programa que permita escalar e extrair os ensaios *Resistograph®* directamente para o anexo, pois actualmente é um processo manual.

- Estender a verificação da segurança de pavimentos reforçados ao bambeamento;
- Dotar a folha de cálculo de capacidade para determinar a classe de resistência/massa volúmica do pavimento existente através das frequências fundamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1964). "Carta de Veneza - Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro de Monumentos e Sítios." II Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos, Veneza.

Almeida, Celeste (2013). *"Paredes de alvenaria do Porto. Tipificação e caracterização experimental"*. Doutoramento em Engenharia Civil. FEUP. Porto

Alvarez, R., *et al* (2000) *Estructuras de Madera – Diseño y Cálculo, Associación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho*. AITIM.

Appleton, J. (2011). *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção,* Edições Orion

Botelho Júnior, J (2006). "*Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Mestrado em Reabilitação do Património Edificado*," Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.

Branco, J. M. (2012). *Análise e reforço de coberturas tradicionais*., Seminário de Coberturas de Madeira, 19 de Abril de 2012, UM, Guimarães.

CEN. EN 338 – Structural timber – Strength classes. Brussels, Belgium: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.

CEN – Eurocódigo 0 – Bases para o projecto de estruturas, NP EN 1990. Norma Europeia. Portugal: IPQ, 2009.

CEN. Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios, NP EN 1991-1-1. Norma Europeia. Portugal: IPQ, 2009.

CEN. Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-4: Acções gerais – Acções do vento, NP EN 1991-1-4. Norma Europeia. Portugal: IPQ, 2010a.

CEN - 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. Portugal: IPQ, 2004.

CEN - Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios, NP EN 1998-1. Norma Europeia. Portugal: IPQ, 2010b.

Coelho, J. (2016). *"Avaliação das características mecânicas de pavimentos de madeira antigos utilizando identificação dinâmica"*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.

Cóias, V. (2007). *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Técnicas pouco Intrusivas*, Argumentum

Cóias, V. (2008). *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*, IST - Instituto Superior Técnico

Costa A., et al 2014. *Reabilitação Estrutural – Casos práticos de intervenção em estruturas patrimoniais*, IC/FEUP, Porto

Costa, A. A.(2016), Apontamentos da disciplina de Estruturas de madeira e alvenaria - Parte 1, ISEP

Costa, A. A.(2016), Apontamentos da disciplina de Estruturas de madeira e alvenaria - Parte 2, ISEP

Costa, A.A., *et al* (2017), Aplicação de ensaios NDT para estimativa de propriedades físicas e mecânicas de madeira de pinho nacional., CREPAT, Aveiro.

Faria, J. A. – Reabilitação de Estruturas de Madeira – Palestra proferida nas 2as Jornadas de Engenharia Civil do Instituto Politécnico da Guarda – 12 e 13 de Maio de 2004

GECoRPA – Declaração de princípios do GECoRPA – Grémio do Património. [Consult. 2 Jun. 2017]. Disponível em: http://www.gecorpa.pt/conteudo.aspx?id=1&idc=24&area=Princ%C3%ADpios

ICOMOS. (2004) – *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*, ICOMOS.

Ilharco, T. (2008). "*Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural.*" Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.

Lourenço, P. B. (2002) Computations on historic masonry structures.

NCREP (2017)a – Relatório de inspecção e diagnóstico - O Museu.

NCREP (2017)b – Relatório de inspecção e diagnóstico – Seminário Maior de Coimbra.

NCREP (2017)c – Relatório de inspecção e diagnóstico – Faculdade de Direito da Universidade do Porto.

NCREP (2017)d – Relatório de inspecção e diagnóstico - Armazéns Vinícolas

NCREP (2011) – Relatório de inspecção e diagnóstico – Real Companhia Velha

Negrão, J., Faria, A. (2009) *Projecto de Estruturas de Madeira*, Publindústrias, Edições Técnicas.

NTC (2008). Norme Tecniche per le Costruzioni, D. M. 14 gennaio 2008, Suppl. ord. n° 30 alla G.U. n. 29 del 4/02/2008, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Peixoto de Freitas, V., Vários (2012) *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*, OERN

UNESCO – Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. [Consult. 24 Jun. 2017]. Disponível em: http://whc.unesco.org/en/conventiontext/

www.ncrep.pt - consultado a 01/17

ANEXO I – MUSEU

Pavimento térreo em cantaria de granito

Escada em cantaria de pedra

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

2 pilares em pedra, para apoio das vigas em betão.

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pavimento térreo em cantaria de granito

Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Escada em cantaria de pedra

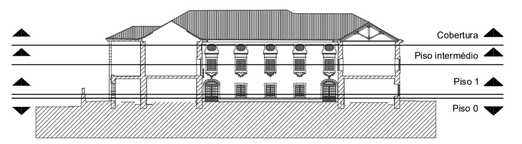
Pavimento térreo com revestimento cerâmico

Pilares em cantaria recebem o tecto em abóbada

Pilares em cantaria junto das paredes recebem o tecto em abóbada

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

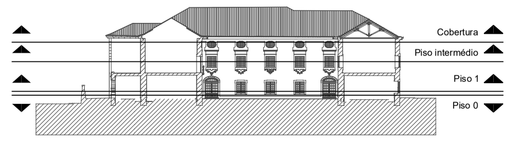
ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

OBRA: O Museu — Relatório de Inspecção Estrutural		DATA: Março 2017		FASE DO PROJECTO: RID
DESIGNAÇÃO: Planta estrutural do piso 0		PROCESSO: NCREP_0426A0615	ESCALA: 1:100	DESENHO N.º: 01 — REV. N.º
PROJECTOU: JMG, TI, AAC, FO	DESENHOU: FO	APROVOU: JMG, TI, AAC	VERIFICOU: JMG, TI, AAC	NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaria blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

Alinhamento com arcos em alvenaria de pedra

Laje maciça em betão armado (esp.=0.13m)

VBE-5 (0.33x0.42m²)

Alinhamento com arcos em alvenaria de pedra

Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas (esp.=0.33m)

Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

VBE-6 (embebida na parede)

1.20

VME (Ø30cm)

VME (9x9cm² a 11x11cm²) //0.40m

VME //0.60m a 0.80m

VME (Ø24cm a Ø25cm) //0.50m a 0.70m

Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas(h=8cm) espaçadas de 0,43m a 0,45m

VME (Ø24cm)

VME (9x9cm² a 11x11cm²) //0.40m

0.80 1.30 1.40 1.30 1.40 1.30

VME (13x13cm²) //0.70

Viga secundária

Soalho

Viga principal

Revestimento de tecto

Suporte de tecto (10x10cm²)

VME (7x7cm² a 16x16cm²) //1.30m a 1.40m

As vigas do pavimento são continuas entre dois compartimentos adjacentes do piso 0 e apoiam-se na parede interior.

Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas(h=11cm) espaçadas de 0,45m

VBE-4 (0.30x(0.47+hlaje)m²)

Pilar de pedra (40x40cm²)

Laje aligeirada

Viga

Enchimento (e=5cm)

Painel de madeira revestir o pilar de pedra (40x40cm²).

Zona do pavimento com camada de betonilha e revestimento cerâmico (altura total=0.13m) aplicado sobre o soalho.

Vigas principais apoiadas no arco em cantaria

VME (Ø28cm a Ø30cm) // 0.60m

VME

VME (13x13cm²) //0.40m a 0.60m

VME (8x8cm² a 10x10cm²) //0.40m a 0.50m

VME (Ø17cm a Ø22cm) //0.45m a 0.60m

VME (10x10cm² a 12x12cm²) //0.40m a 0.50m

VME (24x20cm²)

2.00

VME (Ø27m a Ø28cm) //0.50m a 0.60m

Escada em cantaria de pedra

Pilares em cantaria recebem o tecto em abóbada

Vigas secundárias apoiadas no topo das vigas principais, ver porm. Pma1.

Pavimento com vigas circulares falqueadas nas faces

Zona do pavimento com duplo soalho. Tecto apoiado em vigas VME (8x6cm²). Vigas secundárias apoiadas no topo das vigas principais, ver porm. Pma1.

Soalho duplo

Viga secundária

Viga principal

Soalho

Revestimento cerâmico

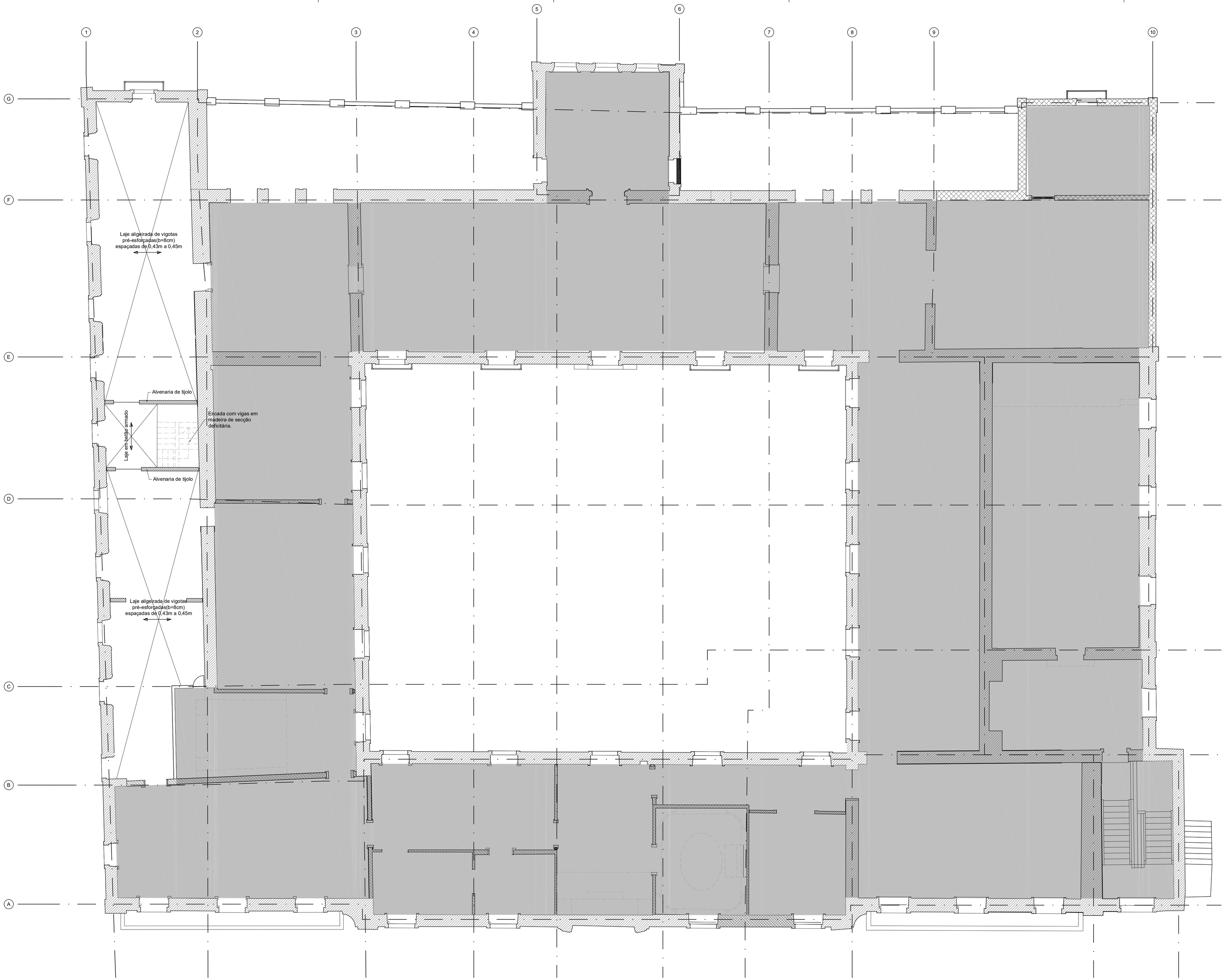
Argamassa

Viga secundária

OBRA: O Museu Relatório de Inspecção Estrutural		DATA: Março 2017		FASE DO PROJECTO: RID
DESIGNAÇÃO: Planta estrutural do piso 1		PROCESSO: NCREP_0426A0615	ESCALA: 1:100	DESENHO N.º: 02
PROJECTOU: JMG, TI, AAC, FO	DESENHOU: FO	APROVOU: JMG, TI, AAC	VERIFICOU: JMG, TI, AAC	

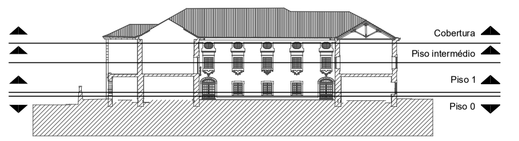
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

NCREP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural		Março 2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Planta estrutural do piso intermédio (entre o pavimento e o tecto do piso 1)	NCREP_0426A0615	1:100	03

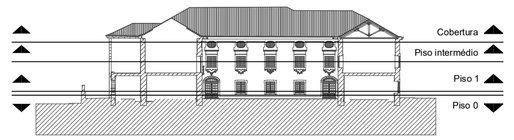
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaria blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas -
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

Tectos em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1 e nas terliças em madeira do tipo T2. Possivelmente podem apoiar-se na linha da asna.

Treliça T1-8

Treliça T1-7

Tecto em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1, nas duas asnas e na terliça da estrutura da cobertura.

Asna A4-1

Asna A4-2

Treliça T2

Tectos em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1

Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas

VPM-1 (IPE 160) //1.70m

Vigas - VME (7.5x22cm²) //1.60m a 1.65m

IPE 160

Vigas em madeira de suporte do tecto em caixotões de madeira apoiam-se na alma dos perfis metálicos IPE160.

Compartimento sem tecto e com estrutura da cobertura aparente.

Tectos em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1

Topo da parede em alvenaria apresenta um lintel de betão

VBE-1 (0.35x(0.45+hlaje)m²)

VBE-2 (0.40x(0.55+hlaje)m²)

Tecto em laje de betão, apoiado nas paredes estruturais do piso 1 e nas vigas invertidas de betão armado.

Tectos em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1 e pontualmente encontram-se ligados por cabos à estrutura da cobertura.

Topo da parede em alvenaria apresenta um lintel de betão

VBE-3 (0.30x(0.45+hlaje)m²)

Treliça T1-6

Treliça T1-5

Treliça T1-4

Treliça T1-3

Treliça T1-2

Treliça T1-1

Tectos em estrutura de madeira apoiadas nas paredes estruturais do piso 1 e nas terliças em madeira do tipo T1.

Tecto em laje de betão, apoiado nas paredes estruturais do piso 1 e nas vigas invertidas de betão armado.

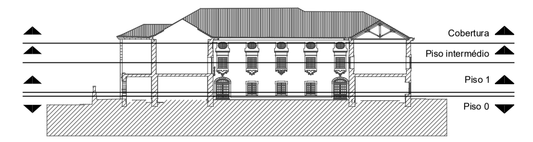
OBRA		DATA		FASE DO PROJECTO	
O Museu		Março 2017		RID	
Relatório de Inspecção Estrutural					
DESIGNAÇÃO		PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Planta estrutural do tecto do piso 1		NCREP_0426A0615	1:100	04	
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU		
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC		

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

NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

G F E D C B A

7.00 8.45 7.73

6.37 8.19 23.78 7.29 14.56 21.38 8.95

8.42 9.59 5.35 2.00 2.25 2.00 1.90 5.05

4.40 4.40 4.40 4.40 4.60 2.75 1.67

14.70 6.20 5.00 4.85 5.15 4.85 13.14 5.76

Asna A4-1 Asna A4-2 Teliça T2

Asna A3-1 Asna A3-2 Asna A3-3 Asna A3-4

Asna A1-5 Asna A1-4 Asna A1-3 Asna A1-2 Asna A1-1

Estrutura em madeira da cobertura composta por uma asna, madres e rinções em mau estado de conservação.

Estrutura em madeira da cobertura composta por duas asnas do tipo A4, uma teliça do tipo T2, madres e cumeeira em mau estado de conservação.

Estrutura em madeira da cobertura composta por asnas, madres e rincões em mau estado de conservação.

Parede em alvenaria de pedra (com funções estruturais) recebe os tectos do piso 1 e a estrutura da cobertura.

Alvenaria de bloco em betão

Alvenaira de tijolo cerâmico furado

Madres - VME (12x25cm²)

Varas existentes - VME (8x8cm²) // 0.50m

Madres - VME (12x25cm²)

Cumeeira - VME (12x24cm²)

Varas existentes - VME (8x8cm²) // 0.50m

Madres - VME (12x25cm²)

Madres - VME (12x25cm²)

Topo da parede em alvenaria apresenta um lintel de betão

Alvenaira de tijolo cerâmico furado

Estrutura em madeira da cobertura composta por uma asna principal e três asnas secundárias do tipo A5, madres, cumeeira e rinções em mau estado de conservação.

Estrutura em madeira da cobertura composta por asnas do tipo A6, madres, cumeeira e rinções em mau estado de conservação.

Nova estrutura da cobertura em madeira lamelada colada, compostas por 7 asnas, cumeeira, 6 alinhamentos de madres, e rincões.

Estrutura em madeira da cobertura composta por asnas do tipo A2 e madres em mau estado de conservação.

Madres - VME (18x18cm²)

Varas existentes - VME (10x10cm²) // 0.45m

Cumeeira - VME (18x18cm² a 20x20cm²)

Varas existentes - VME (10x10cm²) // 0.45m

Madres - VME (18x18cm²)

Estrutura em madeira da cobertura composta por uma asna, madres, cumeeira e rinções em mau estado de conservação.

Estrutura em madeira da cobertura composta por asnas, madres e rincões em mau estado de conservação.

Estrutura em madeira da cobertura composta por asnas, uma teliça, madres, cumeeira e rinções em mau estado de conservação.

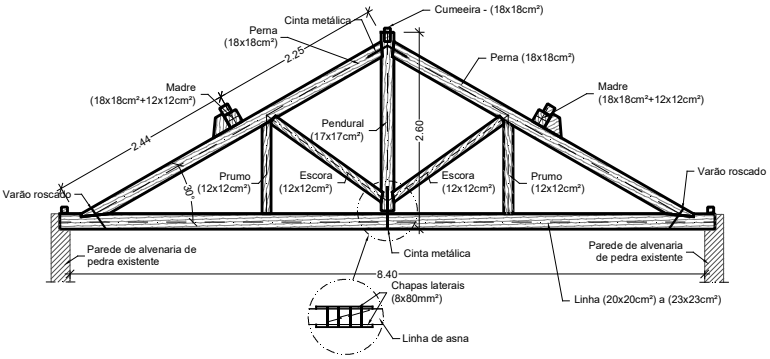
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural		Março 2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Planta estrutural da cobertura	NCREP_0426A0615	1:100	05
PROJECTOU / DESENHOU / APROVOU / VERIFICOU			
JMG, TI, AAC, FO / FO / JMG, TI, AAC / JMG, TI, AAC			

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

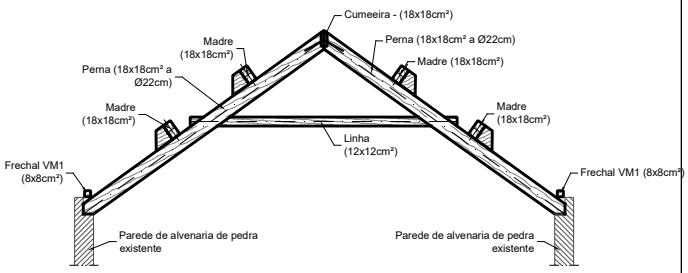
Alçado tipo da Asna A1

Esc. 1:100



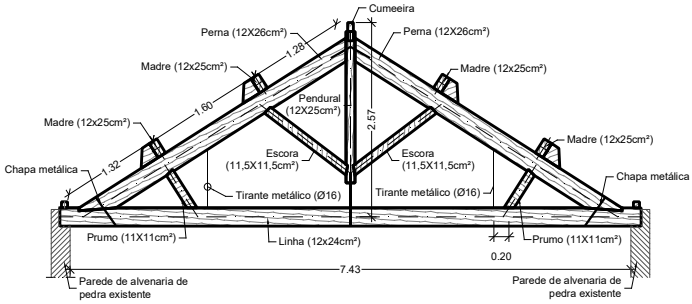
Alçado tipo da Asna A2

Sem escala



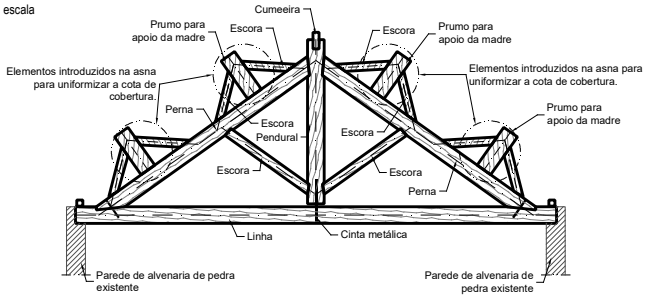
Alçado tipo da Asna A3

1:100



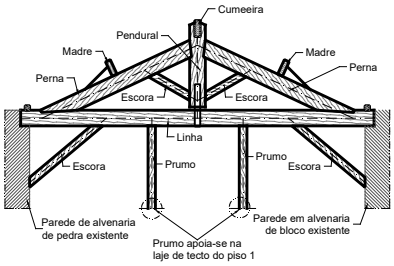
Alçado tipo da Asna A4

Sem escala



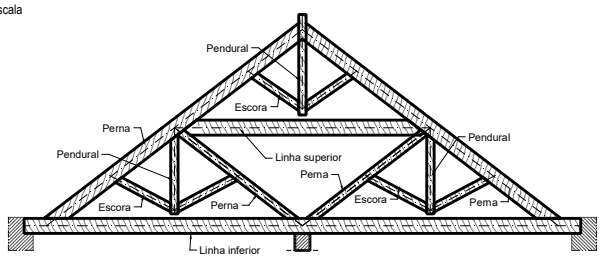
Alçado tipo da Asna A5

Sem escala



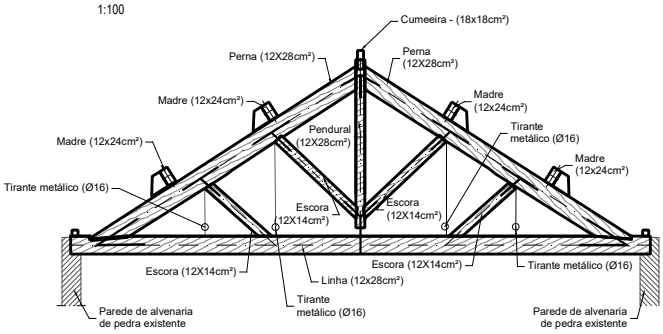
Alçado tipo da Asna A6

Sem escala



Alçado tipo da Asna A7

1:100



OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural		Março 2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Alçado de asnas existentes	NCREP_0426A0615	1:100	06

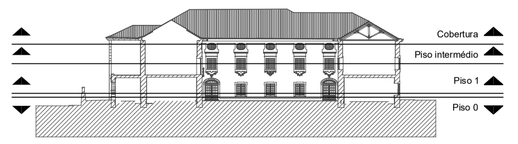
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

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

NCREP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

Vigas:

- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

DANOS ESTRUTURAIS

ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2
Rotura em elementos estruturais	M3
Sistema estrutural desadequado	M4
Deformação significativa	M5
Degradação ligeira por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6
Presença de revestimentos impermeáveis	M7
Degradação pontual do estuque e fasquiado	M8
Manchas de humidade	M9
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA	
Desagregação granular das unidades de pedra	A1
Humidade ascensional generalizada	A2
Fissuração horizontal	A3
Fissuração vertical	A4
Separação de paredes ortogonais	A5
Manchas de humidade	A6
Deformação fora do plano	A7
Existência de argamassa cimentícia	A8
Abertura de juntas	A9
Rotura da padieira	A10
ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação do betão com destacamento	B1
Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Fissuração irregular ligeira	B4
Ninhos de brita	B5

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural	Março 2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapa de danos - Planta estrutural do piso 0	NCREP_0426A0615	1:100	07	

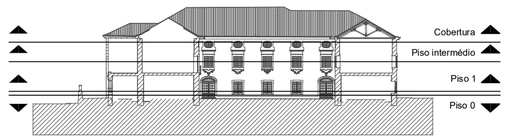
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaria blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

DANOS ESTRUTURAIS

ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2
Rotura em elementos estruturais	M3
Sistema estrutural desadequado	M4
Deformação significativa	M5
Degradação ligeira por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6
Presença de revestimentos impermeáveis	M7
Degradação pontual do estuque e fasquiado	M8
Manchas de humidade	M9
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA	
Desagregação granular das unidades de pedra	A1
Humidade ascensional generalizada	A2
Fissuração horizontal	A3
Fissuração vertical	A4
Separação de paredes ortogonais	A5
Manchas de humidade	A6
Deformação fora do plano	A7
Existência de argamassa cimentícia	A8
Abertura de juntas	A9
Rotura da padieira	A10
ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação do betão com destacamento	B1
Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Fissuração irregular ligeira	B4
Ninhos de brita	B5

OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural		Março 2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Mapa de danos - Planta estrutural do piso 1	NCREP_0426A0615	1:100	08

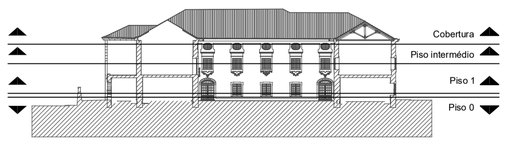
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

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

NCREP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

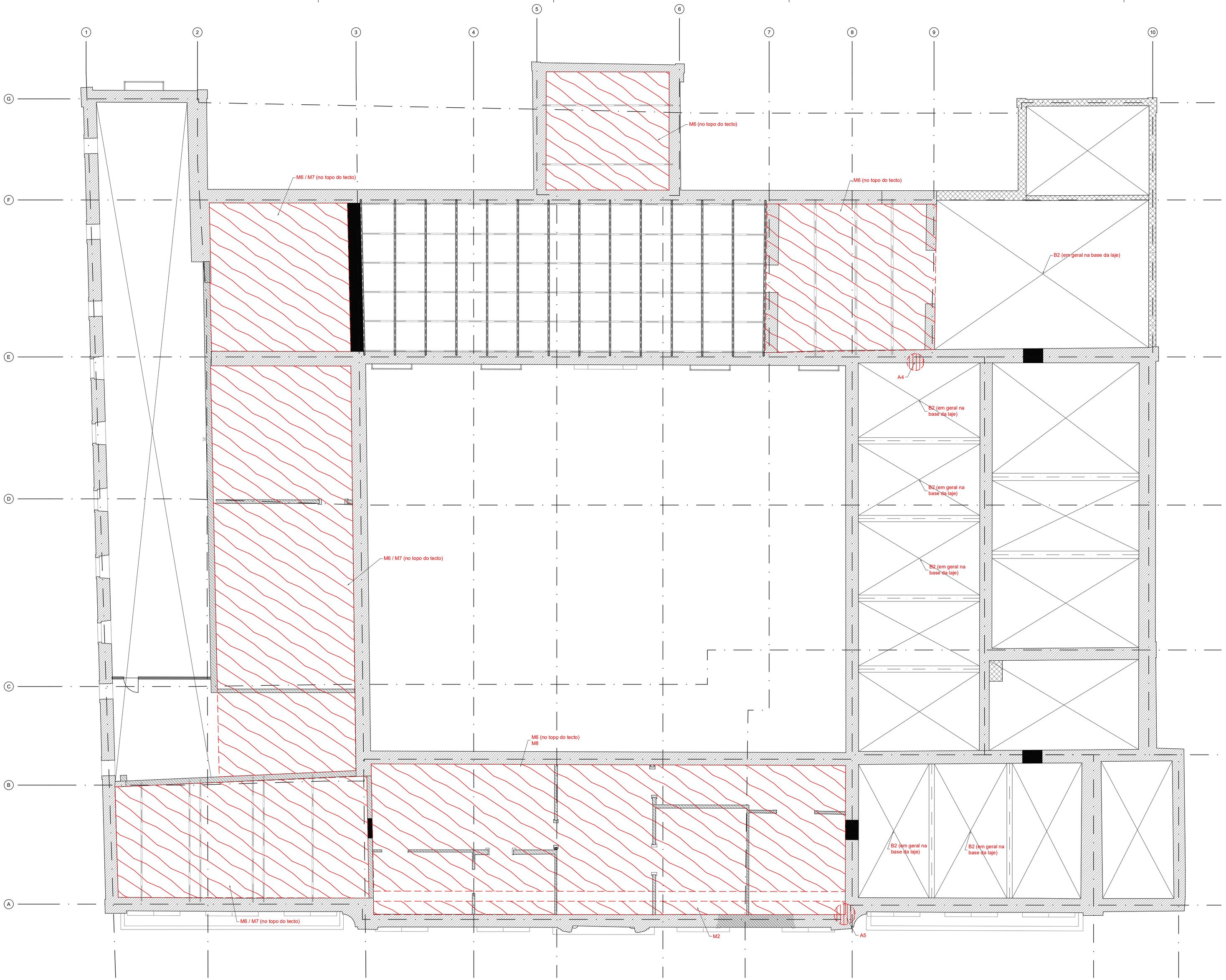
ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2
Rotura em elementos estruturais	M3
Sistema estrutural desadequado	M4
Deformação significativa	M5
Degradação ligeira por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6
Presença de revestimentos impermeáveis	M7
Degradação pontual do estuque e fasquiado	M8
Manchas de humidade	M9
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA	
Desagregação granular das unidades de pedra	A1
Humidade ascensional generalizada	A2
Fissuração horizontal	A3
Fissuração vertical	A4
Separação de paredes ortogonais	A5
Manchas de humidade	A6
Deformação fora do plano	A7
Existência de argamassa cimentícia	A8
Abertura de juntas	A9
Rotura da padieira	A10
ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação do betão com destacamento	B1
Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Fissuração irregular ligeira	B4
Ninhos de brita	B5

OBRA: O Museu Relatório de Inspeção Estrutural		DATA: Março 2017	FASE DO PROJECTO: RID
DESIGNAÇÃO: Mapa de danos - Planta estrutural do piso intermédio	PROCESSO: NCREP_0426A0615	ESCALA: 1:100	DESENHO N.º: 09 / REV. N.º
PROJECTOU: JMG, TI, AAC, FO	DESENHOU: FO	APROVOU: JMG, TI, AAC	VERIFICOU: JMG, TI, AAC

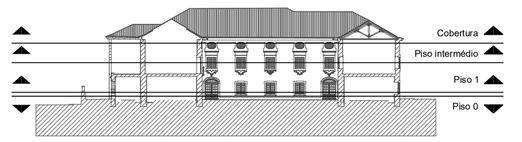
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2
Rotura em elementos estruturais	M3
Sistema estrutural desadequado	M4
Deformação significativa	M5
Degradação ligeira por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6
Presença de revestimentos impermeáveis	M7
Degradação pontual do estuque e fasquiado	M8
Manchas de humidade	M9
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA	
Desagregação granular das unidades de pedra	A1
Humidade ascensional generalizada	A2
Fissuração horizontal	A3
Fissuração vertical	A4
Separação de paredes ortogonais	A5
Manchas de humidade	A6
Deformação fora do plano	A7
Existência de argamassa cimentícia	A8
Abertura de juntas	A9
Rotura da padieira	A10
ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação do betão com destacamento	B1
Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Fissuração irregular ligeira	B4
Ninhos de brita	B5

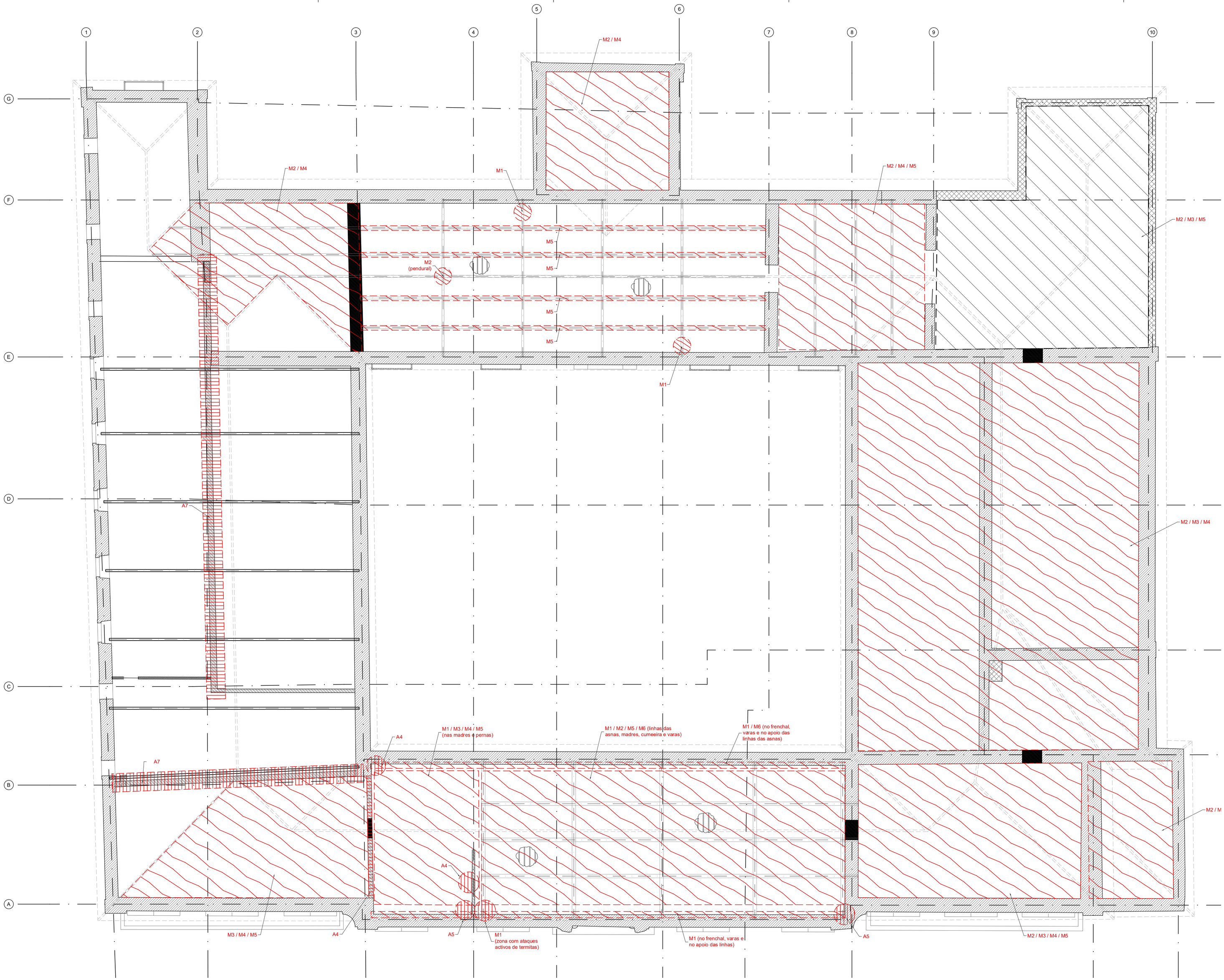
OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural	Março 2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapa de danos - Planta estrutural do tecto do piso 1	NCREP_0426A0615	1:100	10	

PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

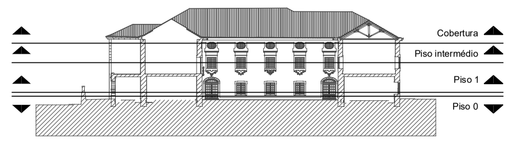
NCR OEP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

DANOS ESTRUTURAIS

ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Degradação por ataques de insectos sociais (térmitas)	M1
Degradação significativa por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M2
Rotura em elementos estruturais	M3
Sistema estrutural desadequado	M4
Deformação significativa	M5
Degradação ligeira por ataque de agentes bióticos (fungos e insectos xilófagos)	M6
Presença de revestimentos impermeáveis	M7
Degradação pontual do estuque e fasquiado	M8
Manchas de humidade	M9
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA E MADEIRA	
Desagregação granular das unidades de pedra	A1
Humidade ascensional generalizada	A2
Fissuração horizontal	A3
Fissuração vertical	A4
Separação de paredes ortogonais	A5
Manchas de humidade	A6
Deformação fora do plano	A7
Existência de argamassa cimentícia	A8
Abertura de juntas	A9
Rotura da padieira	A10
ELEMENTOS HORIZONTAIS - BETÃO ARMADO	
Degradação do betão com destacamento	B1
Fissuração paralela à orientação da laje	B2
Degradação do betão com carbonatação e corrosão de armadura.	B3
Fissuração irregular ligeira	B4
Ninhos de brita	B5

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspecção Estrutural	Março 2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapa de danos - Planta estrutural da cobertura	NCREP_0426A0615	1:100	11	

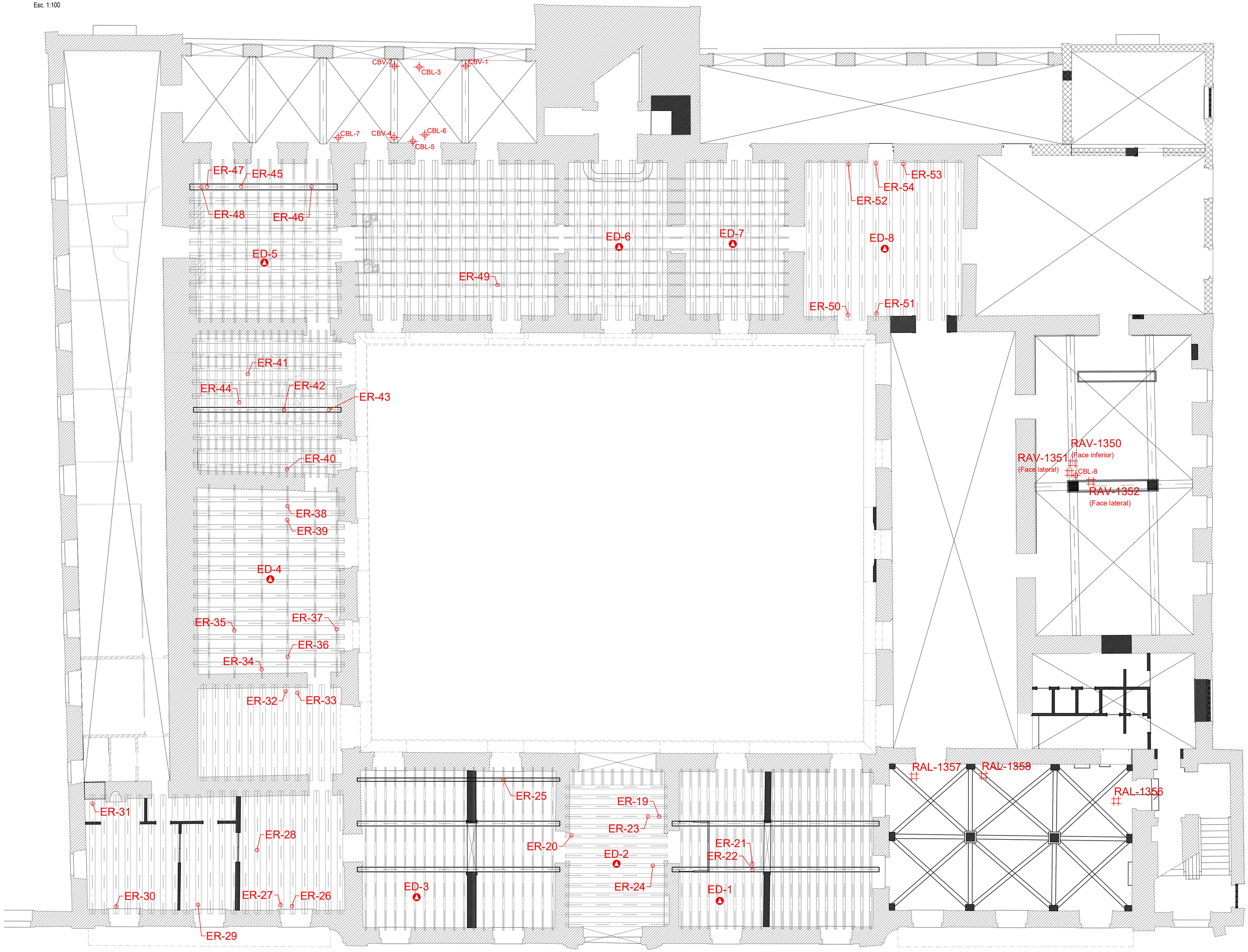
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
JMG, TI, AAC, FO	FO	JMG, TI, AAC	JMG, TI, AAC

NCR OEP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

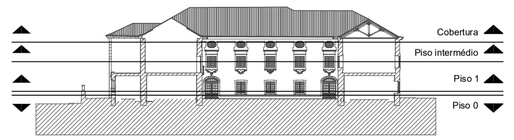
Planta estrutural do piso 1 (tecto do piso 0) (Localização de ensaios)

Esc. 1:100



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:
Vigas:
- VME - Viga em madeira
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

Ensaios *in-situ*

- ER*i* - Ensaios com o Resistógrafo.
- RAL*i* - Ensaio de reconhecimento de armaduras em lajes.
- RAV*i* - Ensaio de reconhecimento de armaduras em Vigas.
- CBL*i* - Ensaios de profundidade de carbonatação em Lajes.
- CBV*i* - Ensaio de profundidade de carbonatação em Vigas.
- ED*i* - Ensaios de identificação dinâmica em pavimento de madeira.

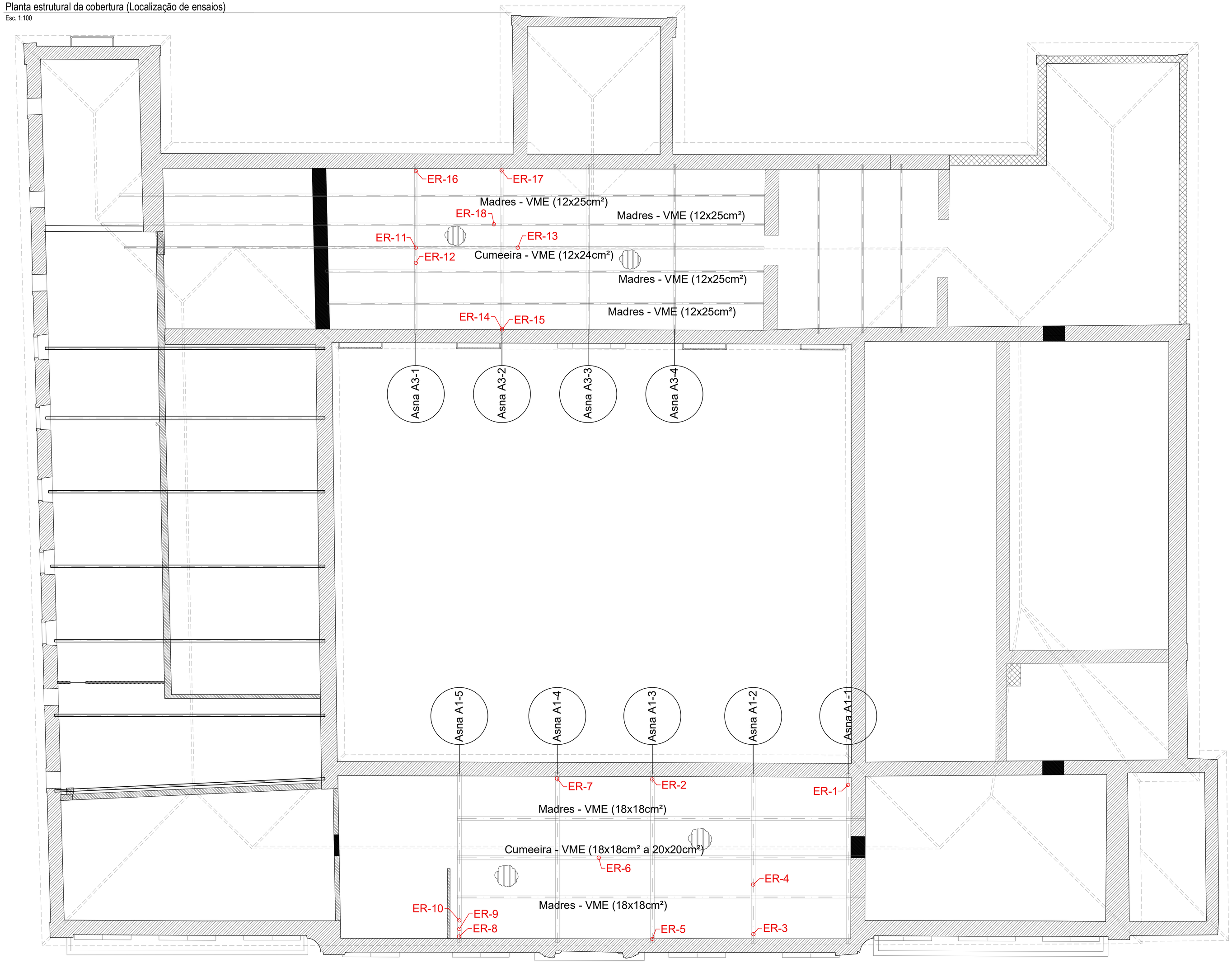
OBRA: O Museu — Relatório de Inspeção Estrutural			DATA: Março 2017		FASE DO PROJECTO: RID
DESIGNAÇÃO: Localização de ensaios - Planta estrutural do piso 1			PROCESSO: NCREP_0426A0615	ESCALA: 1:100	DESENHO N.º: 12 — REV. N.º:
PROJECTOU: JMG, TI, AAC, FO	DESENHOU: FO	APROVOU: JMG, TI, AAC	VERIFICOU: JMG, TI, AAC		

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

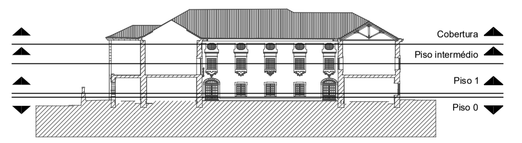
Planta estrutural da cobertura (Localização de ensaios)

Esc. 1:100



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede em frontal existente
- Parede em alvenaira blocos de betão e tijolo cerâmico furado existente
- Outras paredes interiores

ELEMENTOS ESTRUTURAIS EXISTENTES:

Vigas:

- VME - Viga em maderia
- VBE - Viga em betão armado
- VPM - Viga em perfil metálico

Ensaios *in-situ*
ER*i* - Ensaios com o Resistógrafo.
RAL*i* - Ensaio de reconhecimento de armaduras em lajes.
RAV*i* - Ensaio de reconhecimento de armaduras em Vigas.
CBL*i* - Ensaios de profundidade de carbonatação em Lajes.
CBV*i* - Ensaio de profundidade de carbonatação em Vigas.
ED*i* - Ensaios de identificação dinâmica em pavimento de madeira.

OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
O Museu Relatório de Inspeção Estrutural		Março 2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Localização de ensaios - Planta estrutural da cobertura	NCREP_0426A0615	1:100	13
PROJECTOU / DESENHOU / APROVOU / VERIFICOU			
JMG, TI, AAC, FO / FO / JMG, TI, AAC / JMG, TI, AAC			

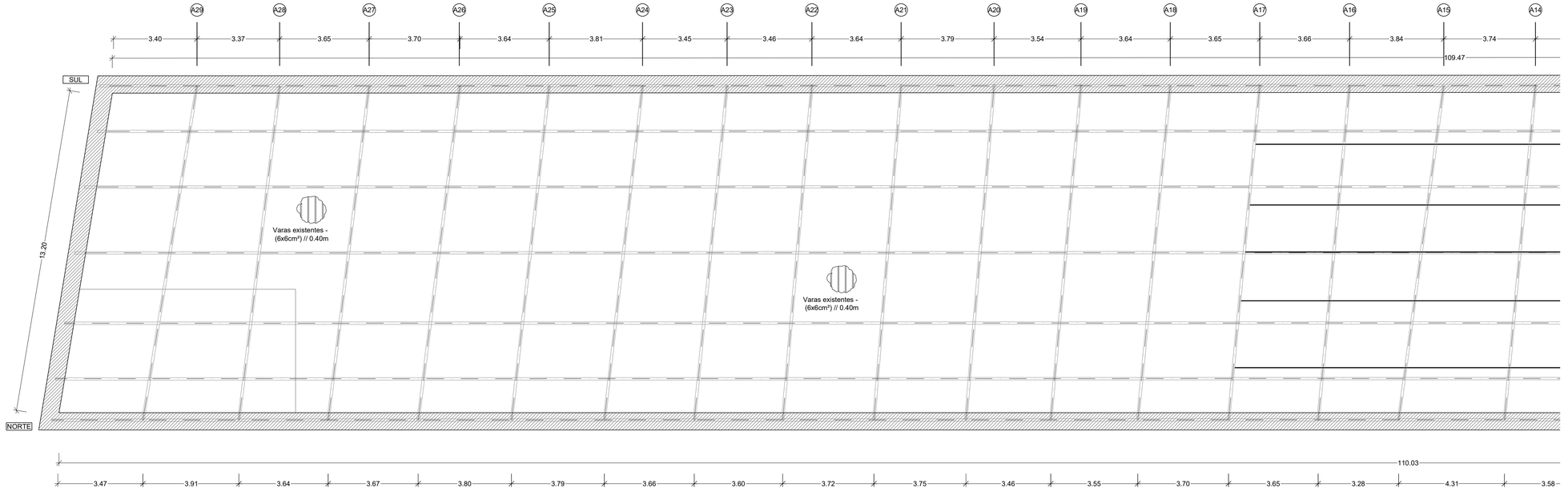
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

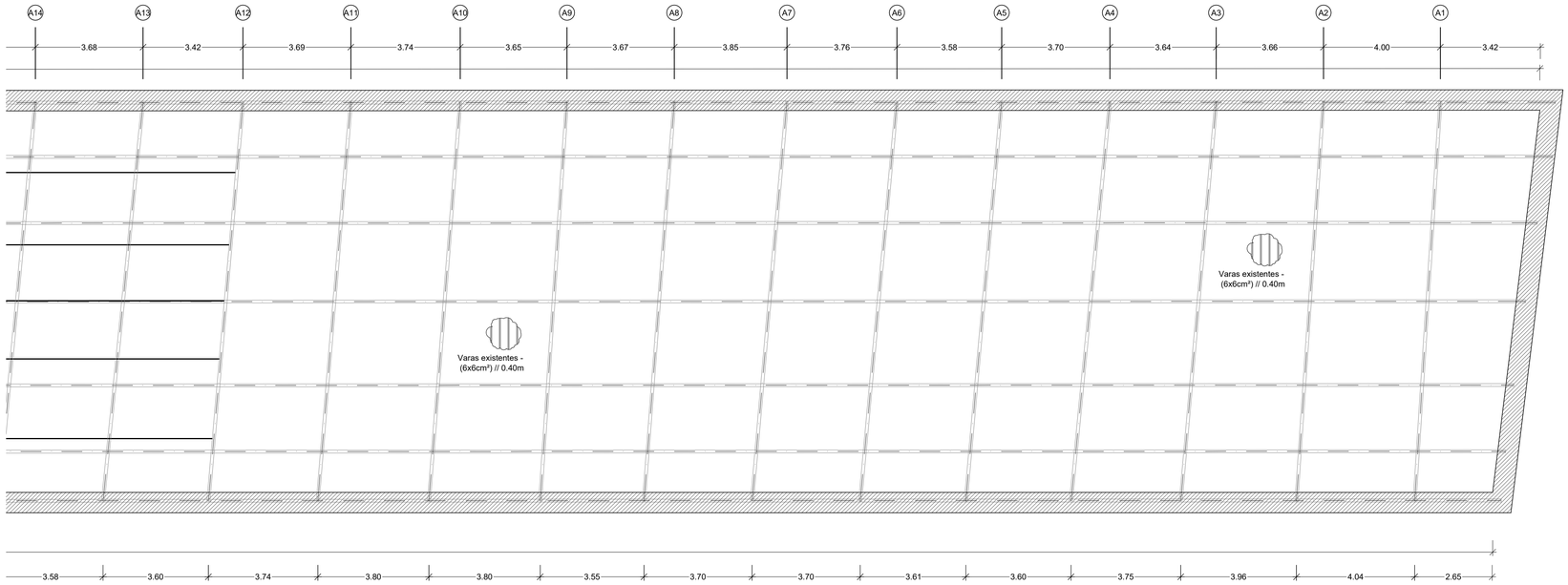
NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

ANEXO II – ARMAZÉNS VINÍCOLAS

Levantamento estrutural - Armazém 1

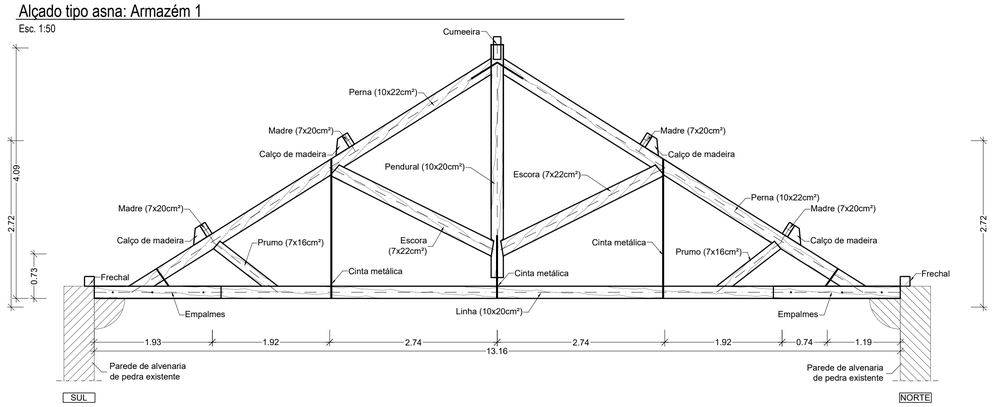
Esc. 1:100





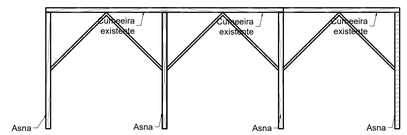
Alçado tipo asna: Armazém 1

Esc. 1:50



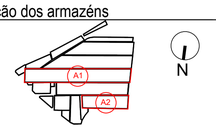
Pormenor tipo de ligação da cumeeira ao pendural (mão francesa)

Esc. 1:100



Identificação dos armazéns

Sem escala



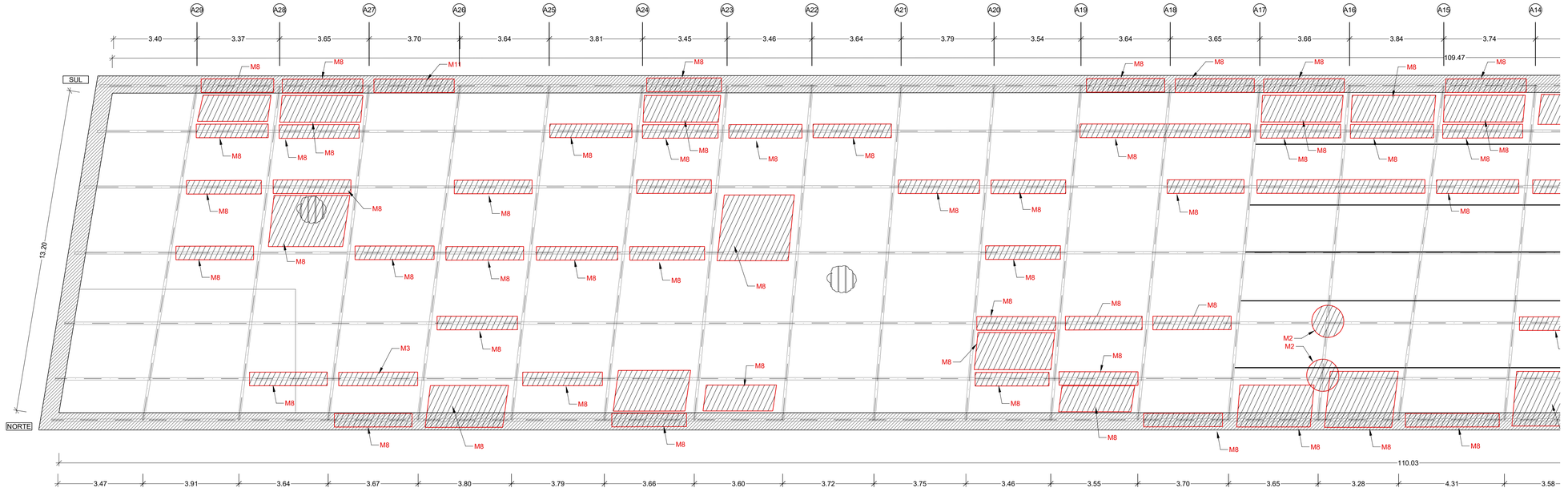
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico		04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Levantamento estrutural - Armazém 1	NCREP_0769P0117	1:100	01
PROJECTOU / DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU	
AAC, GC, LF, TI / GC	AAC, TI	AAC, TI	

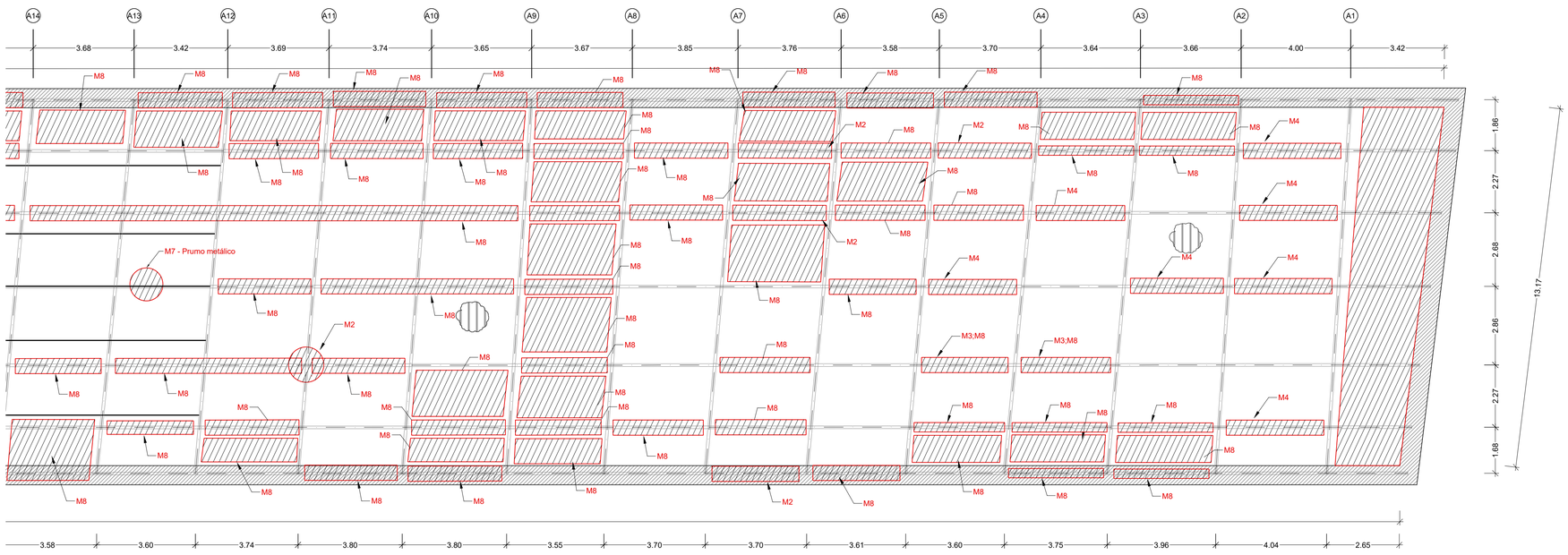
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Mapeamento de danos - Armazém 1

Esc. 1:100

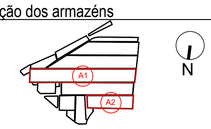




DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6
Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

Identificação dos armazéns

Sem escala



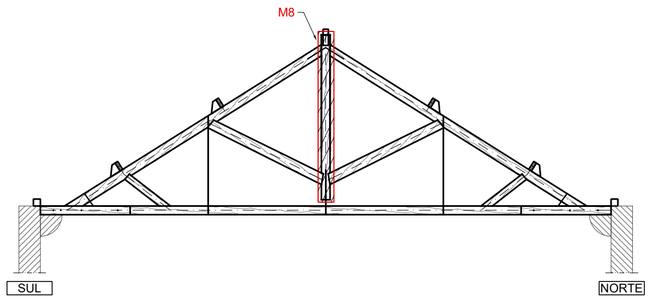
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspeção e Diagnóstico		04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Mapeamento de danos - Armazém 1	NCREP_0769P0117	1:100	02
PROJECTOU / DESENHOU / APROVOU / VERIFICOU			
AAC, GC, LF, TI / GC / AAC, TI / AAC, TI			

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

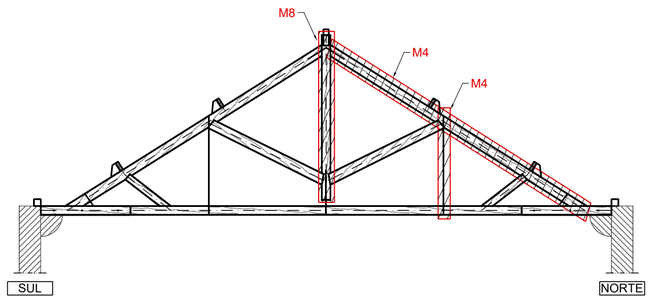
Asna A1-1

Esc. 1:100



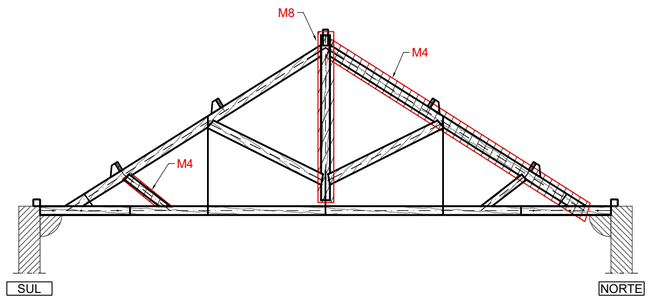
Asna A1-2

Esc. 1:100



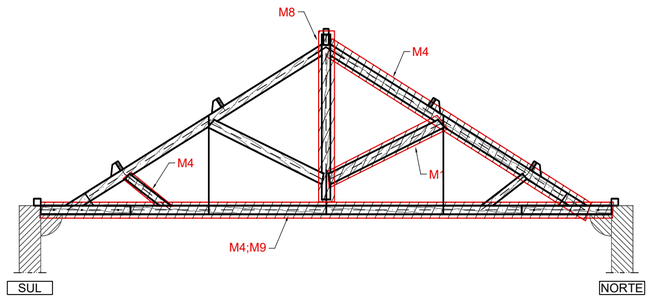
Asna A1-3

Esc. 1:100



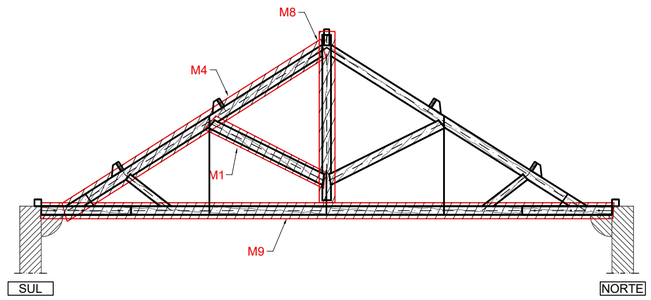
Asna A1-4

Esc. 1:100



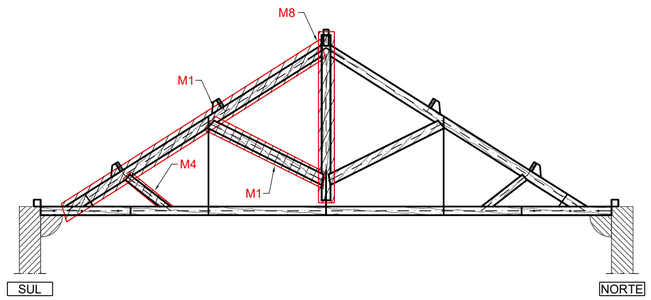
Asna A1-5

Esc. 1:100



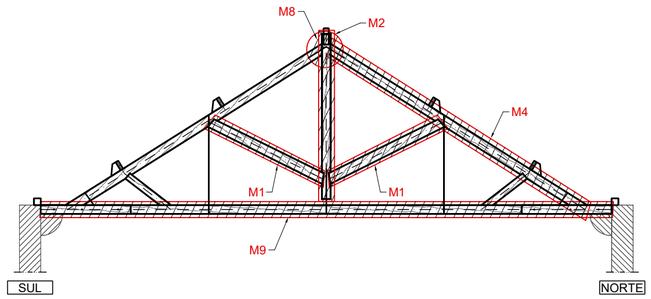
Asna A1-6

Esc. 1:100



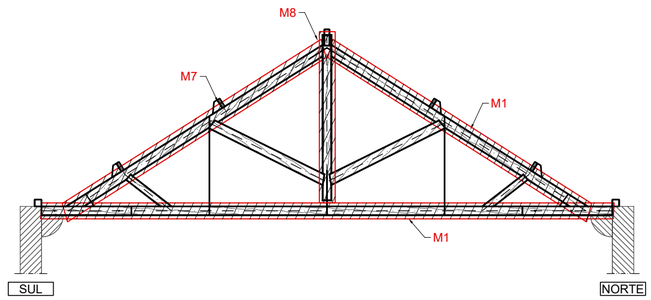
Asna A1-7

Esc. 1:100



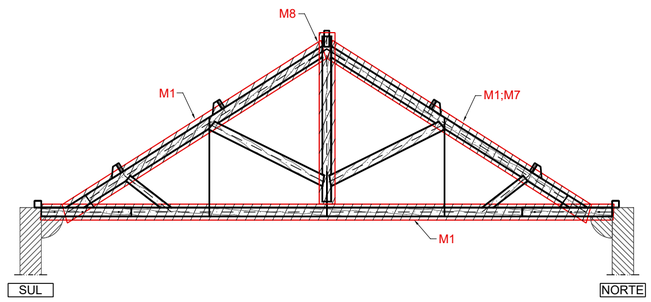
Asna A1-8

Esc. 1:100



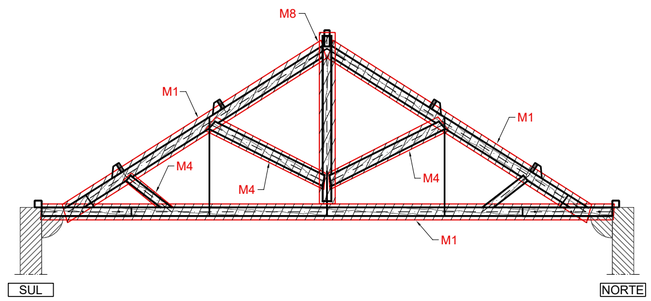
Asna A1-9

Esc. 1:100



Asna A1-10

Esc. 1:100



DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6
Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

OBRA
Armazéns Vinícolas
Relatório de Inspecção e Diagnóstico

DATA
04/2017

FASE DO PROJECTO
RID

DESIGNAÇÃO
Mapeamento de danos - Armazém 1: alçados das asnas

PROCESSO
NCREP_0769P0117

ESCALA
1:100

DESENHO N.º
03

REV. N.º

PROJECTOU
AAC, GC, LF, TI

DESENHOU
GC

APROVOU
AAC, TI

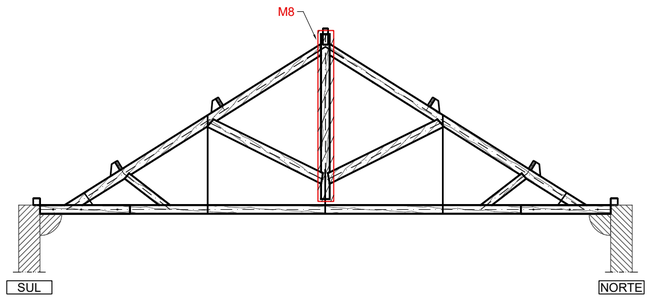
VERIFICOU
AAC, TI

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

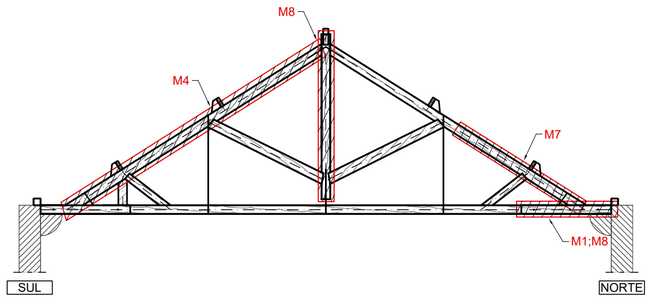
Asna A1-11

Esc. 1:100



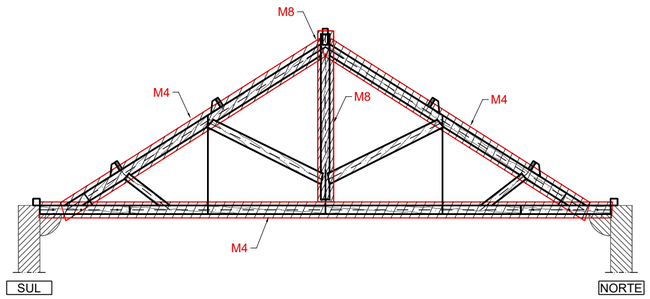
Asna A1-12

Esc. 1:100



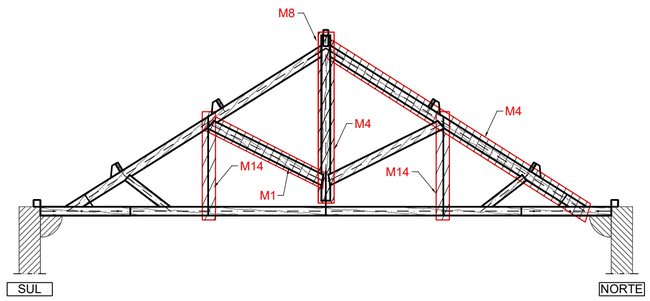
Asna A1-13

Esc. 1:100



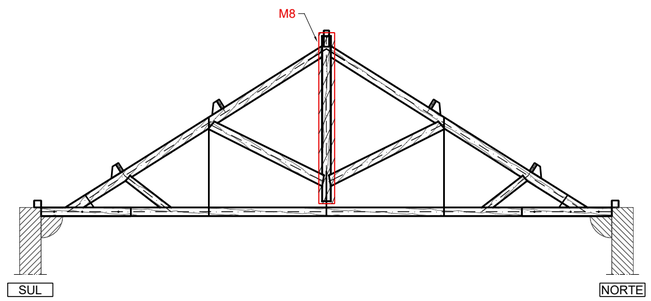
Asna A1-14

Esc. 1:100



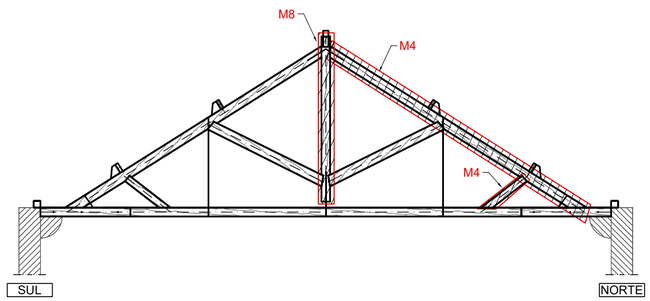
Asna A1-15

Esc. 1:100



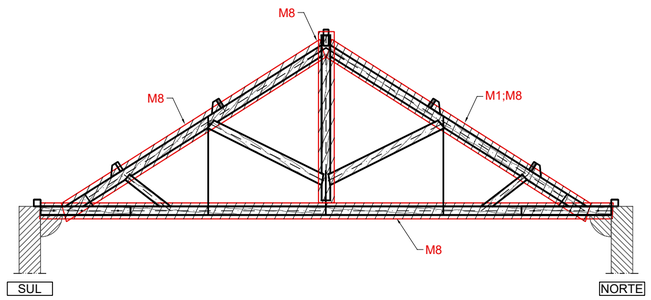
Asna A1-16

Esc. 1:100



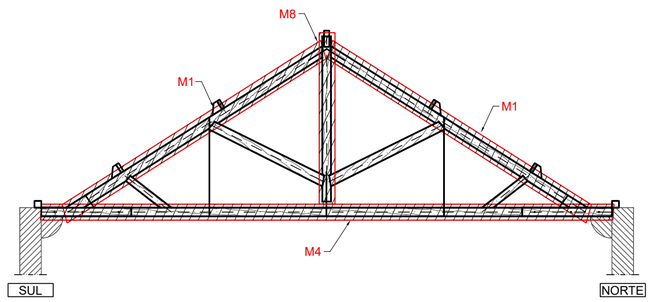
Asna A1-17

Esc. 1:100



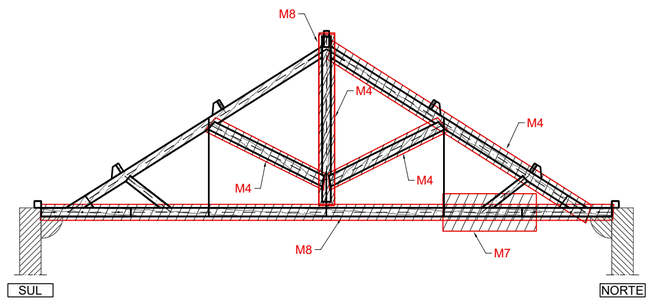
Asna A1-18

Esc. 1:100



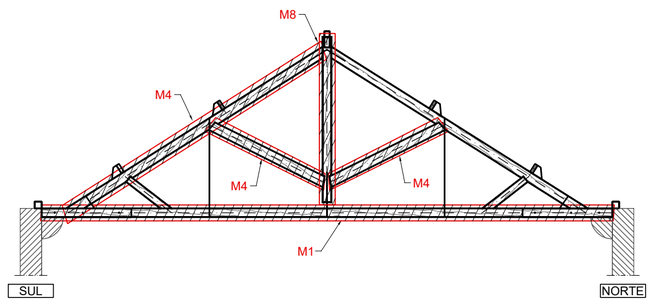
Asna A1-19

Esc. 1:100



Asna A1-20

Esc. 1:100



DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6
Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

OBRA
Armazéns Vinícolas
Relatório de Inspecção e Diagnóstico

DATA
04/2017

FASE DO PROJECTO
RID

DESIGNAÇÃO
Mapeamento de danos - Armazém 1: alçados das asnas

PROCESSO
NCREP_0769P0117

ESCALA
1:100

DESENHO N.º
04

REV. N.º

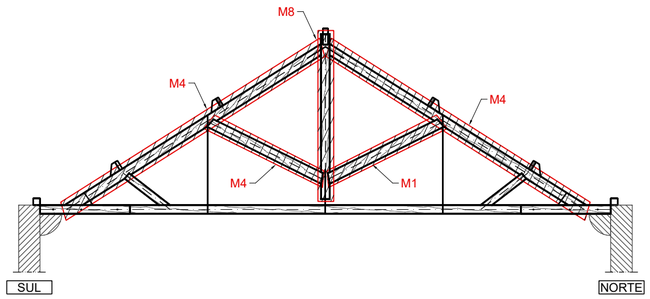
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

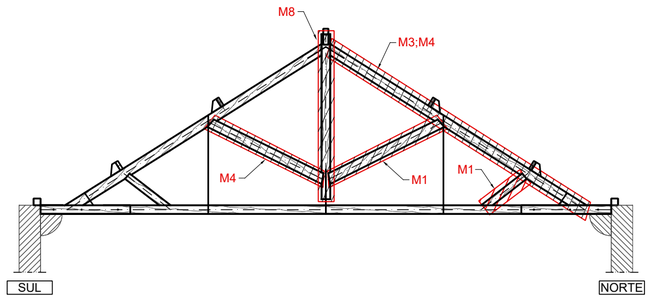
Asna A1-21

Esc. 1:100



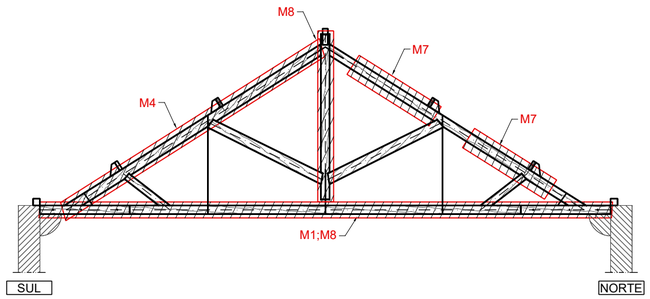
Asna A1-22

Esc. 1:100



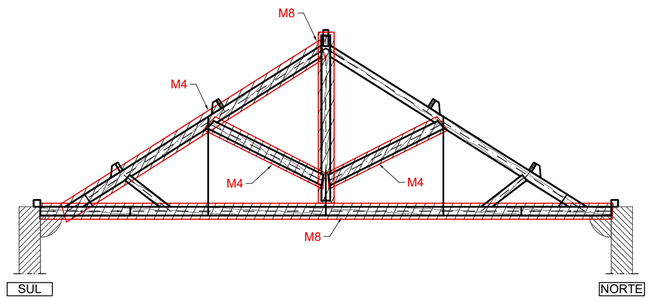
Asna A1-23

Esc. 1:100



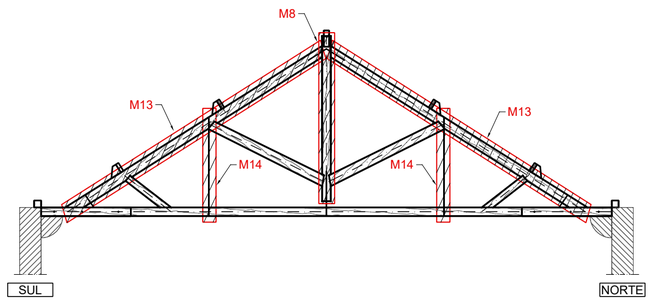
Asna A1-24

Esc. 1:100



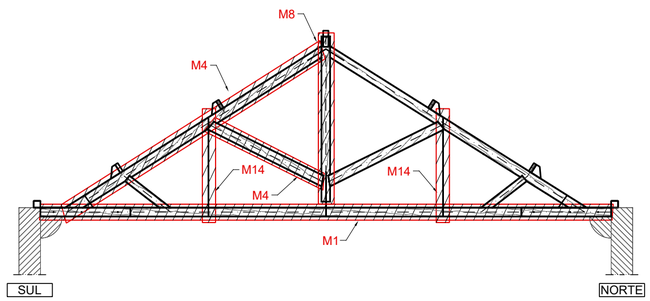
Asna A1-25

Esc. 1:100



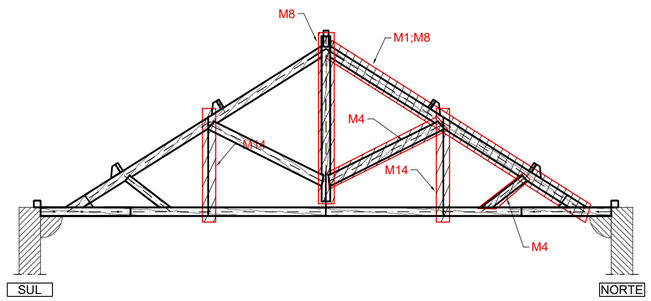
Asna A1-26

Esc. 1:100



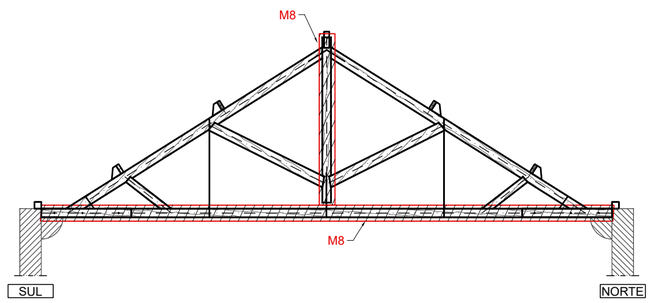
Asna A1-27

Esc. 1:100



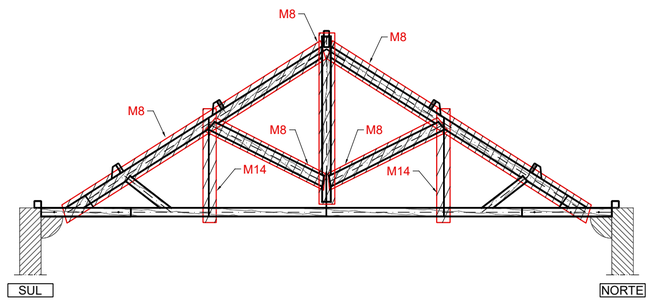
Asna A1-28

Esc. 1:100



Asna A1-29

Esc. 1:100



DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6
Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspeção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapeamento de danos - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	05	

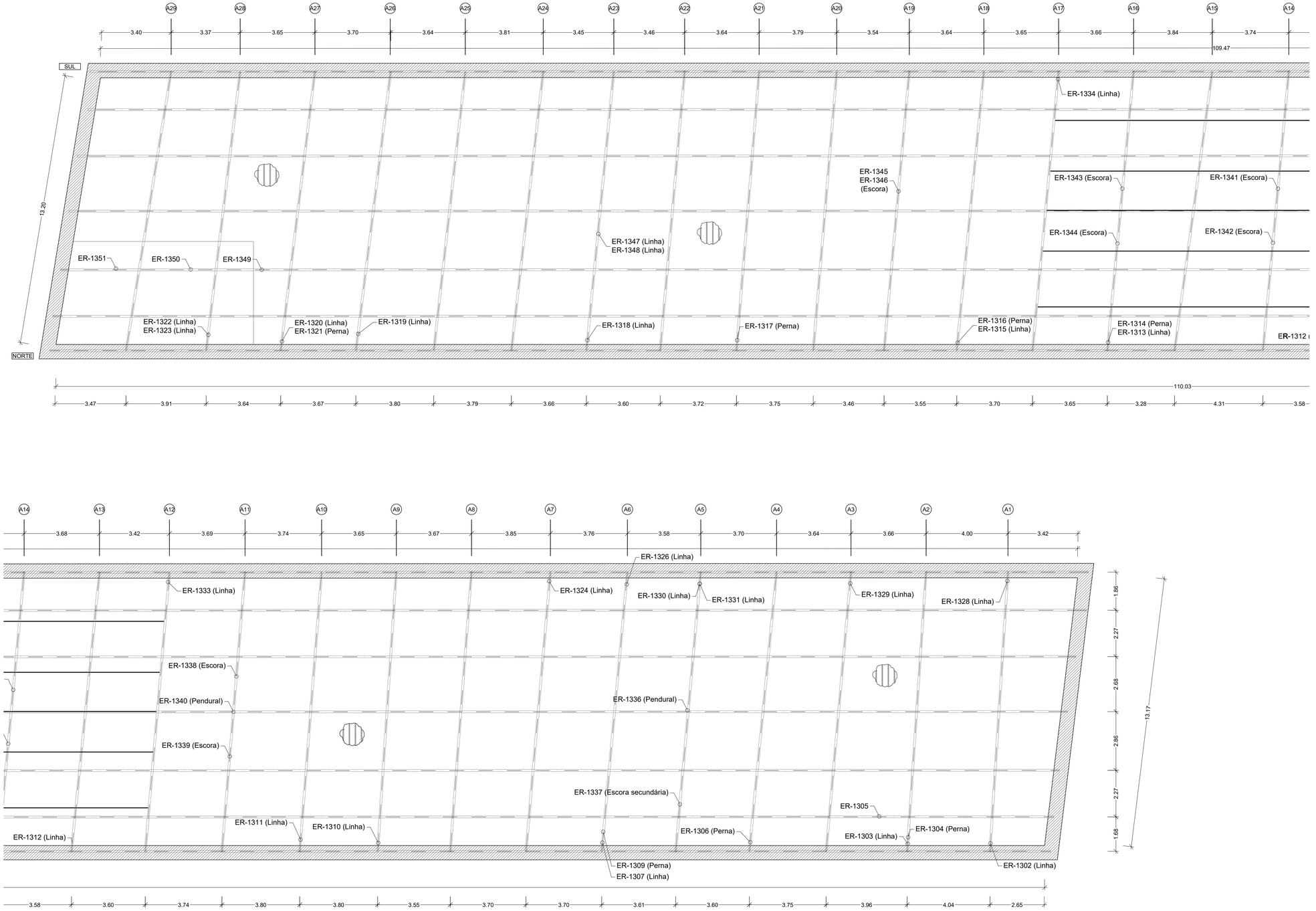
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Ensaios - Armazém 1

Esc. 1:100

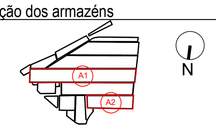


Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:
ER - Ensaios com o Resistógrafo

Identificação dos armazéns

Sem escala



OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspeção e Diagnóstico		04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Ensaios - Armazém 1	NCREP_0769P0117	1:100	06

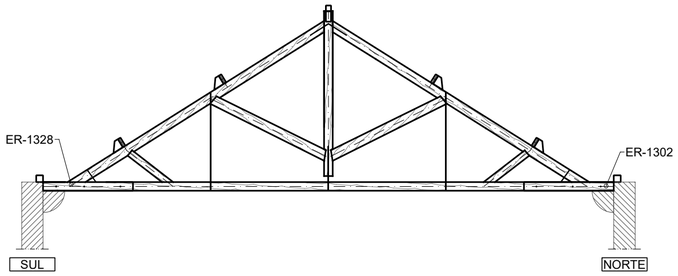
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

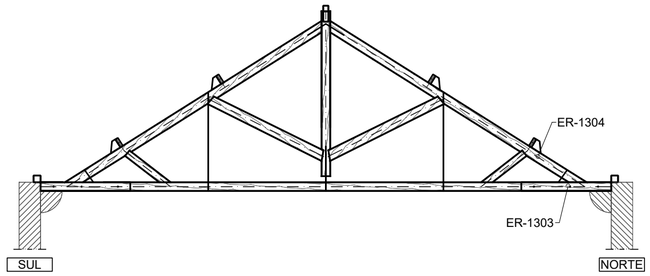
Asna A1-1

Esc. 1:100



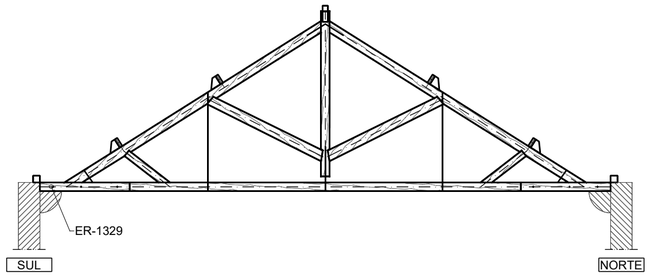
Asna A1-2

Esc. 1:100



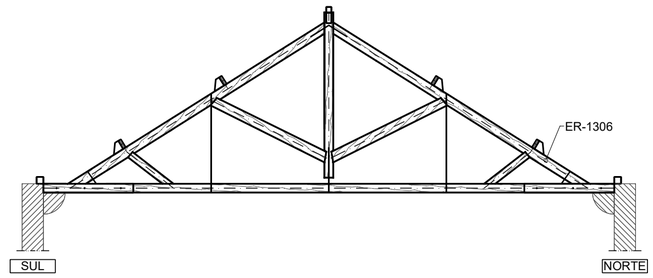
Asna A1-3

Esc. 1:100



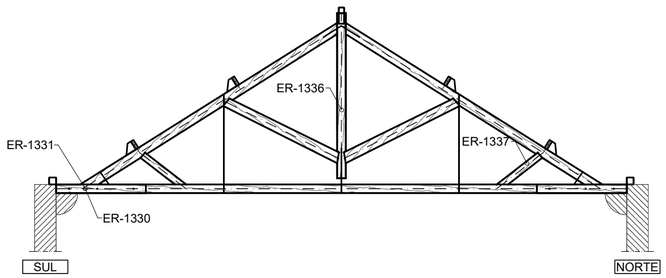
Asna A1-4

Esc. 1:100



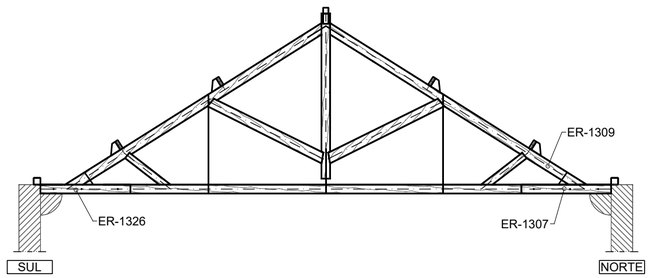
Asna A1-5

Esc. 1:100



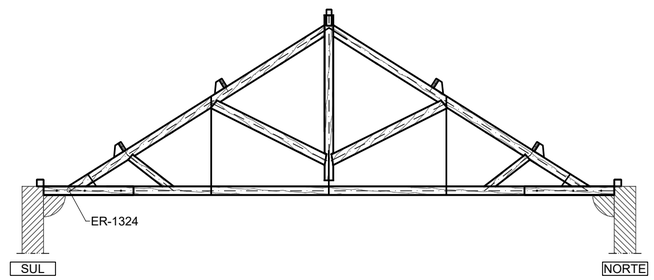
Asna A1-6

Esc. 1:100



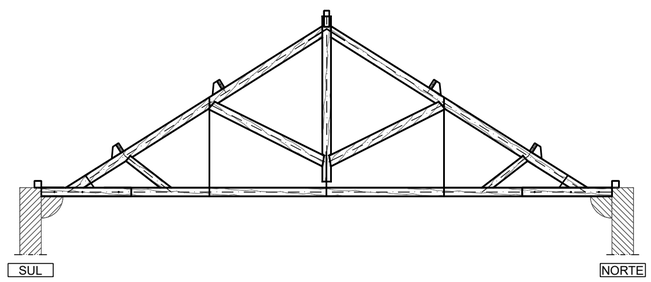
Asna A1-7

Esc. 1:100



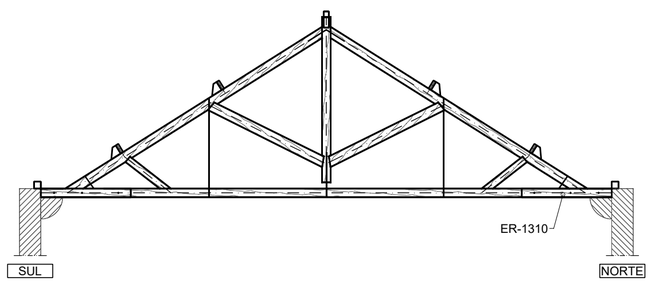
Asna A1-8

Esc. 1:100



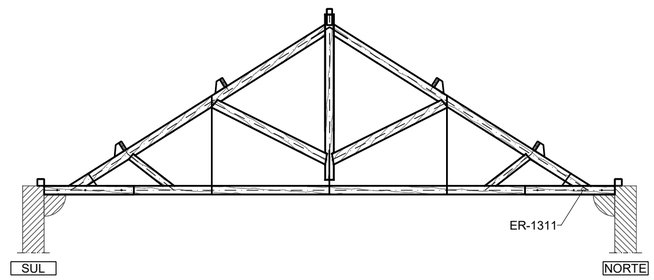
Asna A1-9

Esc. 1:100



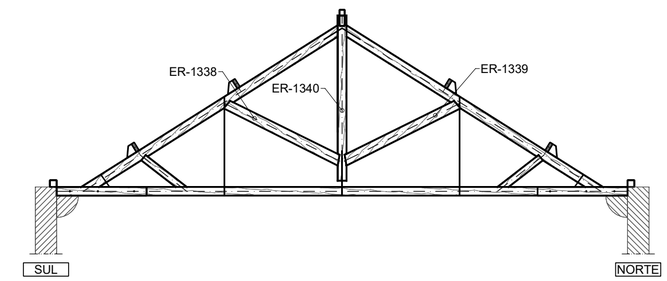
Asna A1-10

Esc. 1:100



Asna A1-11

Esc. 1:100



Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:

- ER - Ensaios com o Resistógrafo

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Ensaios - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	07	

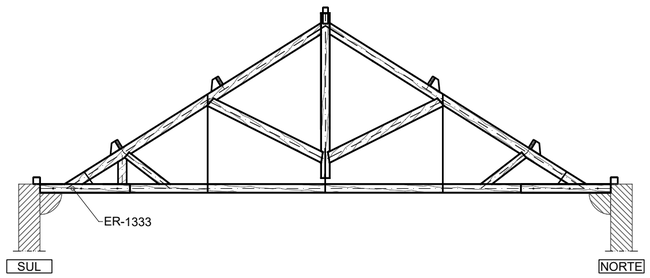
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

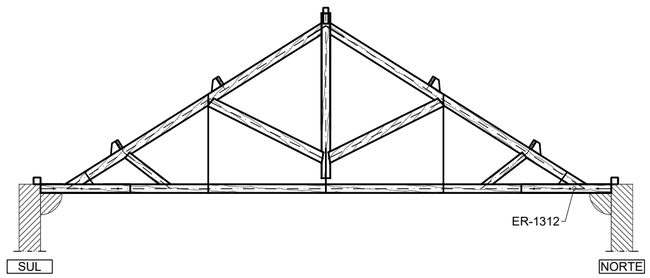
Asna A1-12

Esc. 1:100



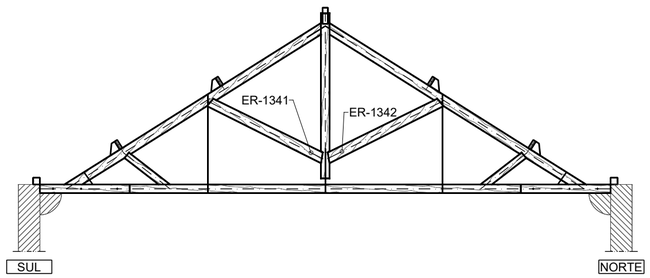
Asna A1-13

Esc. 1:100



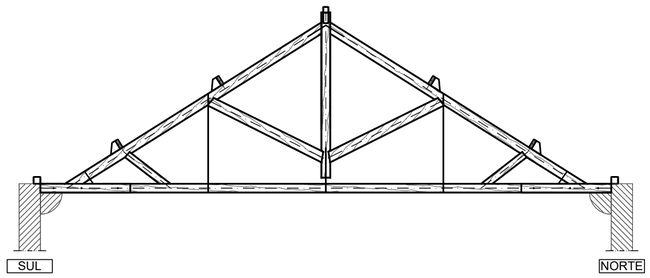
Asna A1-14

Esc. 1:100



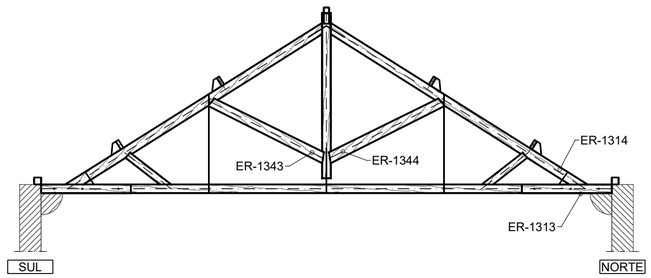
Asna A1-15

Esc. 1:100



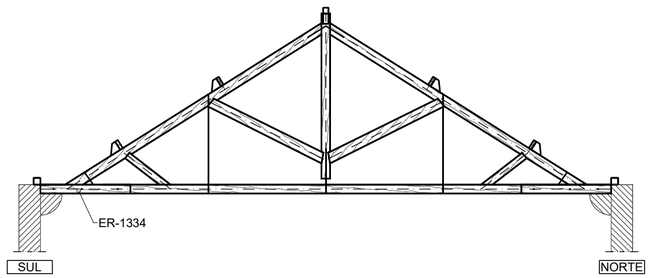
Asna A1-16

Esc. 1:100



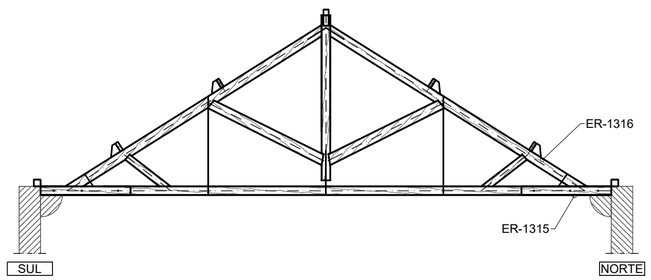
Asna A1-17

Esc. 1:100



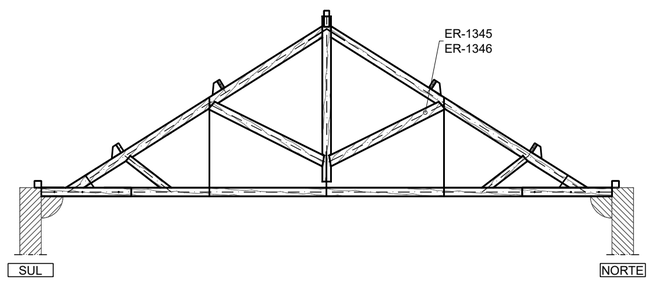
Asna A1-18

Esc. 1:100



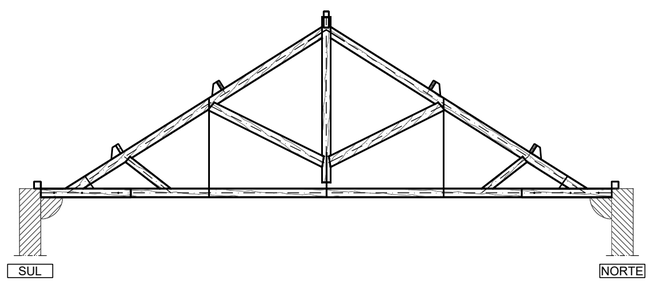
Asna A1-19

Esc. 1:100



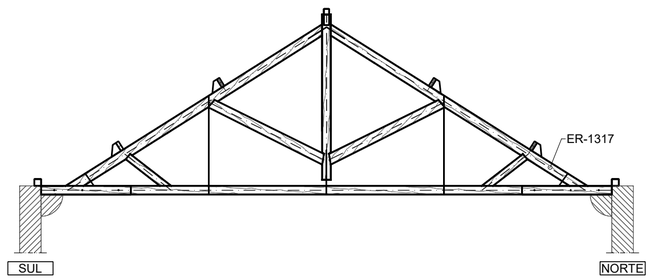
Asna A1-20

Esc. 1:100



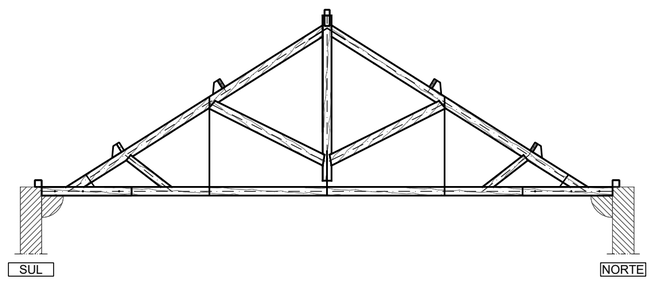
Asna A1-21

Esc. 1:100



Asna A1-22

Esc. 1:100



Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:

- ER - Ensaios com o Resistógrafo

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Ensaios - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	08	

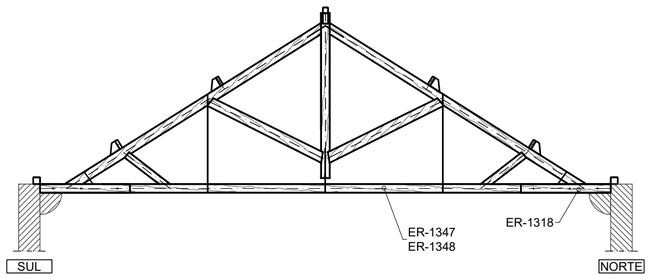
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

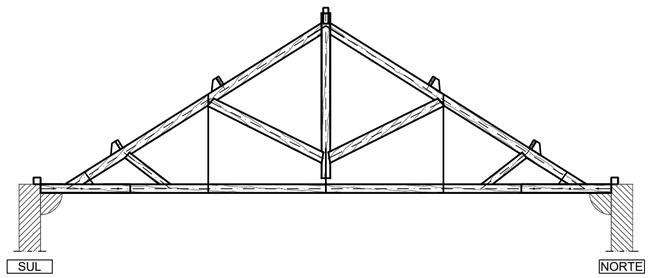
Asna A1-23

Esc. 1:100



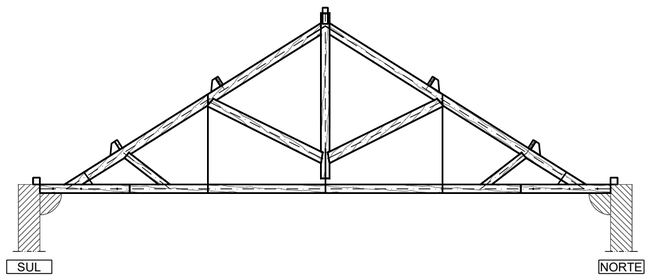
Asna A1-24

Esc. 1:100



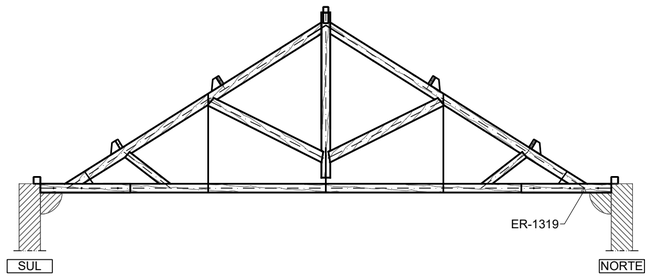
Asna A1-25

Esc. 1:100



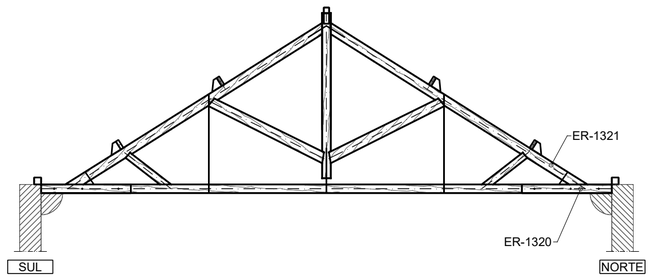
Asna A1-26

Esc. 1:100



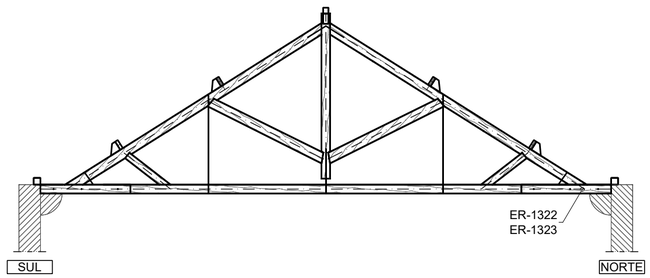
Asna A1-27

Esc. 1:100



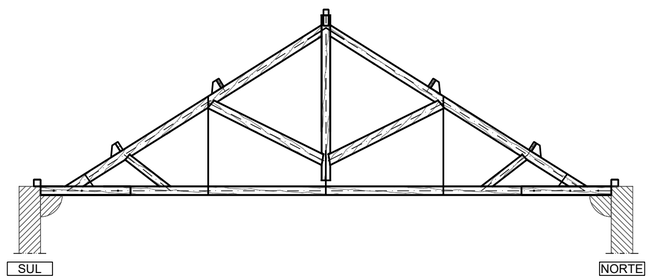
Asna A1-28

Esc. 1:100



Asna A1-29

Esc. 1:100



Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:

- ER - Ensaios com o Resistógrafo

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Ensaios - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	09	

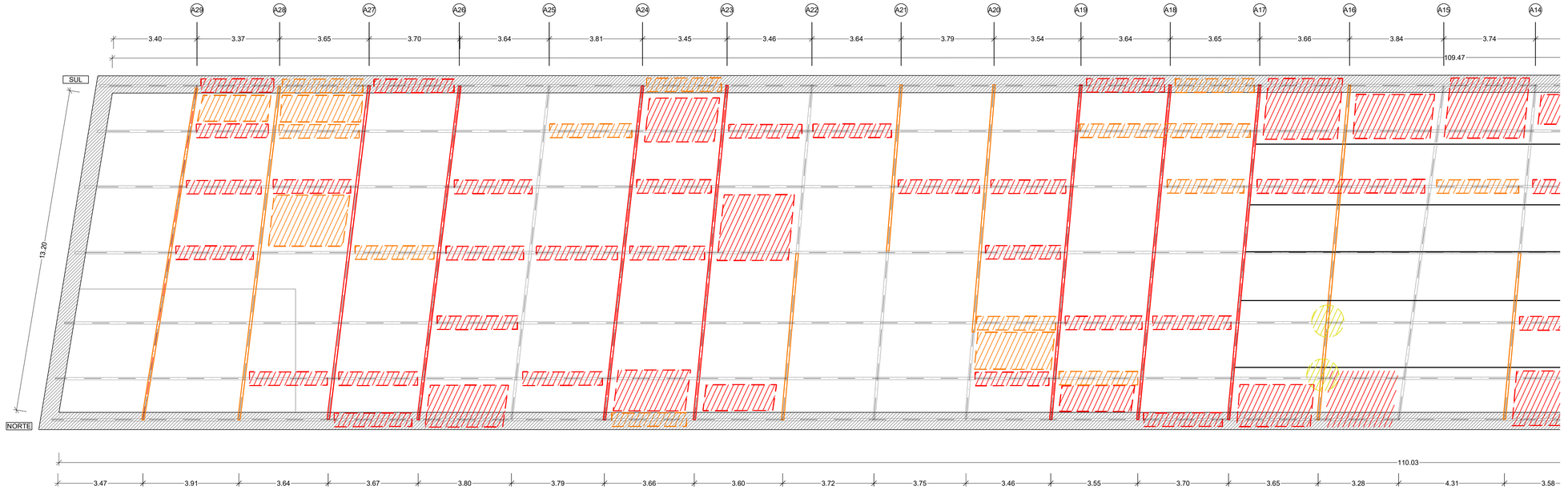
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

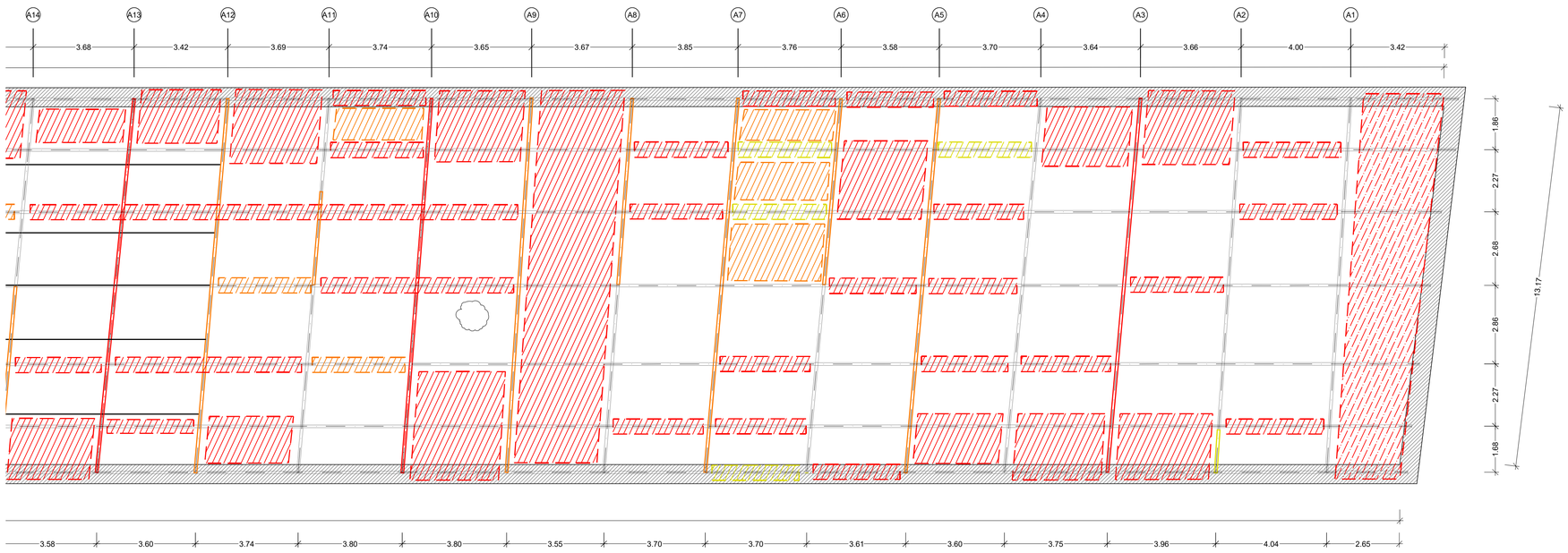
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Medidas de intervenções - Armazém 1

Esc. 1:100

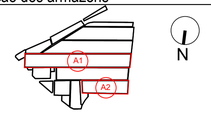




LEGENDA - INTERVENÇÃO	
ELEMENTOS PRINCIPAIS - ASNAS	
Reforço do elemento	
Substituição parcial de elementos da asna	
Substituição integral da asna	
ELEMENTOS SECUNDÁRIOS - MADRES/VARAS	
Reforço dos apoios das madres	
Reforço dos elementos (deformação)	
Substituição dos elementos	

Identificação dos armazéns

Sem escala



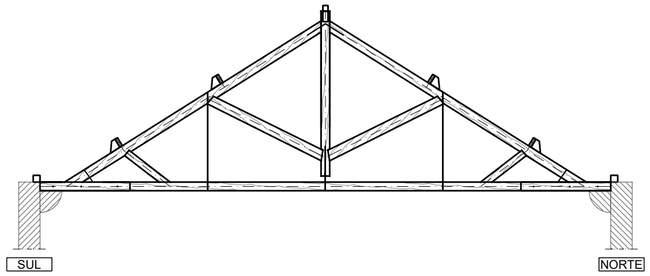
OBRA			DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspeção e Diagnóstico			04/2017	RID
DESIGNAÇÃO		PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Medidas de Intervenção - Armazém 1		NCREP_0769P0117	1:100	10
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU	
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI	

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

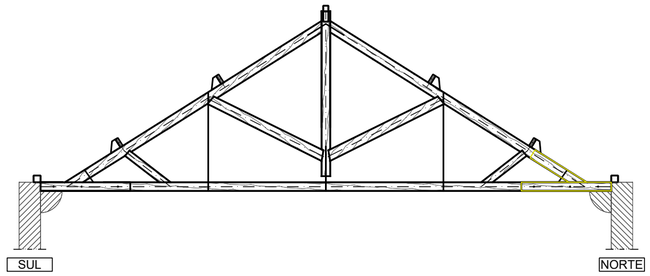
Asna A1-1

Esc. 1:100



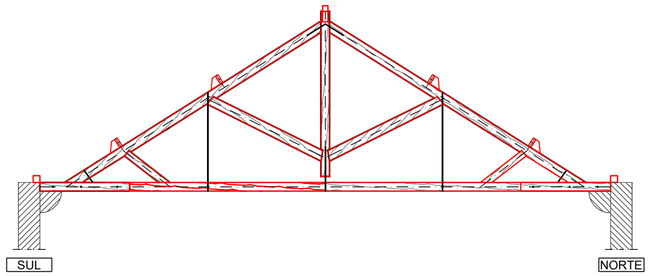
Asna A1-2

Esc. 1:100



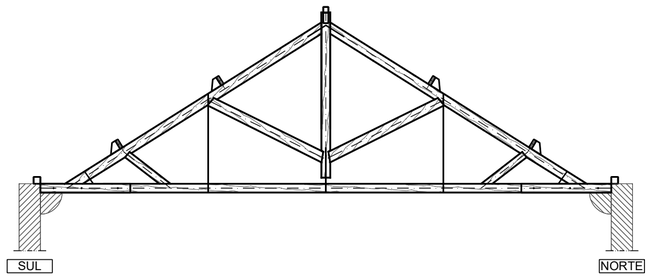
Asna A1-3

Esc. 1:100



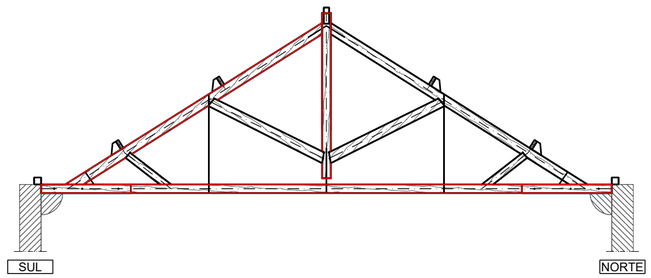
Asna A1-4

Esc. 1:100



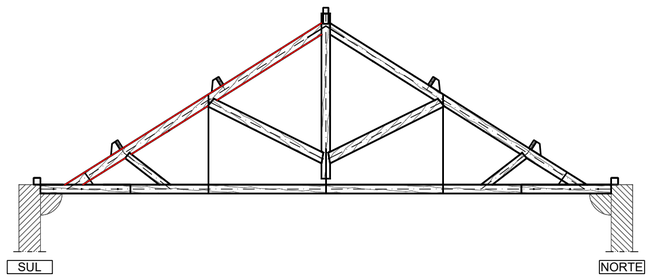
Asna A1-5

Esc. 1:100



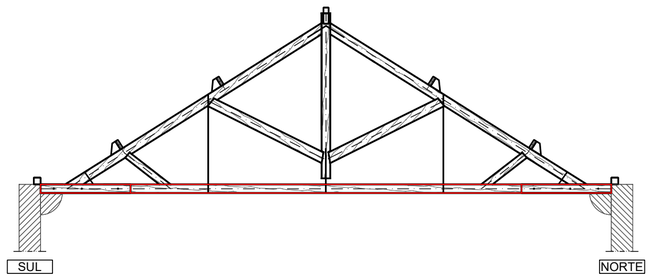
Asna A1-6

Esc. 1:100



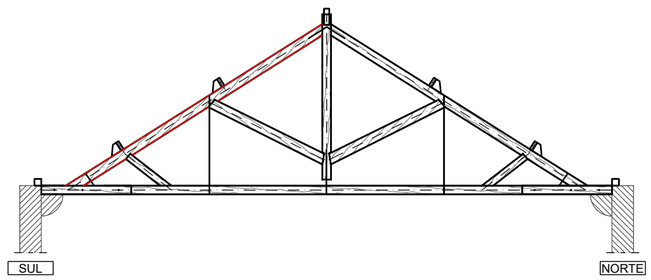
Asna A1-7

Esc. 1:100



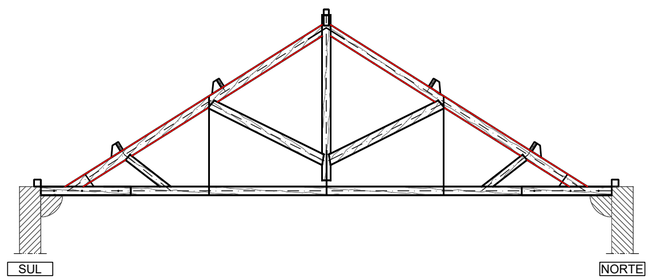
Asna A1-8

Esc. 1:100



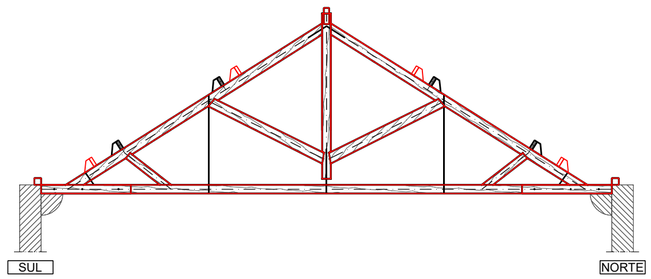
Asna A1-9

Esc. 1:100



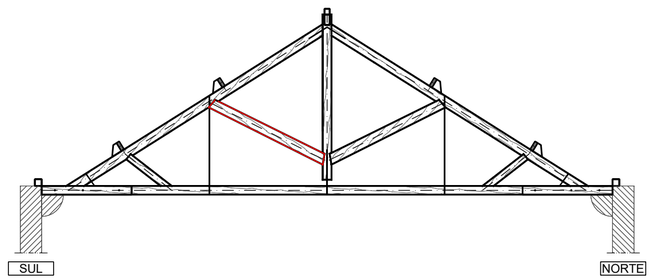
Asna A1-10

Esc. 1:100



Asna A1-11

Esc. 1:100



SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
Reforço do elemento	
Substituição do elemento	
Elemento a manter	

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Medidas de Intervenção - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	11	

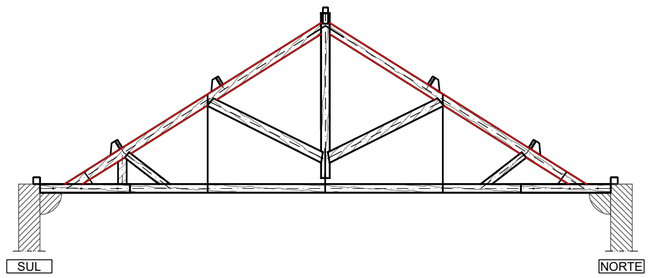
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

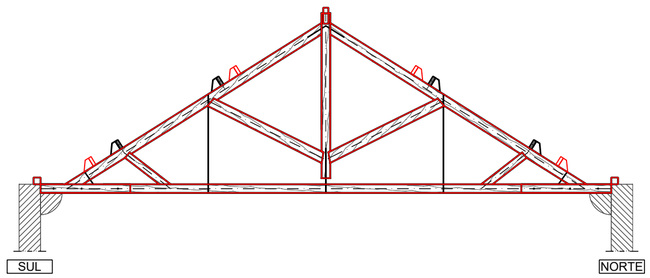
Asna A1-12

Esc. 1:100



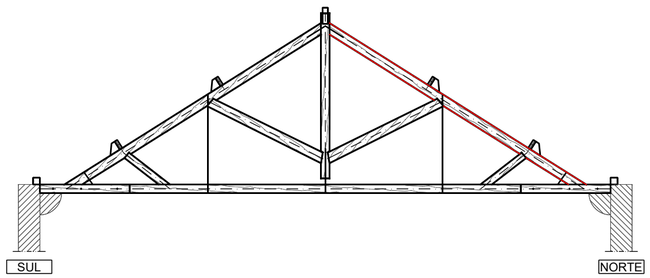
Asna A1-13

Esc. 1:100



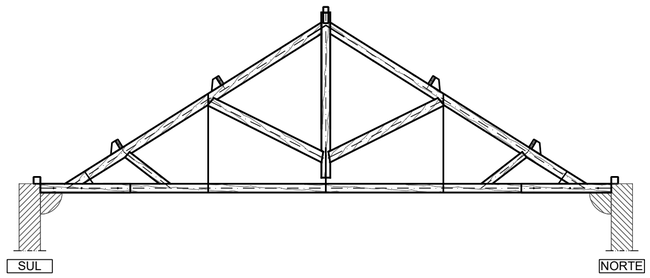
Asna A1-14

Esc. 1:100



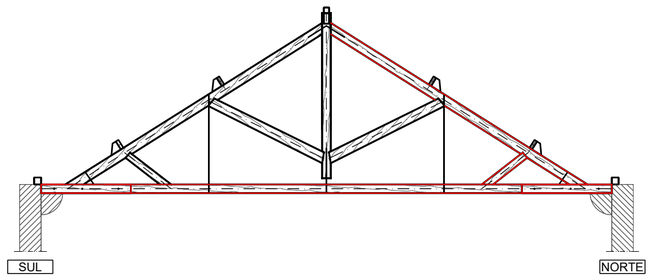
Asna A1-15

Esc. 1:100



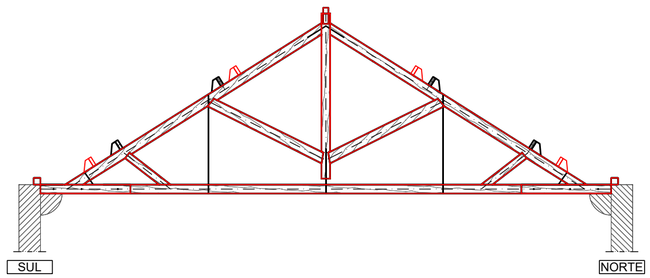
Asna A1-16

Esc. 1:100



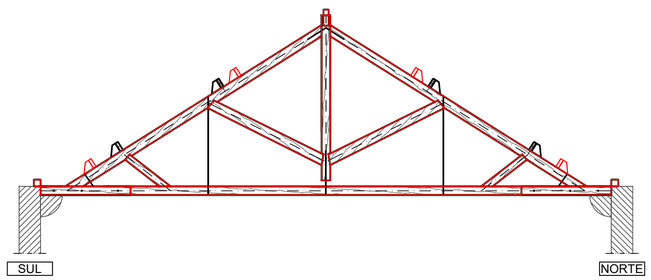
Asna A1-17

Esc. 1:100



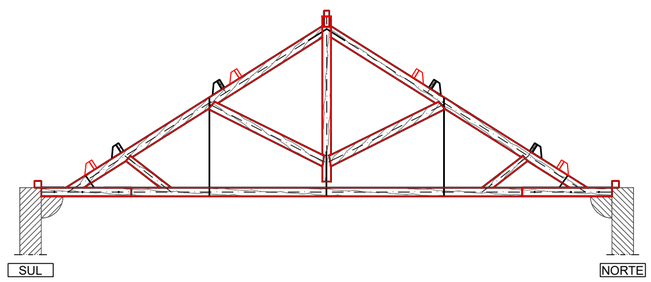
Asna A1-18

Esc. 1:100



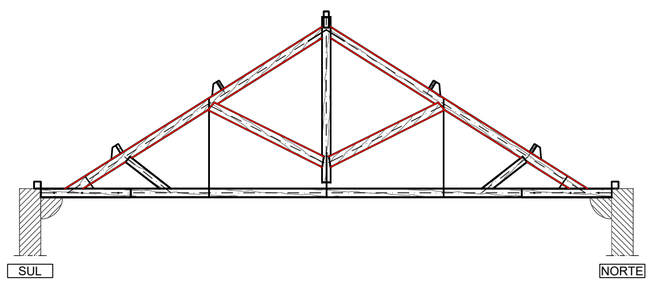
Asna A1-19

Esc. 1:100



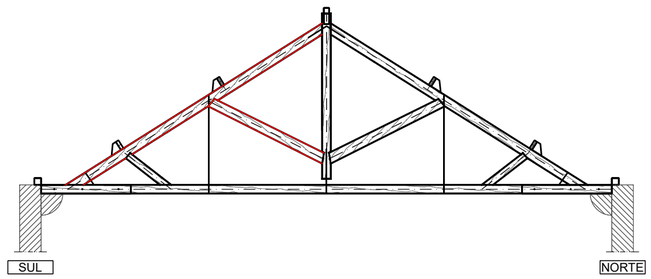
Asna A1-20

Esc. 1:100



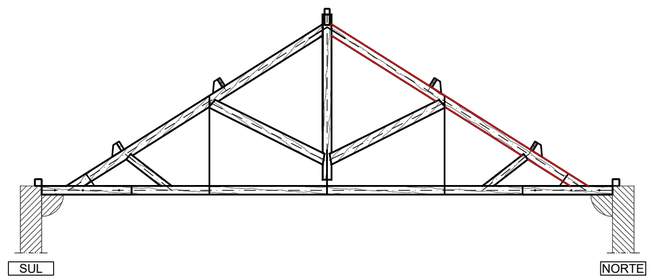
Asna A1-21

Esc. 1:100



Asna A1-22

Esc. 1:100



SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
Reforço do elemento	
Substituição do elemento	
Elemento a manter	

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Medidas de Intervenção - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	12	

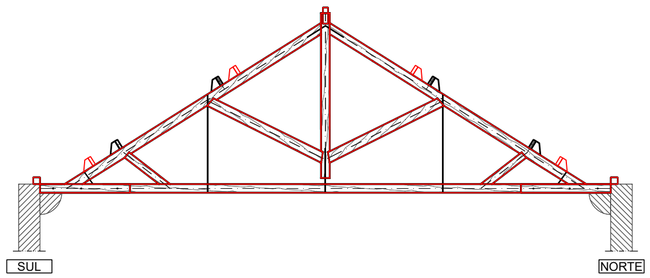
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

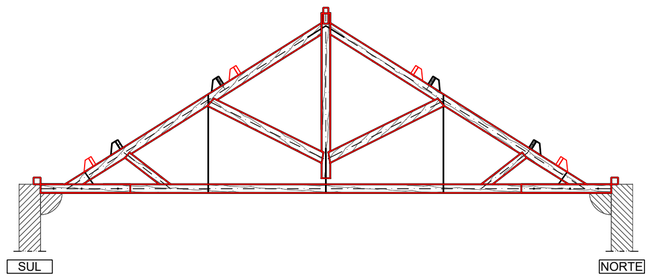
Asna A1-23

Esc. 1:100



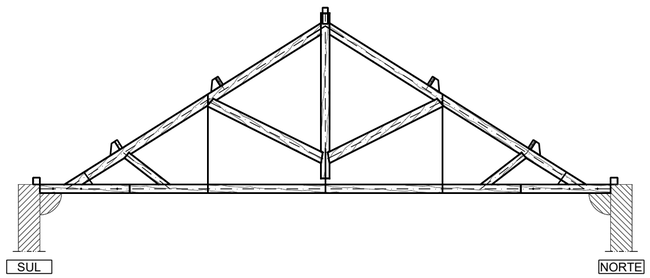
Asna A1-24

Esc. 1:100



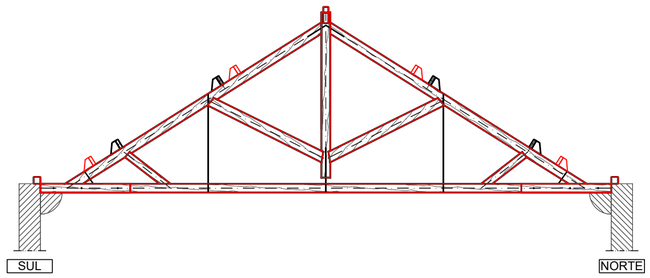
Asna A1-25

Esc. 1:100



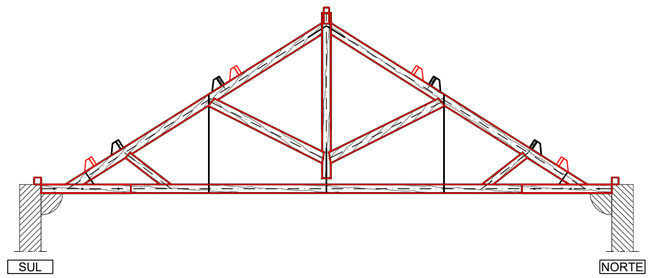
Asna A1-26

Esc. 1:100



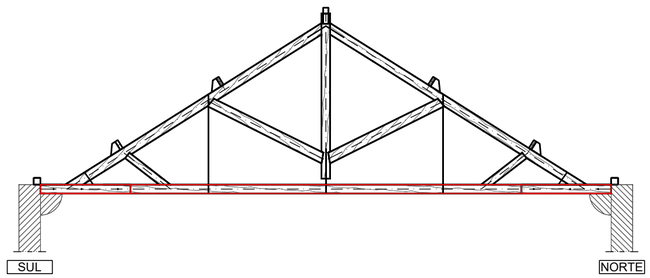
Asna A1-27

Esc. 1:100



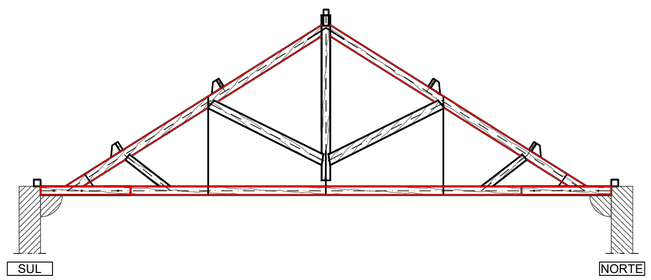
Asna A1-28

Esc. 1:100



Asna A1-29

Esc. 1:100



SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
Reforço do elemento	
Substituição do elemento	
Elemento a manter	

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Medidas de Intervenção - Armazém 1: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	13	

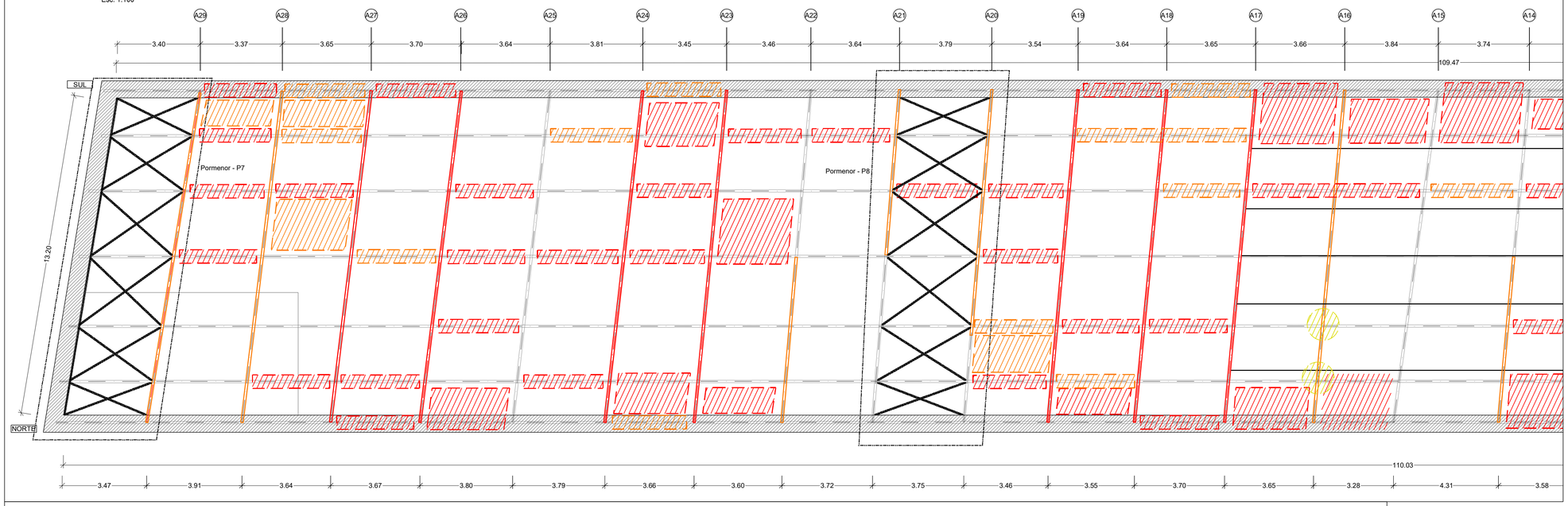
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

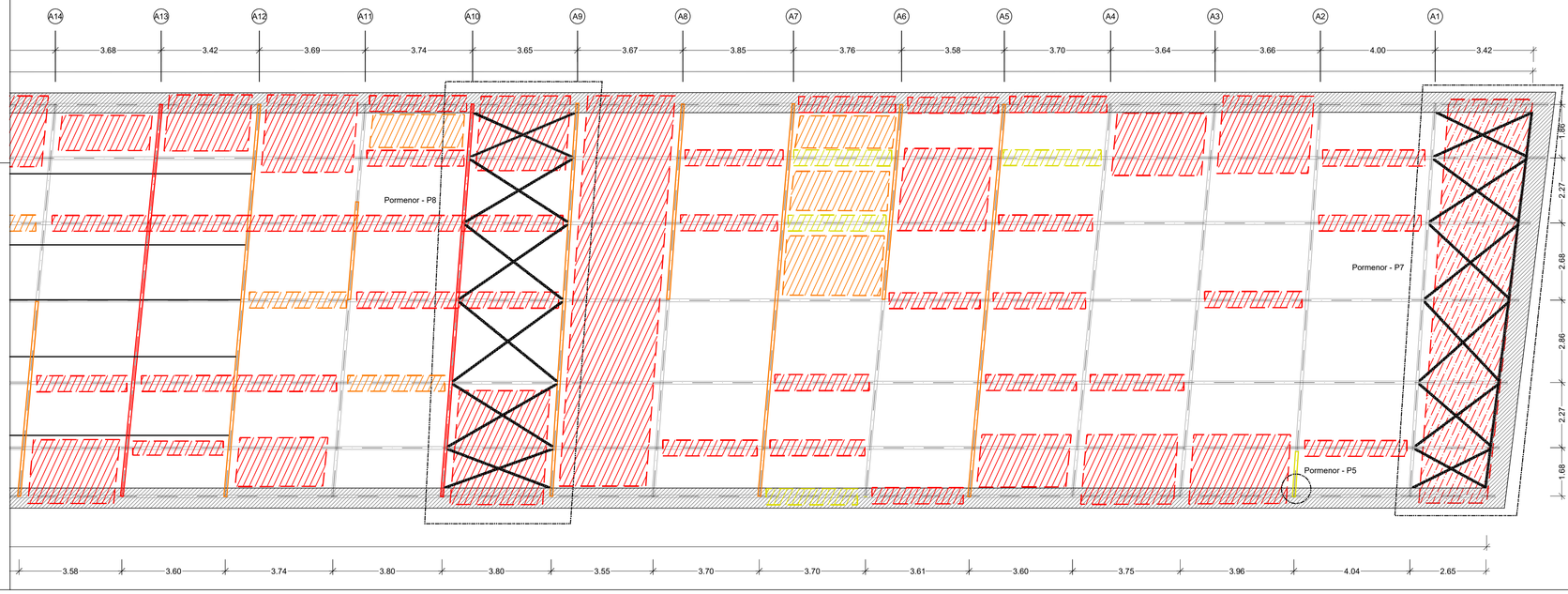
Este documento é propriedade de NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. não podendo ser copiado, reproduzido no todo ou em parte ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Projecto de intervenção - Armazém 1

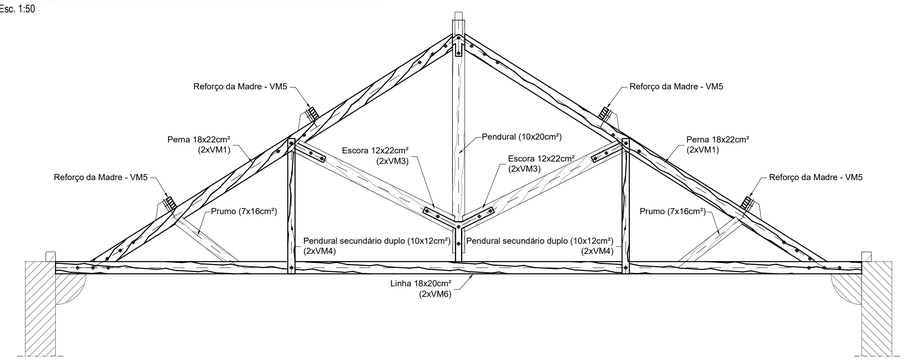
Esc. 1:100





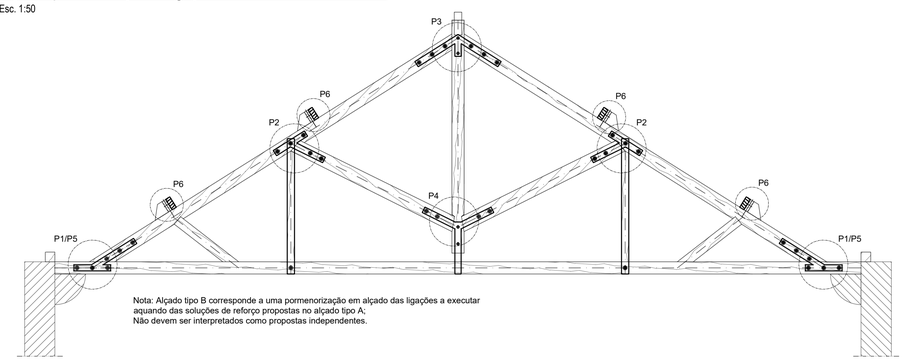
Alçado tipo A: Reforço das asnas

Esc. 1:50



Alçado tipo B: Reforço das ligações

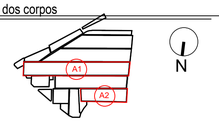
Esc. 1:50



Nota: Alçado tipo B corresponde a uma pormenorização em alçado das ligações a executar aquando das soluções de reforço propostas no alçado tipo A;
Não devem ser interpretados como propostas independentes.

Identificação dos corpos

Sem escala



Legenda

- Elemento madeira novo/empalme
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

LEGENDA - INTERVENÇÃO	
ELEMENTOS PRINCIPAIS - ASNAS	
Reforço do elemento	
Substituição parcial de elementos da asna	
Substituição integral da asna	
ELEMENTOS SECUNDÁRIOS - MADRES/VARAS	
Reforço dos apoios das madres	
Reforço dos elementos (deformação)	
Substituição dos elementos	VM - Nova Viga de madeira estrutural Maciça

NOVOS ELEMENTOS DE MADEIRA

Designação	Secção	Classe resistente
VM1	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM2	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM3	2x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM4	10x12cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM5	8x20cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM6	4x20cm²	GL24h (Lamelada colada)

LISTA DE INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO / REFORÇO A REALIZAR

- Melhoria da ligação entre as madres e as pernas das asnas através da introdução de parafusos do tipo HBS e de angulares da Rothoblaas ou equivalente;

-Substituição das escoras transversais as asnas, existente entre as cumeeiras e pendurais;

-Introdução de elementos metálicos para melhoria das ligações;

-Reforço das secções com recurso ao empalme das pernas, linha, escoras principais e madres;

-Introdução de pendurais secundários duplos;

-Substituição das madres junto a fachada Oeste e as restantes assinaladas em planta;

-Introdução de elementos de travamento ao nível das pernas entre as asnas e as paredes Este/Oeste assim como entre as asnas A9-A10 e A20-A21;

- Reabilitação global da cobertura através da realização dos seguintes trabalhos: a) Limpeza e aspiração de todos os elementos de madeira; b) Aplicação de um produto de tratamento contra insectos e fungos xilófagos do tipo Xilophene S.O.R. 40 ou equivalente, por injecção em todos os elementos estruturais.

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira maciça serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento em autoclave de duplo vácuo com um produto do tipo Xylophene S.O.R.40 ou equivalente (INCOLOR).
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço	04/2017	EXE

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Projecto de execução - Armazém A1	NCREP_0769P0117	VÁRIAS	14	

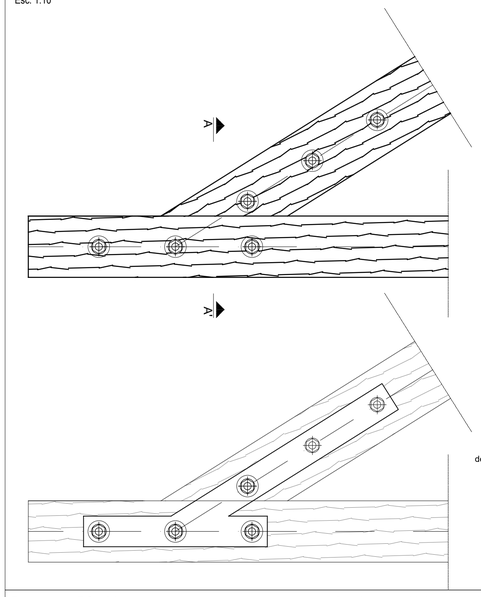
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

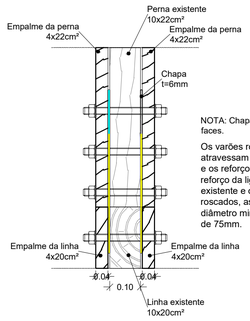
NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Pormenor P1 - Ligação entre a linha e perna com chapa interna

Esc. 1:10

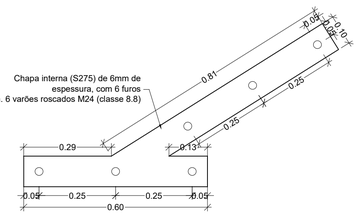


Corte A-A':



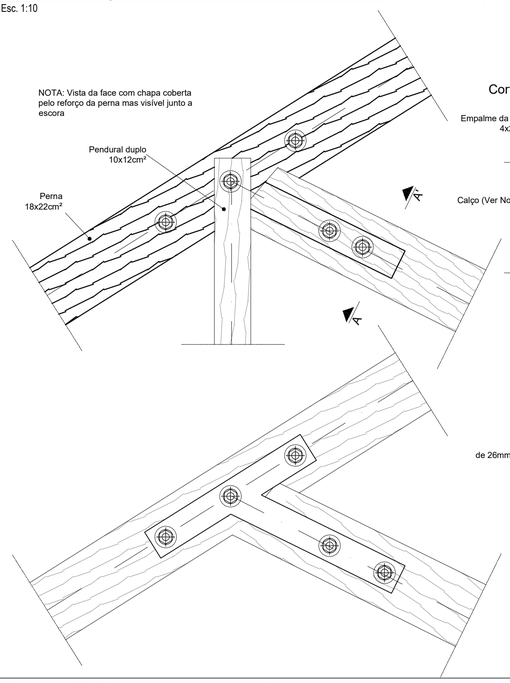
NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Os varões roscados colocados atravessam os elementos existentes e os reforços, ficando as chapas de reforço da ligação entre a madeira existente e os empalmes. Nos varões roscados, as anilhas têm um diâmetro mínimo exterior obrigatorio de 75mm.

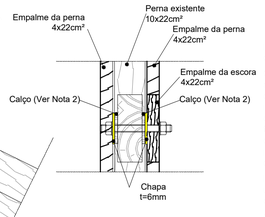


Pormenor P2 - Ligação entre a perna, escora e pendural secundário com chapa interna

Esc. 1:10



Corte A-A':



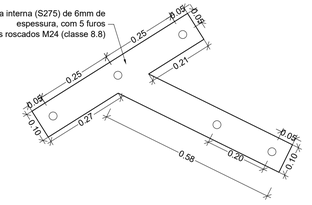
NOTA: Pendural duplo colocado pelo exterior dos reforços.

Os varões roscados colocados atravessam os elementos existentes e os reforços, ficando as chapas de reforço da ligação entre a madeira existente e os empalmes. Excepção feita para a escora em que o reforço é executado numa face só, permanecendo na face oposta a chapa a vista.

Nos varões roscados, as anilhas têm um diâmetro mínimo exterior obrigatorio de 75mm.

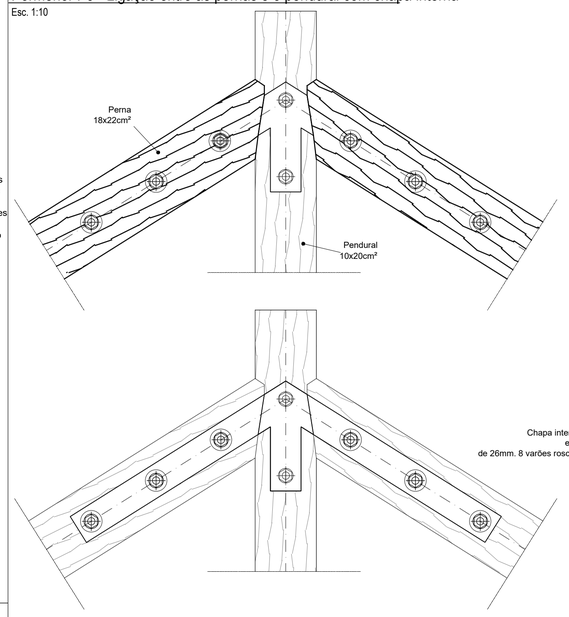
O calço, de dimensão ajustar no local, deverá vencer a diferença entre largura da perna e escora de forma a chapa permanece alinhada com a face exterior existente da perna.

Chapas colocadas nas duas faces.



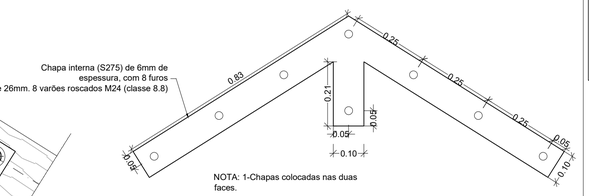
Pormenor P3 - Ligação entre as pernas e o pendural com chapa interna

Esc. 1:10



NOTA: Os varões roscados colocados atravessam os elementos existentes e os reforços, ficando as chapas de reforço da ligação entre a madeira existente e os empalmes. Nos varões roscados, as anilhas têm um diâmetro mínimo exterior obrigatorio de 75mm.

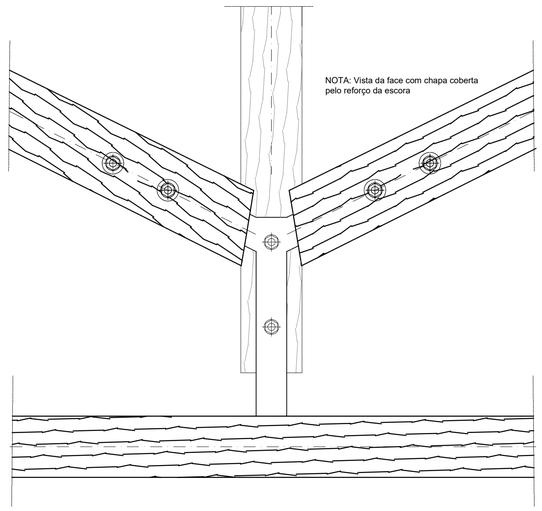
Chapas colocadas nas duas faces.



NOTA: 1-Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P4 - Ligação entre as escoras, pendural e linha com chapa interna

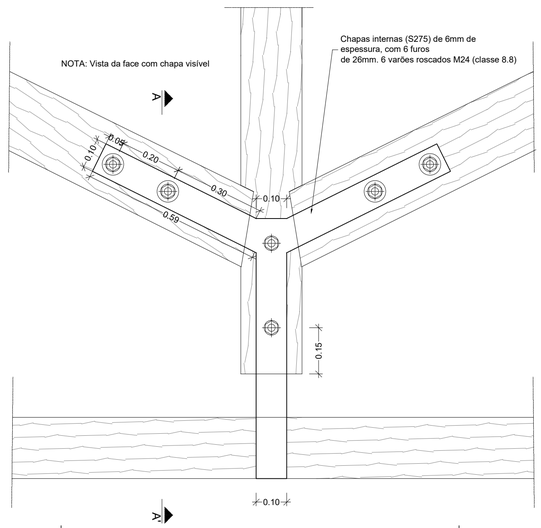
Esc. 1:10



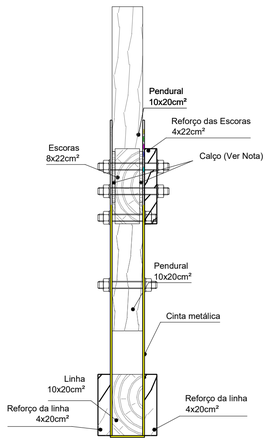
NOTA: Os varões roscados colocados atravessam os elementos existentes e os reforços, ficando numa face as chapas de reforço da ligação entre a madeira existente e os empalmes. Na face oposta a chapa de ligação permanece a visível. Nos varões roscados, as anilhas têm um diâmetro mínimo exterior obrigatorio de 75mm.

Chapas colocadas nas duas faces.

O calço, de dimensão ajustar no local, decerá vencer a diferença entre largura da escora e o pendural de forma a chapa permanece alinhada com a face exterior existente do pendural.

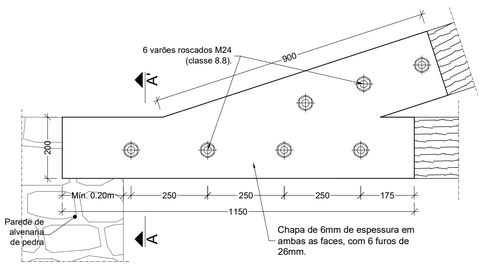


Corte A-A':

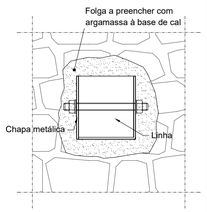


Pormenor P5 - Reforço do apoio Norte da linha/perna da asna A2 na parede de alvenaria

Esc. 1:10



Corte A-A':

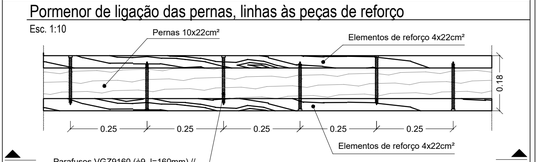


NOTA: Execução idêntica ao Pormenor 1.

Os varões roscados colocados atravessam os elementos existentes e os reforços da ligação entre a madeira existente e os emplames. Nos varões roscados, as anilhas têm um diâmetro mínimo externo obrigatório de 75mm.

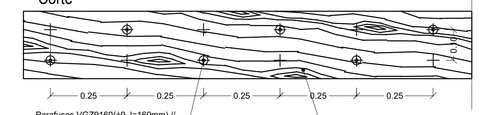
Pormenor de ligação das pernas, linhas às peças de reforço

Esc. 1:10



Parafusos VGZ9160 (ϕ9, l=160mm) // 0,25m da Rothoblaas ou equivalente - aplicados em todo o comprimento das vigas (em quincôncio)

Corte

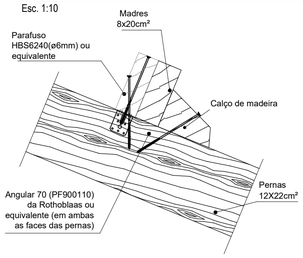


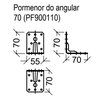
Parafusos VGZ9160(ϕ9, l=160mm) // 0,25m da Rothoblaas ou equivalente - aplicados em todo o comprimento das vigas (em quincôncio)

NOTA: Este esquema deve ser também utilizado nos restantes elementos estruturais que tenham peças de reforço, nomeadamente as linhas e escoras principais.

Pormenor P6 - Reforço e fixação das madres as pernas das asnas

Esc. 1:10

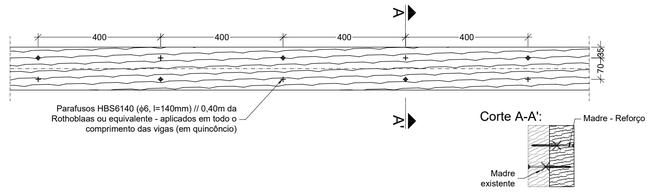




NOTA: A ligação dos angulares 70 aos elementos de madeira será feita com pregos Anker, Parafusos e Ancoradores aparafusáveis

Pormenor P6 - Ligação da madre de reforço com a madre existente

Esc. 1:10



Corte A-A':



Legenda

- Elemento madeira novo/empalme
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

NOVOS ELEMENTOS DE MADEIRA

Designação	Secção	Classe resistente
VM1	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM2	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM3	2x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM4	10x12cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM5	8x20cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM6	4x20cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM - Nova Viga de madeira estrutural Maciça		

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira maciça serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento em autoclave de duplo vácuo com um produto do tipo Xylophene S.O.R.40 ou equivalente (INCOLOR).
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

AÇOS	
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 (Varões de ancoragem)

SOLDADURA

Soldadura:
- A espessura efectiva do cordão de soldadura $a \geq 0.7\,e$ será 0.7 da menor espessura a soldar ou 5mm.
- O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS).

ESQUEMAS DE PINTURA

ESQUEMA DE PINTURA PARA ELEMENTOS METÁLICOS ENTERRADOS
- Os elementos estruturais enterrados deverão levar um esquema de pintura para protecção anticorrosiva de alta durabilidade para categoria de imersão em solo Im3, de acordo com a NP EN ISO 12944-5, à base de Epoxy de Alcatrão de acordo com as especificações preconizadas pelo C-POX CT940 da CIN, ou equivalente.

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.

PINTURA ESQUEMA EPOXY
- Decapagem a jacto abrasivo grau Sa 2(1/2)
- Camada de Primário anticorrosivo epoxy em Zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40mµ
- Subcapa intermédia de resina epoxy de dois componentes de alta espessura - 110 µ
- Esmalte de acabamento epoxy de dois componentes - 50 µ

FABRICO DA ESTRUTURA METÁLICA

- Antes de se iniciar o fabrico da estrutura, todas as dimensões relativas a elementos existentes deverão ser confirmadas no local da obra.
- Todas as cotas de implantação das estrutura metálicas devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço	04/2017	EXE

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Projecto de execução - Armazém A1	NCREP_0769P0117	1:10	15	

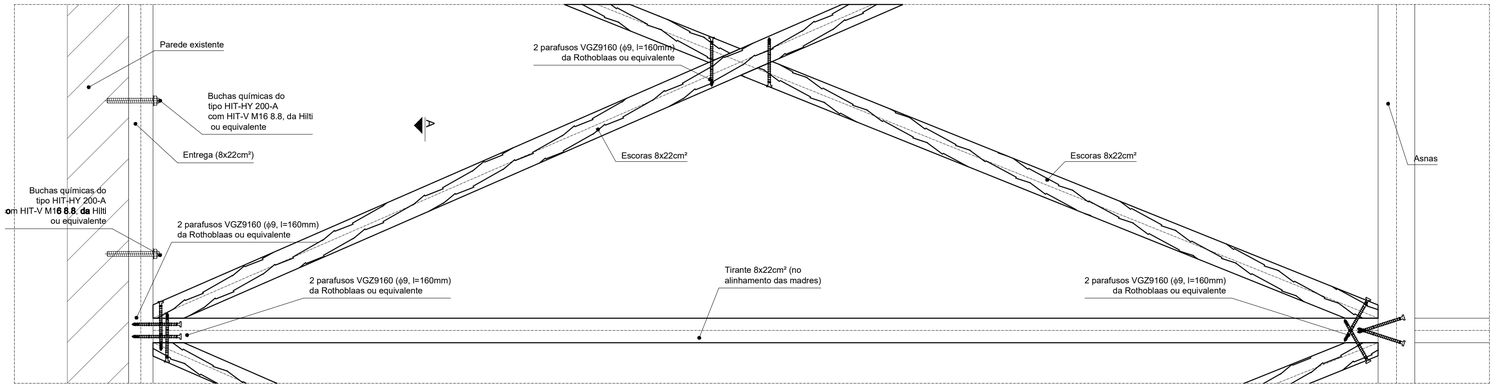
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Pormenor P7 - Entrega dos elementos de travamento na parede Este e Oeste

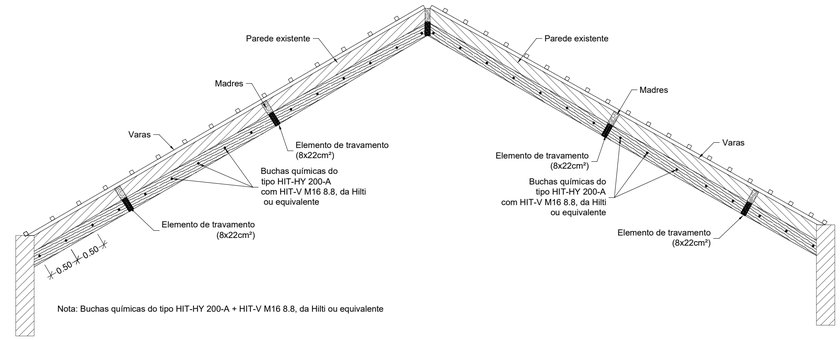
Esc. 1:10



NOTA: As escoras e os tirantes 8x22cm² estarão alinhados pelo topo das pernas das asnas (A1, A29, A9-A10 e A20-A21)

Alçado Tipo: Substituição das ligações dos elementos de travamento na parede - Corte A-A'

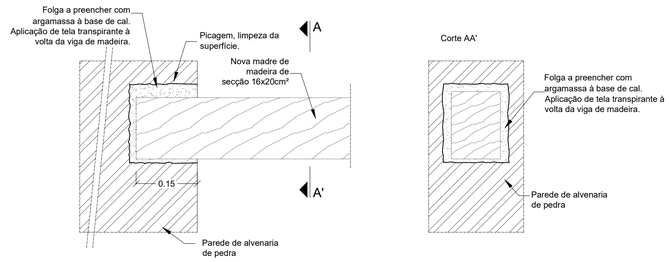
Esc. 1:50



Nota: Buchas químicas do tipo HIT-HY 200-A + HIT-V M16 8.8, da Hilti ou equivalente

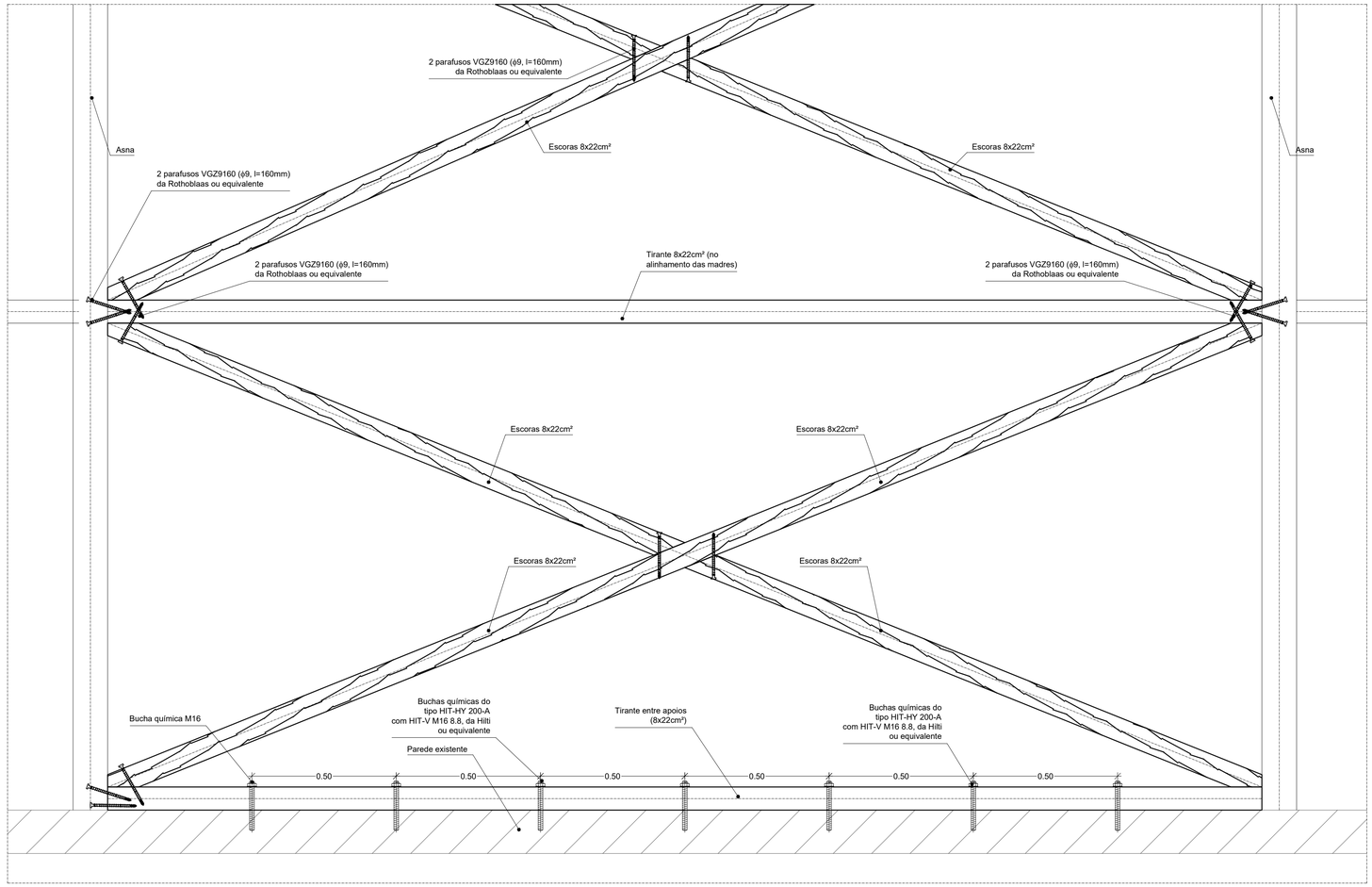
Pormenor- Entrega das madres na parede de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



Pormenor P8 - Ligação das pernas aos elementos de travamento - Asnas A9-A10 e A20-A21

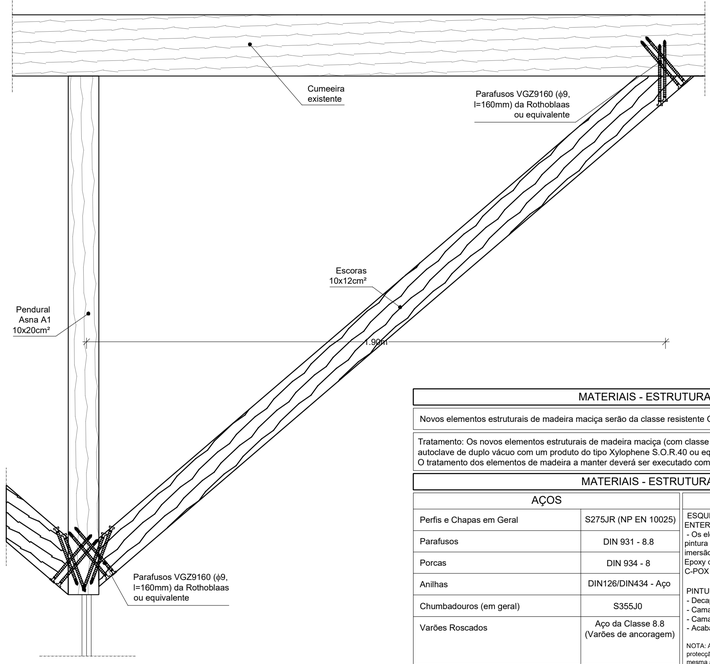
Esc. 1:10



NOTA: As escoras e os tirantes 8x22cm² estarão alinhados pelo topo das pernas das asnas (A1, A29, A9-A10 e A20-A21)

Pormenor de reforço da ligação das novas escoras entre as cumeeiras e os pendurais das asnas

Esc. 1:10



Legenda

- Elemento madeira novo/empalme
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

NOVOS ELEMENTOS DE MADEIRA

Designação	Secção	Classe resistente
VM1	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM2	4x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM3	2x22cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM4	10x12cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM5	8x20cm²	GL24h (Lamelada colada)
VM6	4x20cm²	GL24h (Lamelada colada)

VM - Nova Viga de madeira estrutural Maciça

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira maciça serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento em autoclave de duplo vácuo com um produto do tipo Xylophene S.O.R.40 ou equivalente (INCOLOR).
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

AÇOS	
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 (Varões de ancoragem)

SOLDADURA

Soldadura:
- A espessura efectiva do cordão de soldadura será 0.7 da menor espessura a soldar ou 5mm.
- O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS).

ESQUEMAS DE PINTURA

ESQUEMA DE PINTURA PARA ELEMENTOS METÁLICOS ENTERRADOS
- Os elementos estruturais enterrados deverão levar um esquema de pintura para protecção anticorrosiva de alta durabilidade para categoria de imersão em solo Im3, de acordo com a NP EN ISO 12944-5, à base de Epoxy de Alcatrão de acordo com as especificações preconizadas pelo C-POX CT940 da CIN, ou equivalente.

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.

PINTURA ESQUEMA EPOXY
- Decapagem a jacto abrasivo grau Sa 2(1/2)
- Camada de Primário anticorrosivo epoxy em Zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40mµ
- Subcapa intermédia de resina epoxy de dois componentes de alta espessura - 110 µ
- Esmalte de acabamento epoxy de dois componentes - 50 µ

FABRICO DA ESTRUTURA METÁLICA

- Antes de se iniciar o fabrico da estrutura, todas as dimensões relativas a elementos existentes deverão ser confirmadas no local da obra.
- Todas as cotas de implantação das estrutura metálicas devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

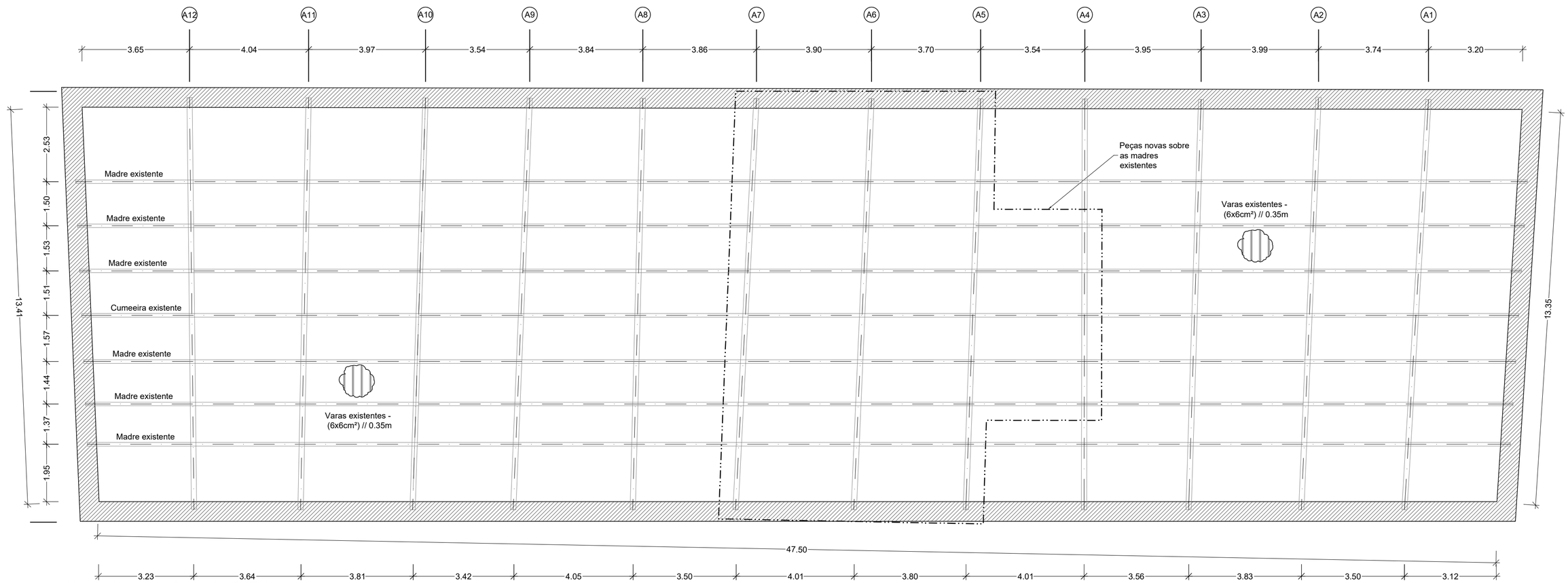
OBRA: Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço			DATA: 04/2017	FASE DO PROJECTO: EXE
DESIGNAÇÃO: Projecto de execução - Armazém A1		PROCESSO: NCREP_0769P0117	ESCALA: VÁRIAS	DESENHO N.º: 16
PROJECTOU: AAC, LF, TI	DESENHOU: GC	APROVOU: AAC, TI	VERIFICOU: AAC, TI	REV. N.º

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

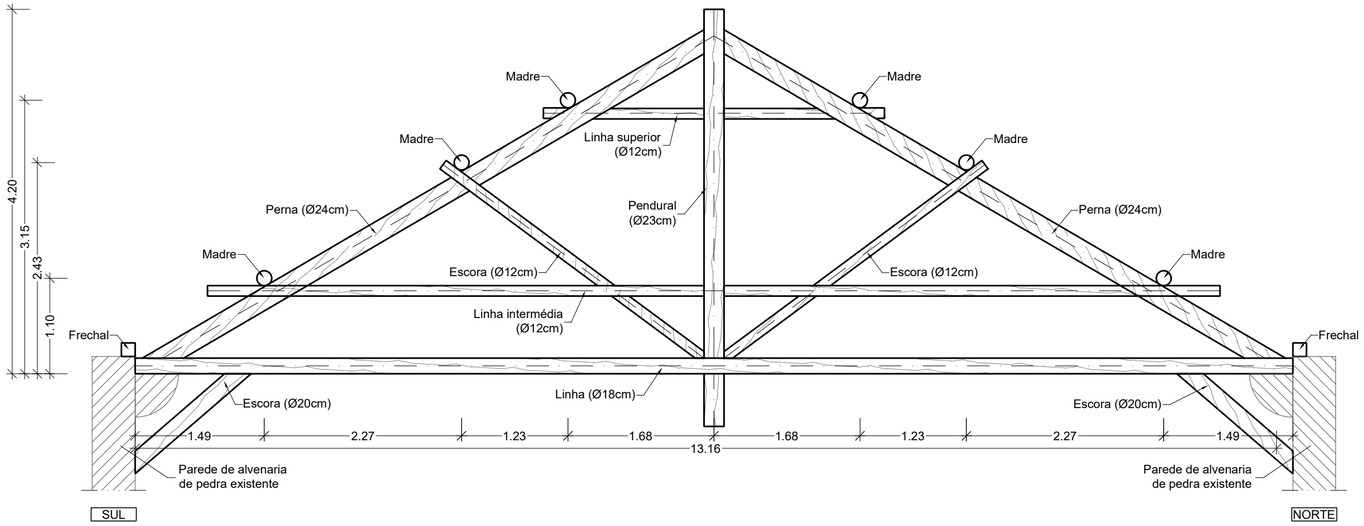
Levantamento estrutural - Armazém 2 (Existente)

Esc. 1:100



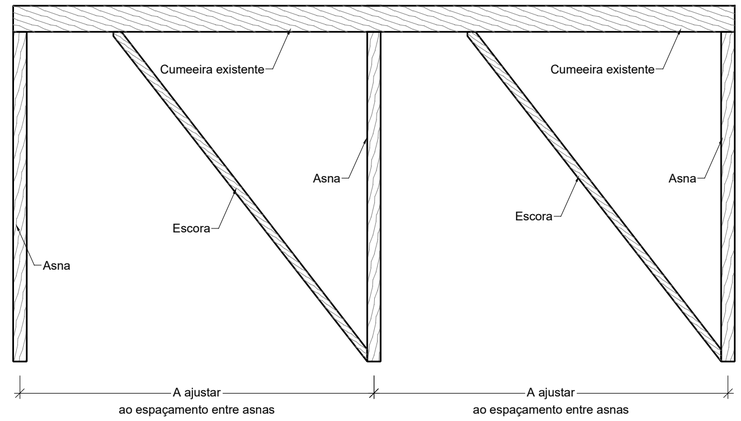
Alçado tipo asna: Armazém 2 (Existente)

Esc. 1:50



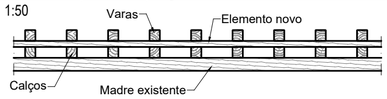
Esquema/Alçado tipo de ligação da cumeeira à escora (Existente)

Esc. 1:50



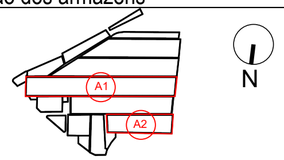
Pormenor tipo das peças novas sobre madres existentes

Esc. 1:50



Identificação dos armazéns

Sem escala



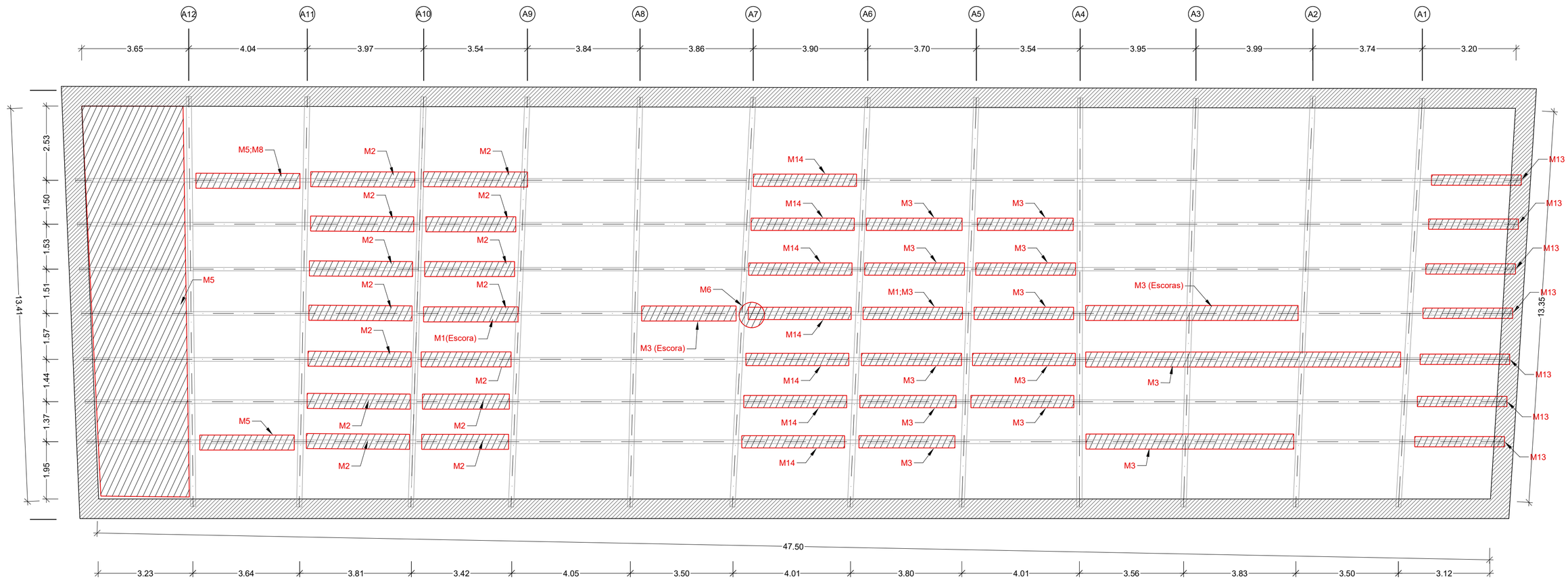
OBRA: Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico			DATA: 04/2017	FASE DO PROJECTO: RID
DESIGNAÇÃO: Levantamento estrutural - Armazém 2	PROCESSO: NCREP_0769P0117	ESCALA: VÁRIAS	DESENHO N.º: 01	REV. N.º
PROJECTOU: AAC, GC, LF, TI	DESENHOU: GC	APROVOU: AAC, TI	VERIFICOU: AAC, TI	

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Mapeamento de danos - Armazém 2 (Cumeeira e madres)

Esc. 1:100

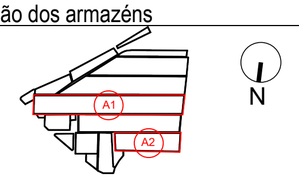


NOTA: Planta de representação de danos referente aos elementos de cumeeira e madres, os restantes danos encontram-se individualizados pelas respectivas asnas nos alçados de asnas.

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6
Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

Identificação dos armazéns

Sem escala



OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico		04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Mapeamento de danos - Armazém 2	NCREP_0769P0117	1:100	02

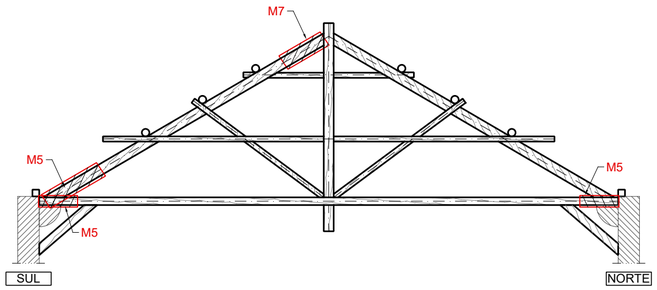
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

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

NCREP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

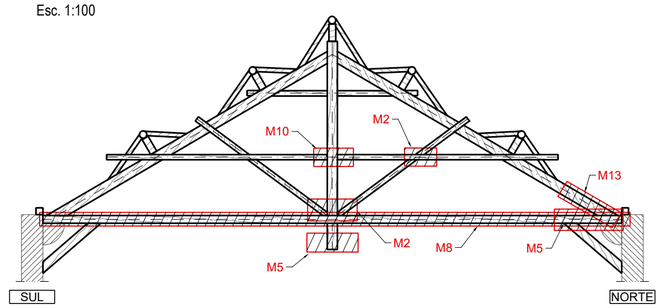
Asna A2-1

Esc. 1:100



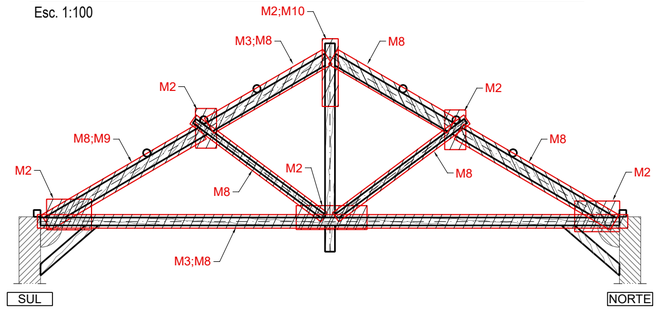
Asna A2-2

Esc. 1:100



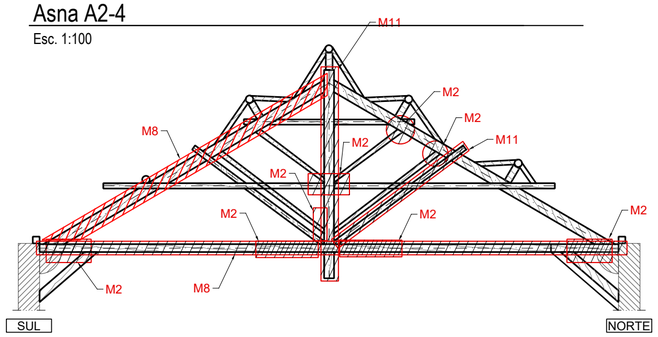
Asna A2-3

Esc. 1:100



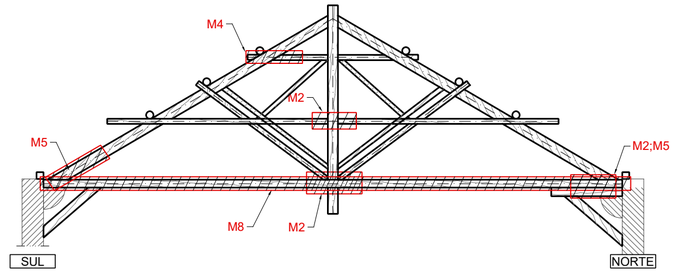
Asna A2-4

Esc. 1:100



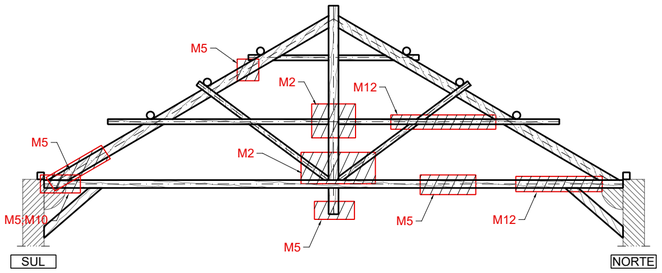
Asna A2-5

Esc. 1:100



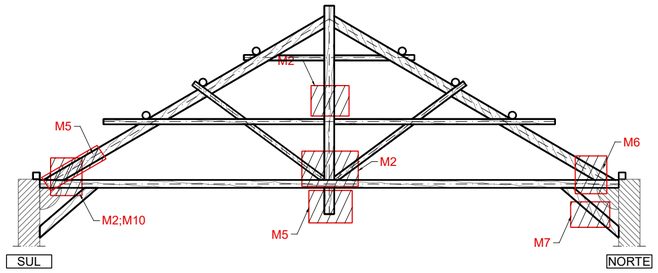
Asna A2-6

Esc. 1:100



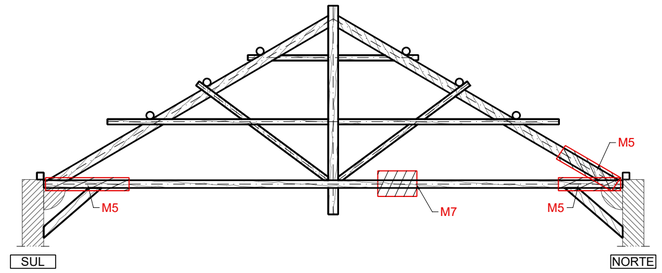
Asna A2-7

Esc. 1:100



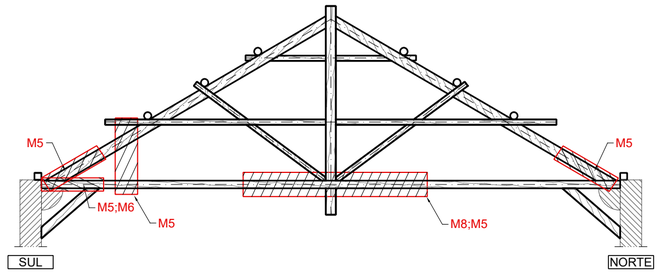
Asna A2-8

Esc. 1:100



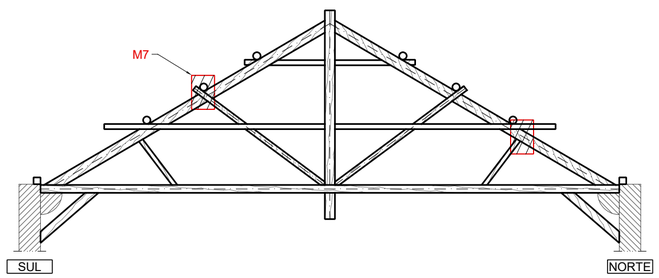
Asna A2-9

Esc. 1:100



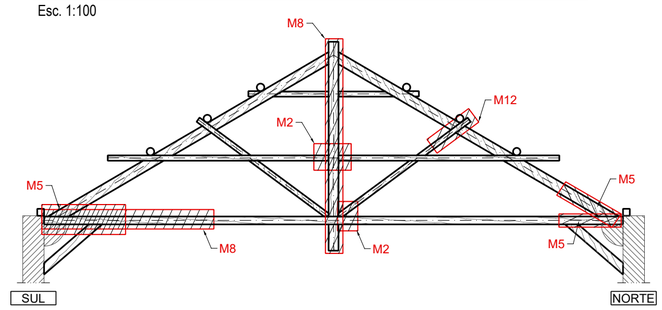
Asna A2-10

Esc. 1:100



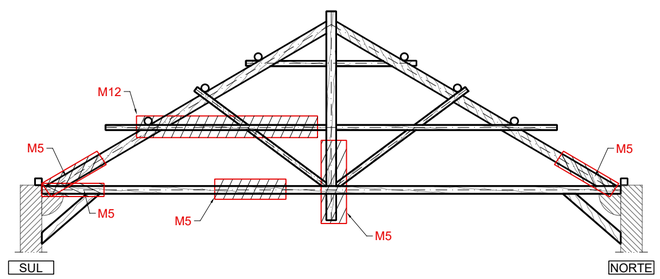
Asna A2-11

Esc. 1:100



Asna A2-12

Esc. 1:100



DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS DE MADEIRA	
Encurvadura	M1
Ligação deficiente	M2
Degradação por ataque de Caruncho	M3
Elementos com empeno	M4
Degradação por ataque de insetos sociais (Térmitas)	M5
Degradação do apoio	M6

Rotura	M7
Deformação vertical	M8
Torção do elemento	M9
Abertura nas ligações entre elementos	M10
Humidade	M11
Fendas	M12
Degradação por ataque de fungos	M13
Mau posicionamento dos elementos	M14

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico	04/2017	RID

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Mapeamento de danos - Armazém 2: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	03	

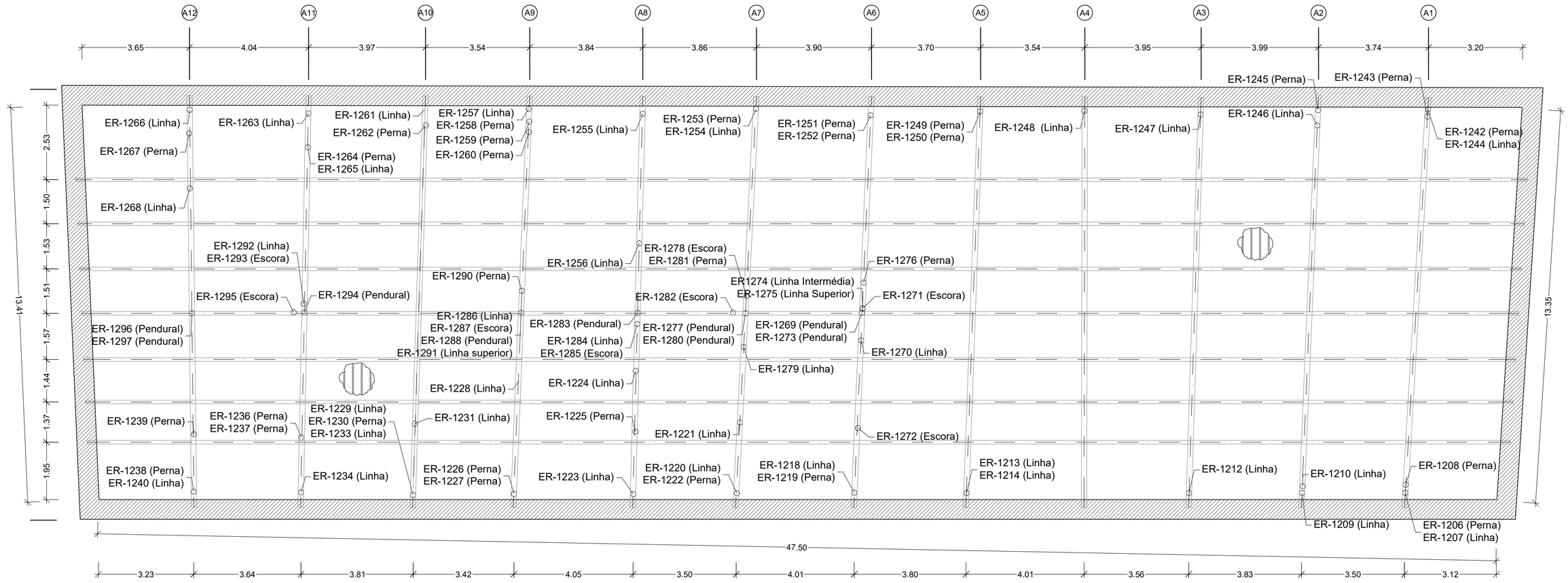
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

Ensaios - Armazém 2

Esc. 1:100



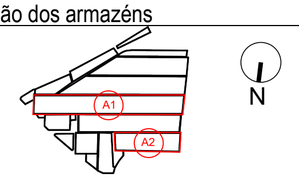
Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:

- ER - Ensaios com o Resistógrafo

Identificação dos armazéns

Sem escala



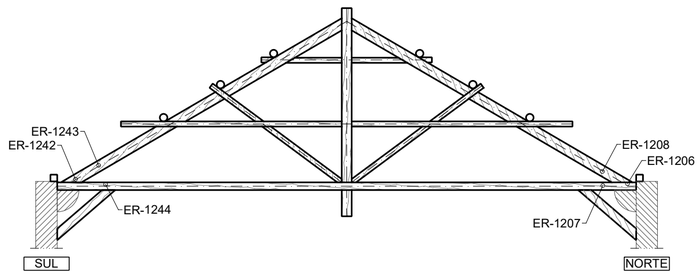
OBRA			DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico			04/2017	RID
DESIGNAÇÃO		PROCESSO	ESCALA / DESENHO N.º / REV. N.º	
Ensaios - Armazém 2		NCREP_0769P0117	1:100 / 04	
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU	
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI	

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

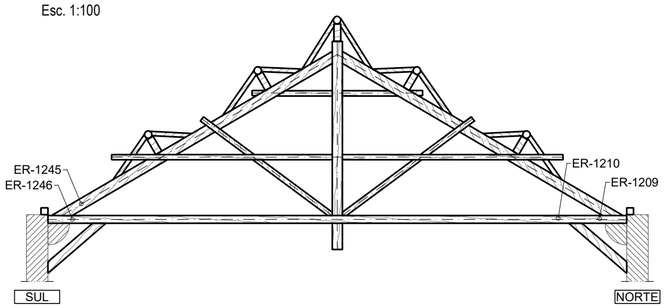
Asna A2-1

Esc. 1:100



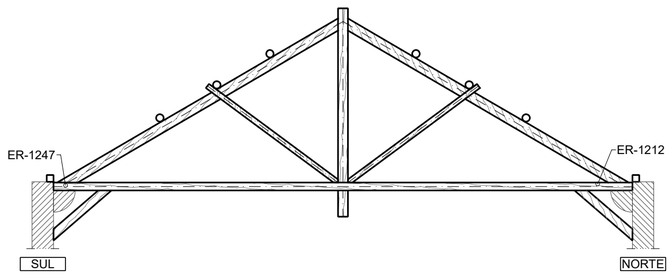
Asna A2-2

Esc. 1:100



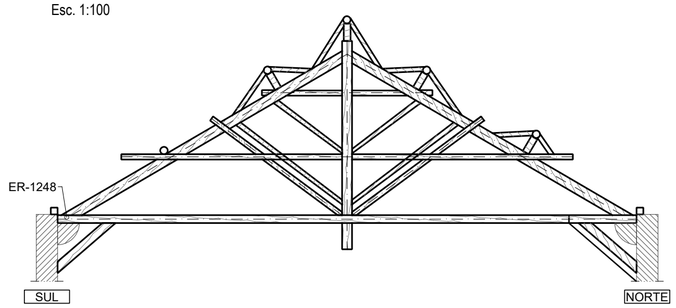
Asna A2-3

Esc. 1:100



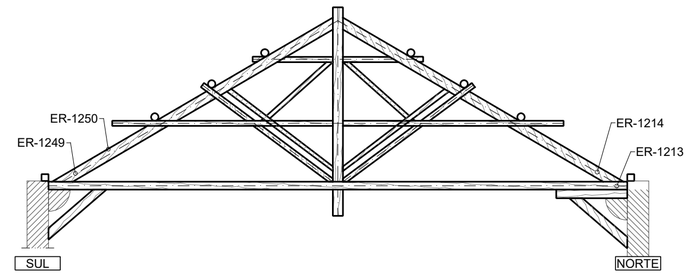
Asna A2-4

Esc. 1:100



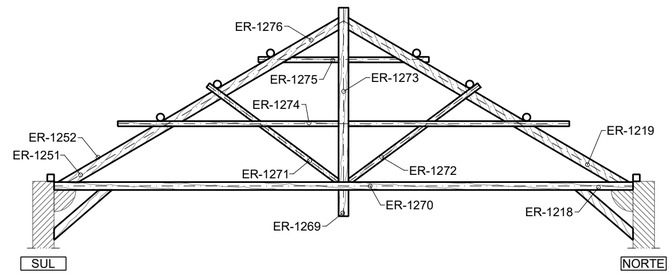
Asna A2-5

Esc. 1:100



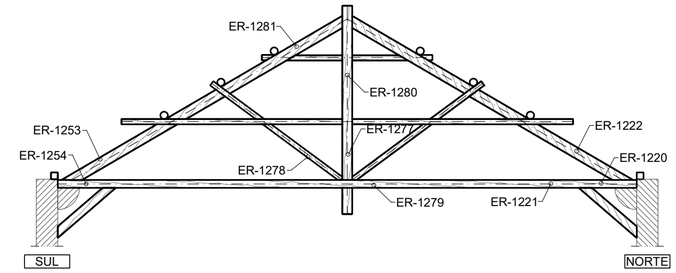
Asna A2-6

Esc. 1:100



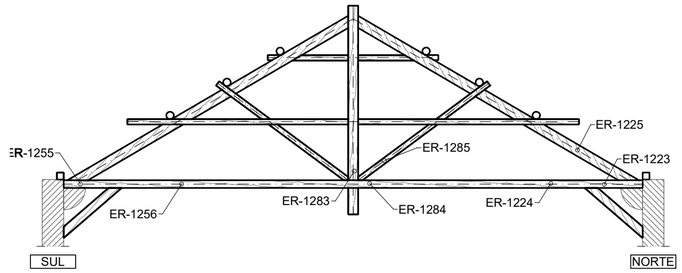
Asna A2-7

Esc. 1:100



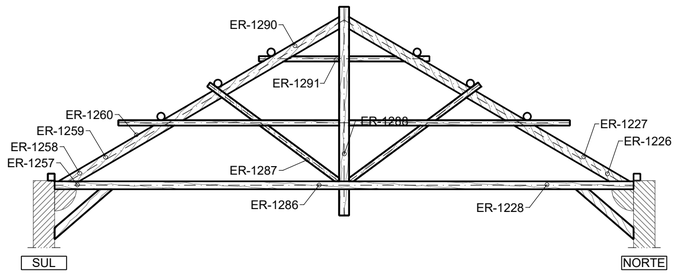
Asna A2-8

Esc. 1:100



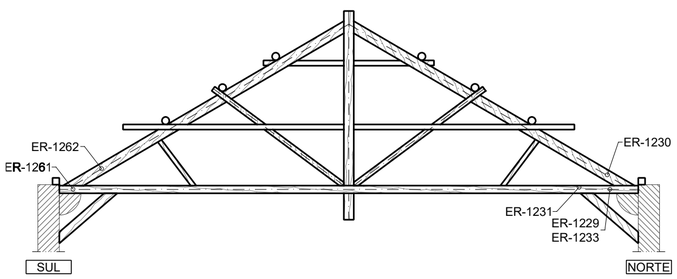
Asna A2-9

Esc. 1:100



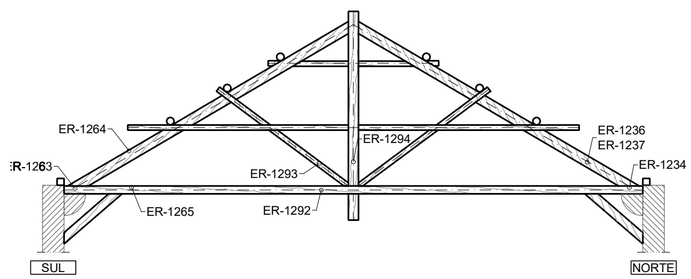
Asna A2-10

Esc. 1:100



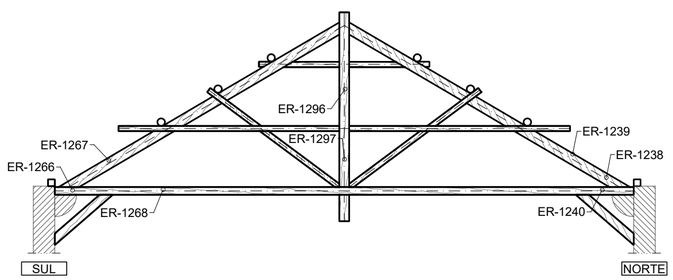
Asna A2-11

Esc. 1:100



Asna A2-12

Esc. 1:100



Ensaios *in situ*

EM ELEMENTOS DE MADEIRA:
ER - Ensaios com o Resistógrafo

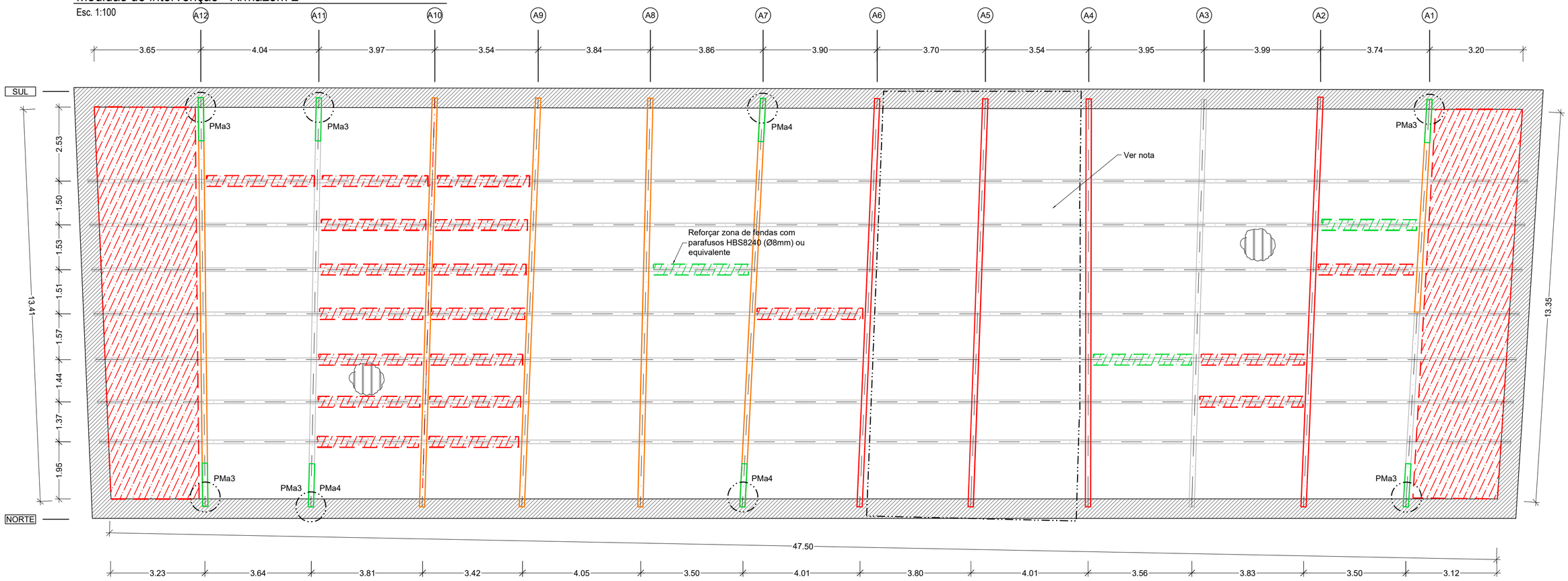
OBRA		DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico		04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º / REV. N.º
Ensaios - Armazém 2: alçados das asnas	NCREP_0769P0117	1:100	05
PROJECTOU / DESENHOU / APROVOU / VERIFICOU			
AAC, GC, LF, TI / GC / AAC, TI / AAC, TI			

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

NCREP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Medidas de intervenção - Armazém 2

Esc. 1:100



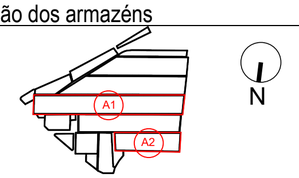
NOTA: -Todas as asnas serão também reforçadas de acordo com o alçado tipo de reforço de asnas representado nas plantas de execução.

-Na zona assinalada em planta deverá proceder-se à remoção dos calços sobre as madres circulares. As madres ciculares podem ser mantidas e, após recolocação das asnas, verificar se são necessários calços.

LEGENDA - INTERVENÇÃO	
ELEMENTOS PRINCIPAIS - ASNAS	
Reforço do elemento	
Substituição parcial de elementos da asna	
Substituição integral da asna	
ELEMENTOS SECUNDÁRIOS - MADRES/VARAS	
Reforço dos apoios das madres	
Reforço dos elementos (deformação)	
Substituição dos elementos	

Identificação dos armazéns

Sem escala



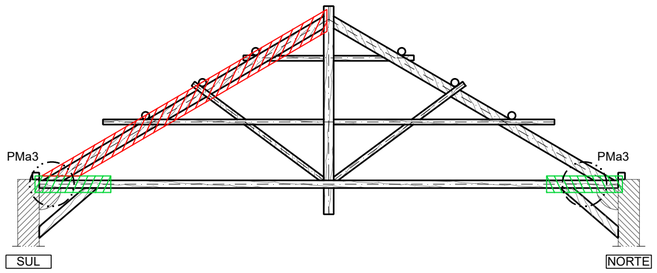
OBRA			DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Relatório de Inspecção e Diagnóstico			04/2017	RID
DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Medidas de intervenção - Armazém 2	NCREP_0769P0117	1:100	06	
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU	
AAC, GC, LF, TI	GC	AAC, TI	AAC, TI	

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

NCREP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

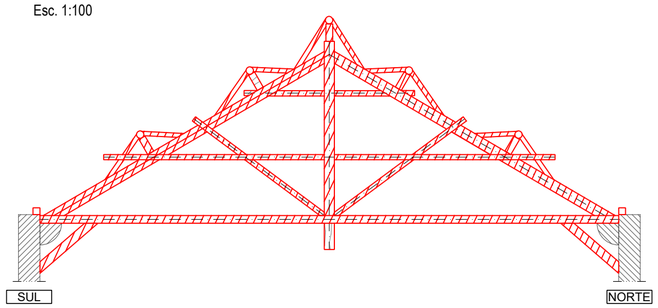
Asna A2-1

Esc. 1:100



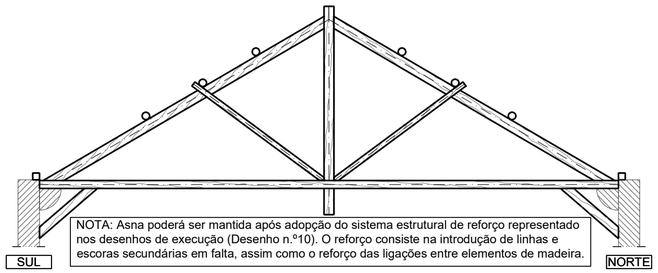
Asna A2-2

Esc. 1:100



Asna A2-3

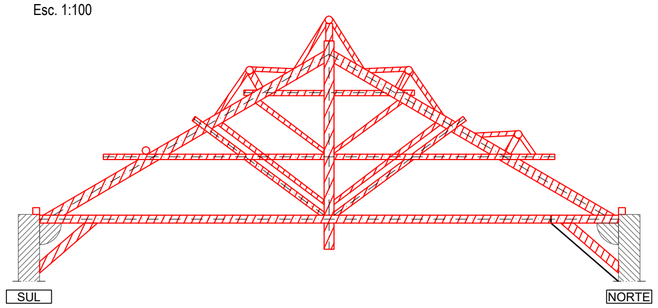
Esc. 1:100



NOTA: Asna poderá ser mantida após adopção do sistema estrutural de reforço representado nos desenhos de execução (Desenho n.º10). O reforço consiste na introdução de linhas e escoras secundárias em falta, assim como o reforço das ligações entre elementos de madeira.

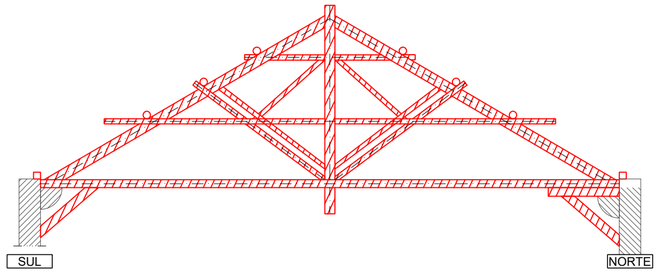
Asna A2-4

Esc. 1:100



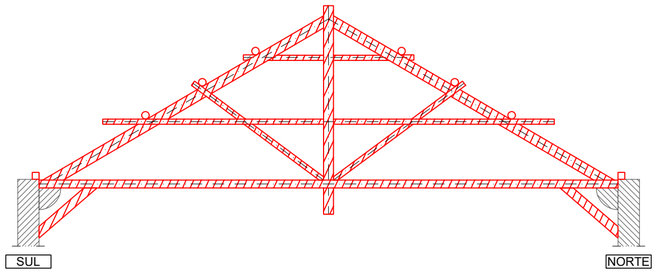
Asna A2-5

Esc. 1:100



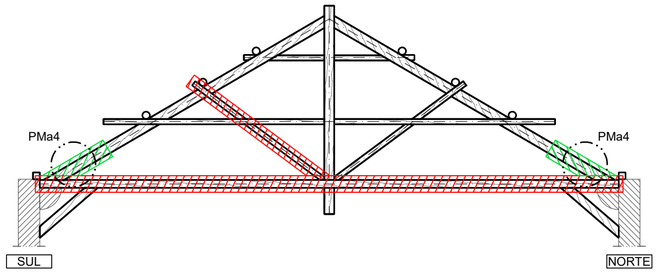
Asna A2-6

Esc. 1:100



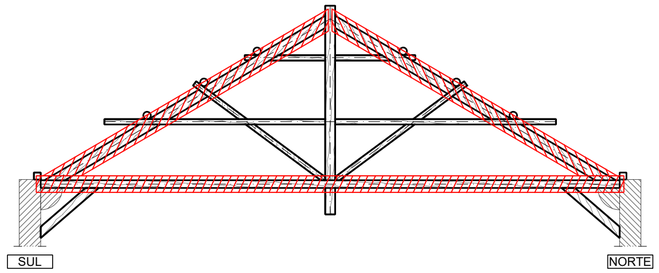
Asna A2-7

Esc. 1:100



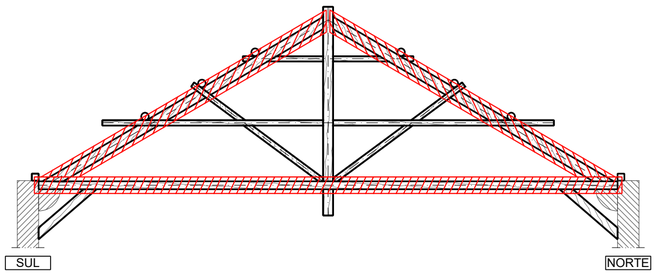
Asna A2-8

Esc. 1:100



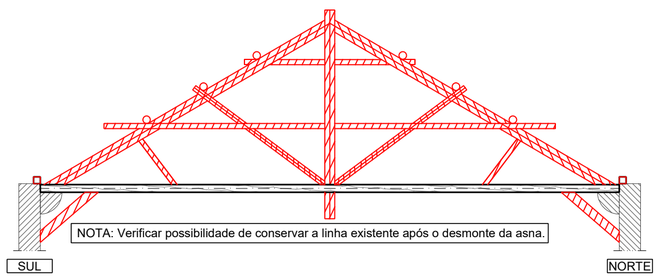
Asna A2-9

Esc. 1:100



Asna A2-10

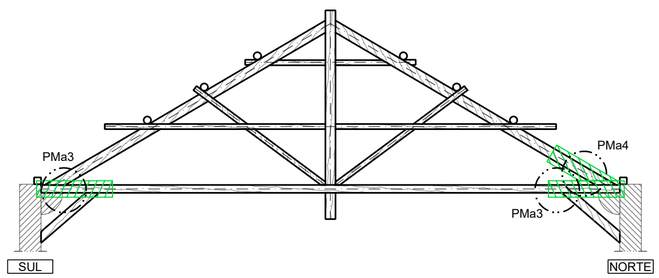
Esc. 1:100



NOTA: Verificar possibilidade de conservar a linha existente após o desmonte da asna.

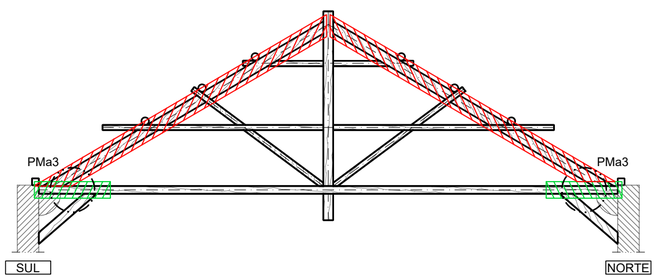
Asna A2-11

Esc. 1:100



Asna A2-12

Esc. 1:100



SUGESTÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	
Reforço do elemento	
Substituição do elemento	
Elemento a manter	

OBRA
Armazéns Vinícolas
Relatório de Inspecção e Diagnóstico

DATA
04/2017

FASE DO PROJECTO
RID

DESIGNAÇÃO
Medidas de intervenção - Armazém 2: alçados das asnas

PROCESSO
NCREP_0769P0117

ESCALA
1:100

DESENHO N.º
07

REV. N.º

PROJECTOU
AAC, GC, LF, TI

DESENHOU
GC

APROVOU
AAC, TI

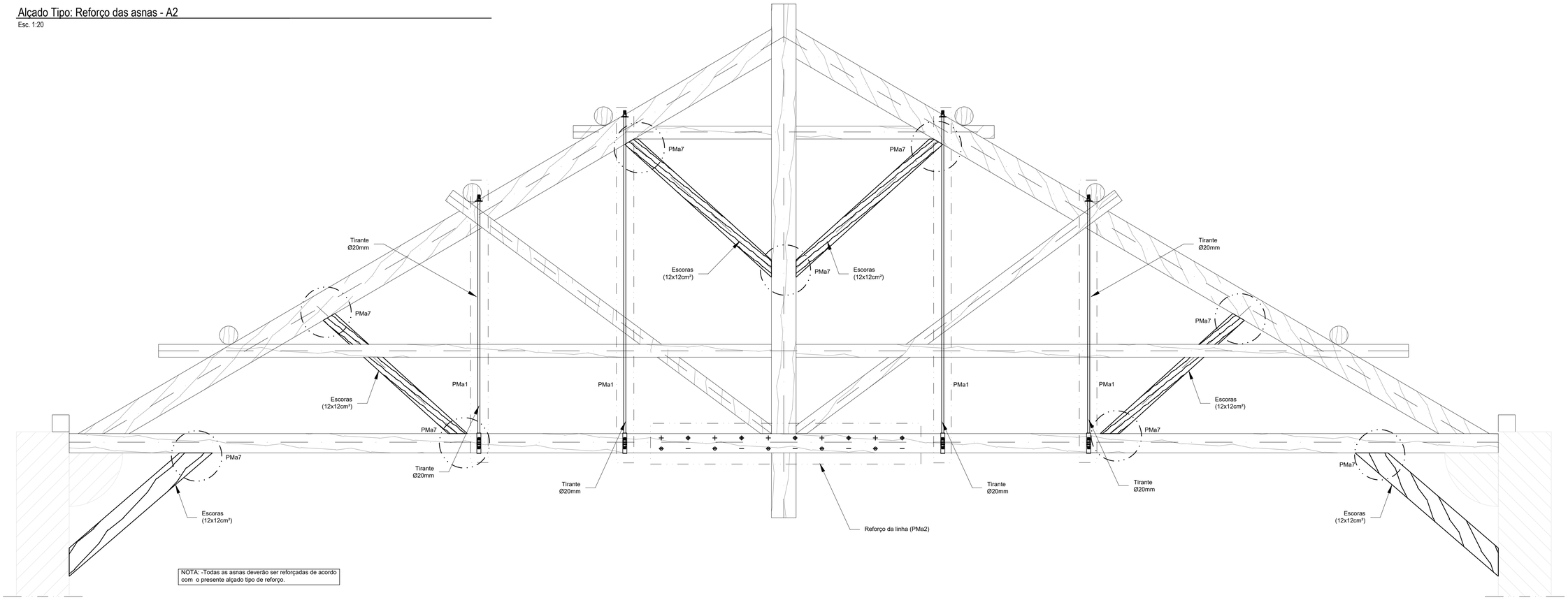
VERIFICOU
AAC, TI

NCR EP
CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

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

Alçado Tipo: Reforço das asnas - A2

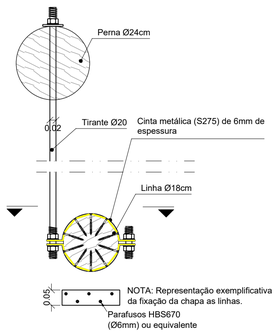
Esc. 1:20



NOTA: -Todas as asnas deverão ser reforçadas de acordo com o presente alçado tipo de reforço.

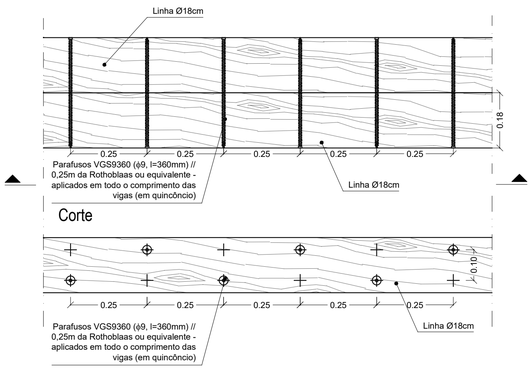
Pormenor PMa1 - Pormenor de ligação entre os tirantes metálicos e as pernas/linhas

Esc. 1:10



Pormenor PMa2 - Pormenor de ligação das linhas

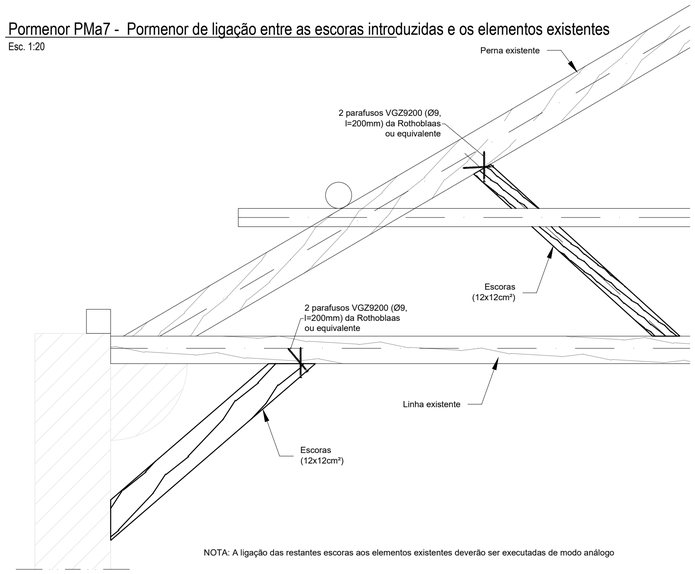
Esc. 1:10



NOTA: Este esquema deve ser utilizado no reforço a meio vão das linhas das asnas de todo o armazém. A extensão dos parafusos é variável e deverá ser extensível a toda a zona de cruzamento das linhas.

Pormenor PMa7 - Pormenor de ligação entre as escoras introduzidas e os elementos existentes

Esc. 1:20



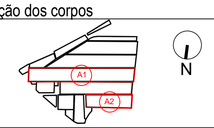
NOTA: A ligação das restantes escoras aos elementos existentes deverão ser executadas de modo análogo

Legenda

- Elemento madeira novo
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

Identificação dos corpos

Sem escala



LISTA DE INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO / REFORÇO A REALIZAR

- Melhoria da ligação entre as madres e as pernas das asnas através da introdução de parafusos do tipo HBS e de angulares da Rothoblaas ou equivalente;
- Introdução de tirantes metálicos roscados nas extremidades e escoras secundárias conforme a representação em alçado e pormenores;
- Alteração do esquema estrutural existente das escoras de ligação entre a cumeeira e o pendural, com redução do vão efectivo da cummeeira e introdução de escoras em ambos os lados das asnas;
- Substituição das madres junto as fachadas;
- Reforço da zona de empalme das linhas principais com recurso a parafusos VGZ9360//0,50m;
- Substituição dos elementos e reforço da zona de apoios assinalados;
- Reabilitação global da cobertura através da realização dos seguintes trabalhos: a) Limpeza e aspiração de todos os elementos de madeira; b) Tratamento de todos os elementos estruturais de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

AÇOS	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Parafusos	DIN 931 - 5.6
Porcas	DIN 934 - 8
Anilhas	DIN 9021 - Aço
Chumbadouros (em geral)	S355J0
Varões Roscados	Aço da Classe 5.6 (Varões de ancoragem) Aço da Classe 5.6 (Fundações)

SOLDADURA

Soldadura:
- A espessura efectiva do cordão de soldadura será 0.7 da menor espessura a soldar ou 5mm.
- O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS).

ESQUEMAS DE PINTURA

ESQUEMA DE PINTURA PARA ELEMENTOS METÁLICOS ENTERRADOS
- Os elementos estruturais enterrados deverão levar um esquema de pintura para protecção anticorrosiva de alta durabilidade para categoria de imersão em solo Im3, de acordo com a NP EN ISO 12944-5, à base de Epoxy de Alcatrão de acordo com as especificações preconizadas pelo C-POX CT940 da CIN, ou equivalente.

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.

PINTURA ESQUEMA EPOXY
- Decapagem a jacto abrasivo grau Sa 2(1/2)
- Camada de Primário anticorrosivo epoxy em Zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40mµ
- Subcapa intermédia de resina epoxy de dois componentes de alta espessura - 110 µ
- Esmalte de acabamento epoxy de dois componentes - 50 µ

FABRICO DA ESTRUTURA METÁLICA

- Antes de se iniciar o fabrico da estrutura, todas as dimensões relativas a elementos existentes deverão ser confirmadas no local da obra.
- Todas as cotas de implantação das estrutura metálicas devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira maciça serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento prévio por impregnação superficial à base de AXIL 3000P.
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço	04/2017	EXE

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Projecto de execução - Armazém A2	NCREP_0769P0117	VÁRIAS	08	

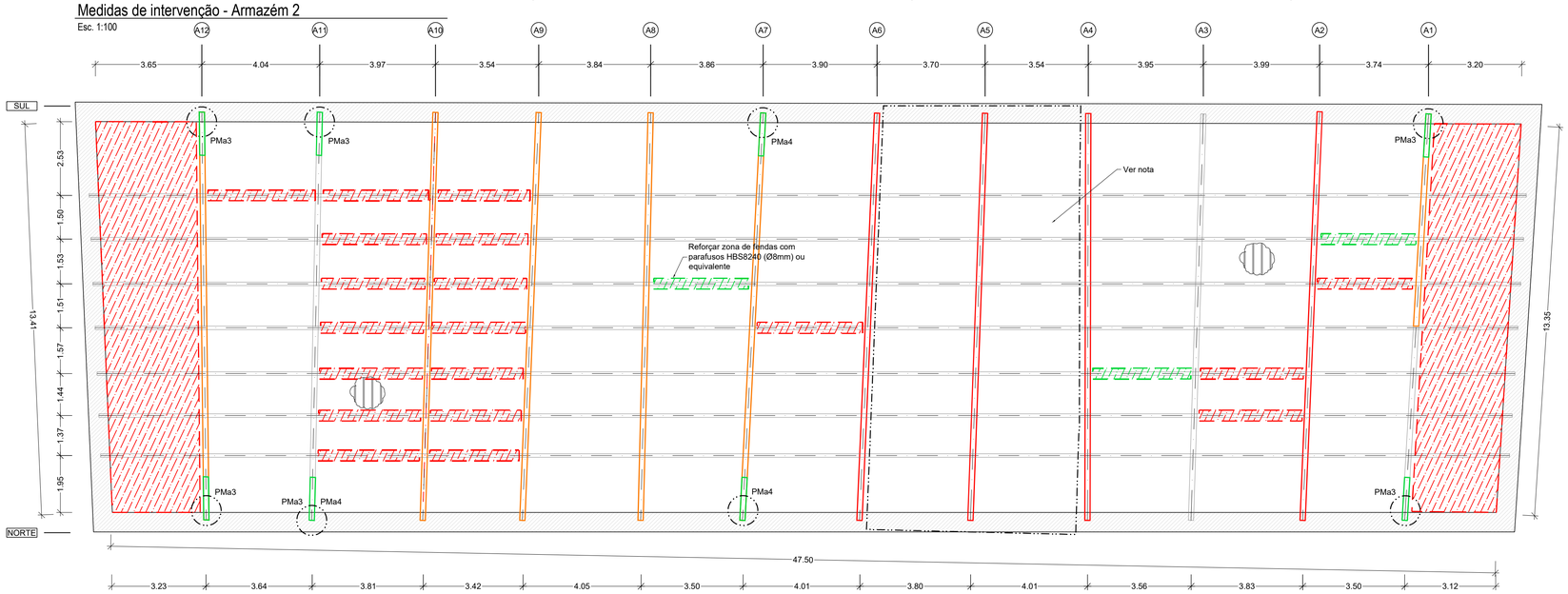
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, LF, TI	LF	AAC, TI	AAC, TI

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

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO, EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Medidas de intervenção - Armazém 2

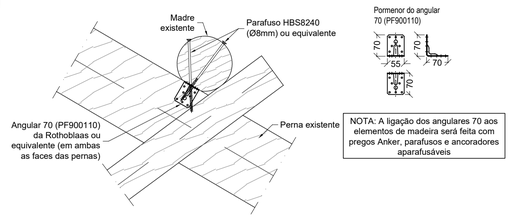
Esc. 1:100



NOTA: Na zona assinalada em planta deverá proceder-se à remoção dos calços sobre as madres circulares. As madres ciculares podem ser mantidas e, após recolocação das asnas, verificar se são necessários calços.

Pormenor PMa5 - Fixação madres / pernas das asnas

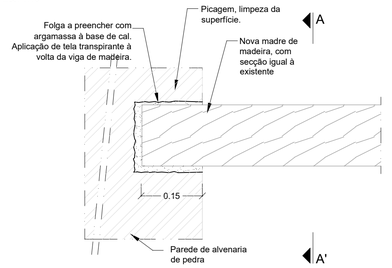
Esc. 1:10

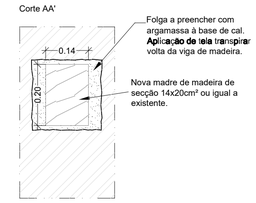


NOTA: A ligação dos angulares 70 aos elementos de madeira será feita com pregos Anker, parafusos e ancoradores aparafusáveis

PMa6 - Entrega das madres a substituir na parede de alvenaria

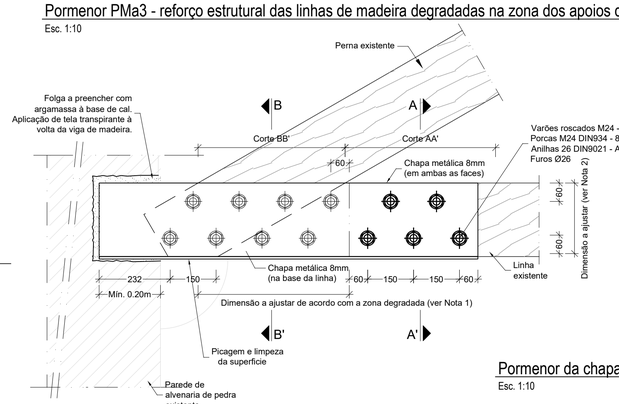
Esc. 1:10

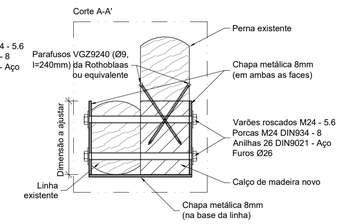


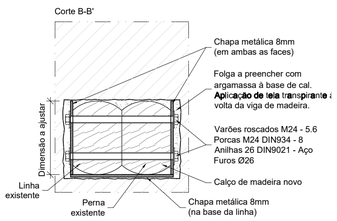


Pormenor PMa3 - reforço estrutural das linhas de madeira degradadas na zona dos apoios das linhas

Esc. 1:10

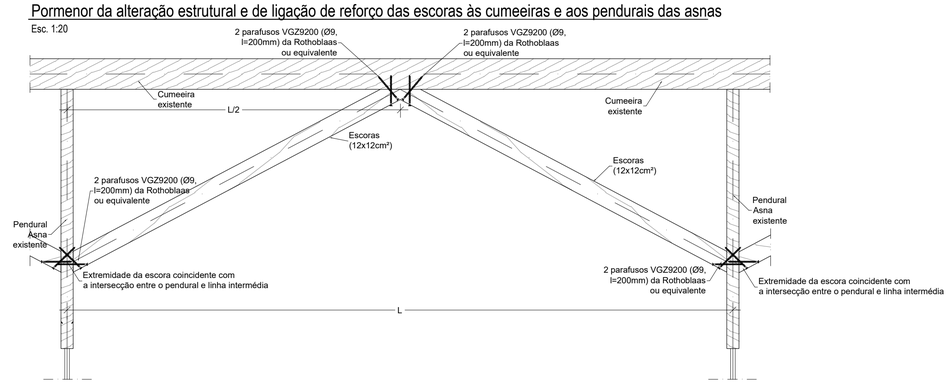






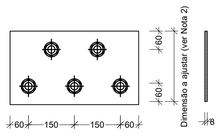
Pormenor da alteração estrutural e de ligação de reforço das escoras às cumeeiras e aos pendurais das asnas

Esc. 1:20



Pormenor da chapa metálica (S275) com 8mm de espessura

Esc. 1:10

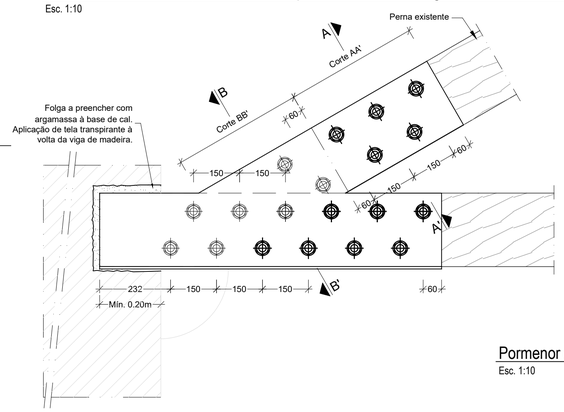


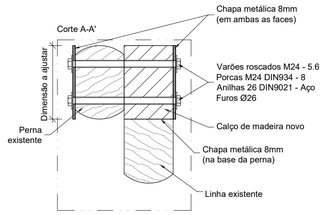
Nota: Elemento a colocar em zona sã da peça

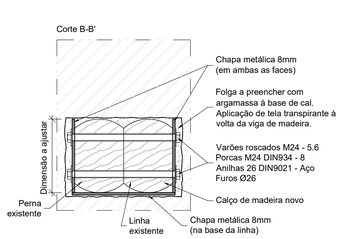
Asna	Parede	Dim degradada (m)
Asna A1	Norte	0.50
Asna A5	Norte	0.50
Asna A11	Norte / Sul	0.50
Asna A12	Norte	0.80

Pormenor PMa4 - reforço estrutural das pernas de madeira degradadas na zona dos apoios das linhas

Esc. 1:10

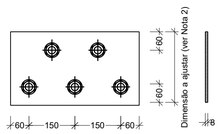






Pormenor da chapa metálica (S275) com 8mm de espessura

Esc. 1:10



Nota: Elemento a colocar em zona sã da peça

Asna	Parede	Dim degradada (m)
Asna A5	Sul	0.50
Asna A7	Norte e Sul	0.50
Asna A11	Norte	0.50

Nota1: O espaçamento dos parafusos na dimensão a ajustar é de 150mm

Nota2: As distâncias dos parafusos ao bordo da chapa e entre parafusos representados são valores mínimos

Nota3: A dimensão das chapas até à zona degradada está assinalada na tabela

Nota4: Após a zona degradada, realizar tratamento recorrendo a injecção

Nota1: O espaçamento dos parafusos na dimensão a ajustar é de 150mm

Nota2: As distâncias dos parafusos ao bordo da chapa e entre parafusos representados são valores mínimos

Nota3: A dimensão das chapas até à zona degradada está assinalada na tabela

Nota4: Após a zona degradada, realizar tratamento recorrendo a injecção

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

AÇOS	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Parafusos	DIN 931 - 5.6
Porcas	DIN 934 - 8
Anilhas	DIN 9021 - Aço
Chumbadouros (em geral)	S355J0
Varões Roscados	Aço da Classe 5.6 (Varões de ancoragem) Aço da Classe 5.6 (Fundações)

SOLDADURA

Soldadura:
- A espessura efectiva do cordão de soldadura $a \geq 0.7$ da menor espessura a soldar ou 5mm.
- O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS).

ESQUEMAS DE PINTURA

ESQUEMA DE PINTURA PARA ELEMENTOS METÁLICOS ENTERRADOS
- Os elementos estruturais enterrados deverão levar um esquema de pintura para protecção anticorrosiva de alta durabilidade para categoria de imersão em solo Im3, de acordo com a NP EN ISO 12944-5, à base de Epoxy de Alcatrão de acordo com as especificações preconizadas pelo C-POX C7940 da CIN, ou equivalente.

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.

PINTURA ESQUEMA EPOXY
- Decapagem a jacto abrasivo grau Sa 2(1/2)
- Camada de Primário anticorrosivo epoxy em Zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40mµ
- Subcapa intermédia de resina epoxy de dois componentes de alta espessura - 110 µ
- Esmalte de acabamento epoxy de dois componentes - 50 µ

FABRICO DA ESTRUTURA METÁLICA

- Antes de se iniciar o fabrico da estrutura, todas as dimensões relativas a elementos existentes deverão ser confirmadas no local da obra.
- Todas as cotas de implantação das estrutura metálicas devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira maciça serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento prévio por impregnação superficial à base de AXIL 3000P.
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

LEGENDA - INTERVENÇÃO

ELEMENTOS PRINCIPAIS - ASNAS	
Reforço do elemento	
Substituição parcial de elementos da asna	
Substituição integral da asna	
ELEMENTOS SECUNDÁRIOS - MADRES/VARAS	
Reforço dos apoios das madres	
Reforço dos elementos (deformação)	
Substituição dos elementos	

Legenda

- Elemento madeira novo
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço	04/2017	EXE

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Projecto de execução - Armazém A2	NCREP_0769P0117	VÁRIAS	09	

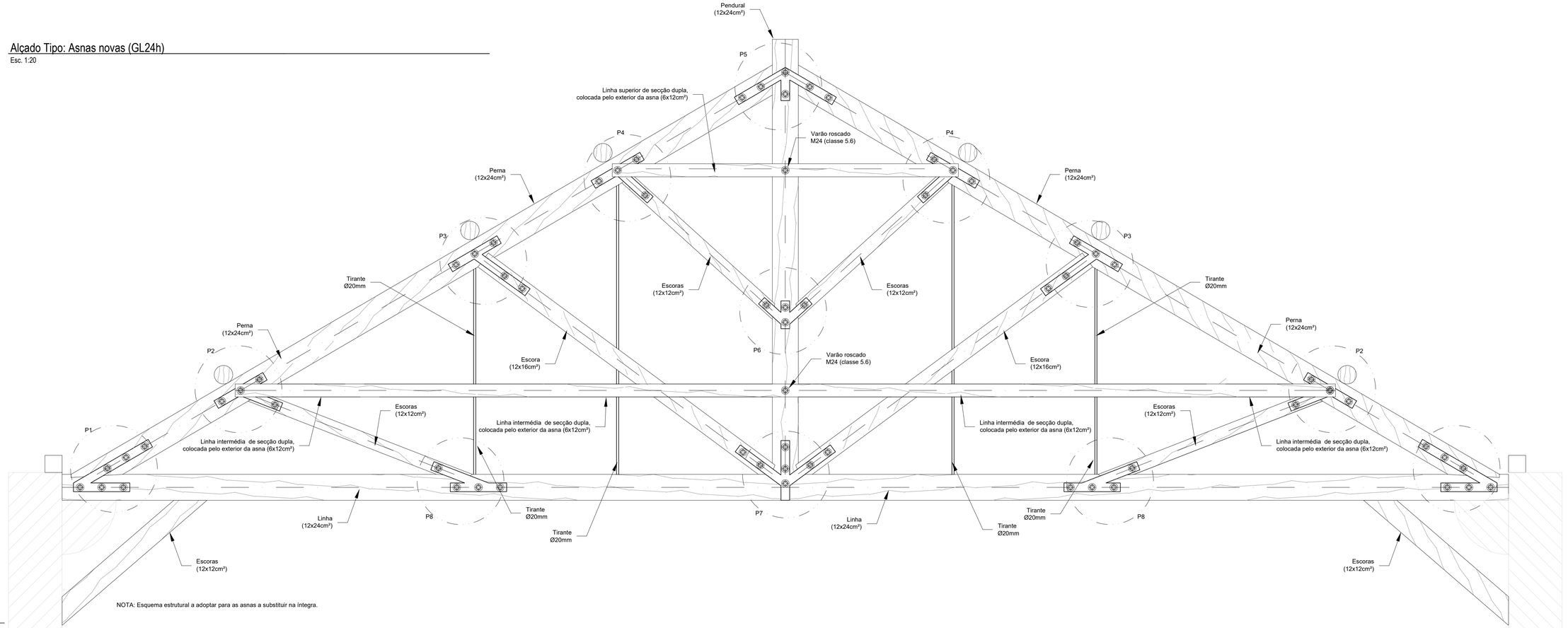
PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, LF, TI	LF	AAC, TI	AAC, TI

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

NCR EP CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÓNIO

Alçado Tipo: Asnas novas (GL24h)

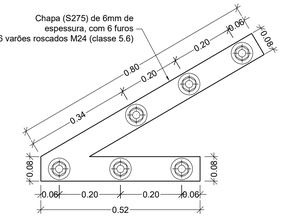
Esc. 1:20



NOTA: Esquema estrutural a adoptar para as asnas a substituir na íntegra.

Pormenor P1 - Ligação entre a linha e perna

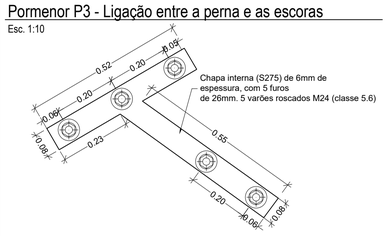
Esc. 1:10



NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P3 - Ligação entre a perna e as escoras

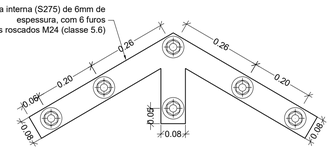
Esc. 1:10



NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P5 - Ligação entre as pernas e o pendural

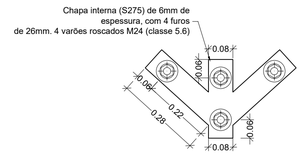
Esc. 1:10



NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P6 - Ligação entre as escoras e pendural

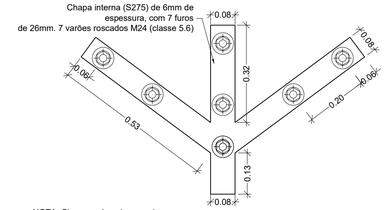
Esc. 1:10



NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P7 - Ligação entre o pendural, escoras e linha

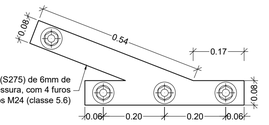
Esc. 1:10



NOTA: Chapas colocadas nas duas faces, envolvendo a linha.

Pormenor P8 - Ligação entre a linha e a escora

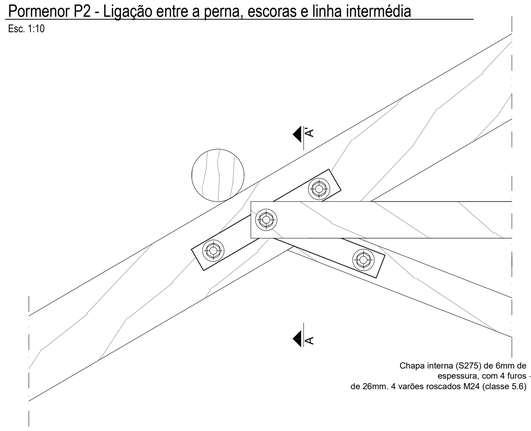
Esc. 1:10



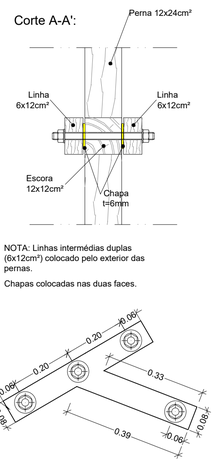
NOTA: Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P2 - Ligação entre a perna, escoras e linha intermédia

Esc. 1:10



Corte A-A':

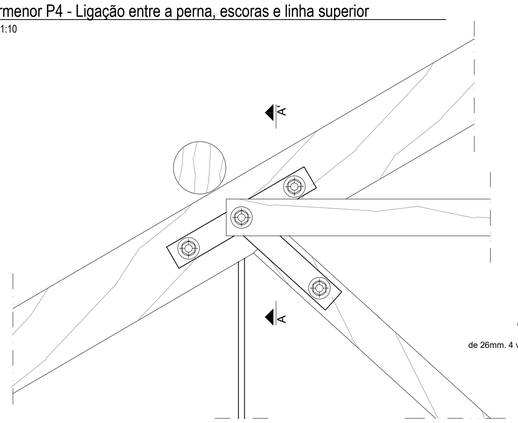


NOTA: Linhas intermédias duplas (6x12cm²) colocado pelo exterior das pernas.

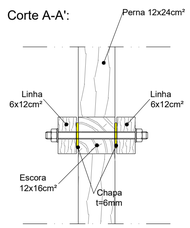
Chapas colocadas nas duas faces.

Pormenor P4 - Ligação entre a perna, escoras e linha superior

Esc. 1:10

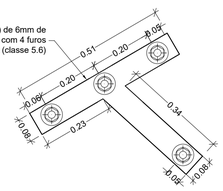


Corte A-A':



NOTA: Linhas intermédias duplas (6x12cm²) colocado pelo exterior das pernas.

Chapas colocadas nas duas faces.



Legenda

- Elemento madeira novo
- Elemento madeira existente
- Parede existente
- Varão roscado M24
- Varão roscado M24 com anilha de diâmetro externo mínimo de 75mm.

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS

AÇOS	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Parafusos	DIN 931 - 5.6
Porcas	DIN 934 - 8
Anilhas	DIN 9021 - Aço
Chumbadouros (em geral)	S355J0
Varões Roscados	Aço da Classe 5.6 (Varões de ancoragem) Aço da Classe 5.6 (Fundações)

SOLDADURA

Soldadura:
- A espessura efectiva do cordão de soldadura será 0.7 da menor espessura a soldar ou 5mm.
- O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS).

ESQUEMAS DE PINTURA

ESQUEMA DE PINTURA PARA ELEMENTOS METÁLICOS ENTERRADOS
- Os elementos estruturais enterrados deverão levar um esquema de pintura para protecção anticorrosiva de alta durabilidade para categoria de imersão em solo Im3, de acordo com a NP EN ISO 12944-5, à base de Epoxy de Alcatrão de acordo com as especificações preconizadas pelo C-POX CT940 da CIN, ou equivalente.

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.

PINTURA ESQUEMA EPOXY
- Decapagem a jacto abrasivo grau Sa 2(1/2)
- Camada de Primário anticorrosivo epoxy em Zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40mµ
- Subcapa intermédia de resina epoxy de dois componentes de alta espessura - 110 µ
- Esmalte de acabamento epoxy de dois componentes - 50 µ

FABRICO DA ESTRUTURA METÁLICA

- Antes de se iniciar o fabrico da estrutura, todas as dimensões relativas a elementos existentes deverão ser confirmadas no local da obra.
- Todas as cotas de implantação das estrutura metálicas devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA

Novos elementos estruturais de madeira serão da classe resistente GL24h (Lamelada colada)

Tratamento: Os novos elementos estruturais de madeira maciça (com classe resistente GL24h) deverão receber um tratamento prévio por impregnação superficial à base de AXIL 3000P.
O tratamento dos elementos de madeira a manter deverá ser executado com produto a base de gel (ver memória descritiva).

OBRA	DATA	FASE DO PROJECTO
Armazéns Vinícolas Inspecção e projecto de reforço	04/2017	EXE

DESIGNAÇÃO	PROCESSO	ESCALA	DESENHO N.º	REV. N.º
Projecto de execução - Armazém A2	NCREP_0769P0117	VÁRIAS	10	

PROJECTOU	DESENHOU	APROVOU	VERIFICOU
AAC, LF, TI	LF	AAC, TI	AAC, TI

NCR EP — CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E DO PATRIMÓNIO

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

ANEXO III – CÓDIGO EM VBA

```
Sub AddRESIS()

   Application.ScreenUpdating = False

   Dim oTbl As Table, i As Long, j As Long, k As Long, q As Long, t As Long, b As Long, c As Long, l As Long,
s As Long, g As Long, StrTxt As String, oILS As InlineShape

With Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker): .Title = "Select image files and click OK":
.Filters.Add "Images", "*.gif; *.jpg; *.jpeg; *.bmp; *.tif; *.png": .FilterIndex = 2”


If .Show = -1 Then
        Set oTbl = Selection.Tables.Add(Selection.Range, 7, 1)
        With oTbl
          .AutoFitBehavior (wdAutoFitFixed): .Columns.Width = CentimetersToPoints(15.36)
          oTbl.AutoFormat Format:=wdTableFormatList5, _
          ApplyBorders:=True, ApplyShading:=False, ApplyColor:=False, ApplyFont:=False,
ApplyHeadingRows:=False, ApplyLastRow:=False, ApplyFirstColumn:=False, ApplyLastColumn:=False,
AutoFit:=False


With oTbl
        With .Rows(6)
          .Height = CentimetersToPoints(7): .Range.Style = "Normal"
        End With
      For b = 1 To 5
        With .Rows(6 - b)
          .Height = CentimetersToPoints(0.7): .HeightRule = wdRowHeightExactly: .Range.Style =
"Normal":
        End With: Next b: End With: End With

For i = 1 To .SelectedItems.Count
          j = i * 7
“CaptionLabels.Add Name:="Ensaio: ER"
          StrTxt = Split(.SelectedItems(i), "\")(UBound(Split(.SelectedItems(i), "\")))
          StrTxt = "- " & Split(StrTxt, ".")(0)
```

```
If j > oTbl.Rows.Count Then
        oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add: oTbl.Rows.Add
            With oTbl
            For b = 1 To 7
              With .Rows(j - b)
                .Height = CentimetersToPoints(0.7): .HeightRule = wdRowHeightExactly: .Range.Style = "Normal"
            End With: Next b
            With .Rows(j - 1)
             .Height = CentimetersToPoints(7): .Range.Style = "Normal"
            End With: End With: End If


ActiveDocument.InlineShapes.AddPicture _
          FileName:=.SelectedItems(i), LinkToFile:=False, _
          SaveWithDocument:=True, Range:=oTbl.Rows(j - 1).Range
With ActiveDocument
          For q = 1 To .InlineShapes.Count
        With .InlineShapes(q)
          .PictureFormat.CropTop = 10: .PictureFormat.CropLeft = 1: .PictureFormat.CropRight = 1.1: .PictureFormat.CropBottom = 1.1
        End With: Next q: End With"


With oTbl.Rows(j - 6).Range
            .InsertBefore vbCr: .Characters.First.InsertCaption _
            Label:="Ensaio: ER", Title:=StrTxt, _
            Position:=wdCaptionPositionBelow, ExcludeLabel:=False: .Characters.First = vbNullString: .Style = "Normal": .Font.Bold = True: .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleSingle: .Borders(wdBorderTop).LineStyle = wdLineStyleSingle: .ParagraphFormat.SpaceAfter = 3: .ParagraphFormat.SpaceBefore = 3
          End With


          With oTbl.Rows(j - 5).Range
            .InsertBefore vbCr: .InsertAfter Text:="Planta estrutural:": .Characters.First = vbNullString: .Style = "Normal": .Font.Bold = True: .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleSingle: .ParagraphFormat.SpaceAfter = 3: .ParagraphFormat.SpaceBefore = 3
          End With
```

```
        With oTbl.Rows(j - 4).Range
          .InsertBefore vbCr: .InsertAfter Text:="Elemento:": .Characters.First = vbNullString: .Style = "Normal": .Font.Bold = True: .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleSingle: .ParagraphFormat.SpaceAfter = 3: .ParagraphFormat.SpaceBefore = 3
        End With
        With oTbl.Rows(j - 3).Range
          .InsertBefore vbCr: .InsertAfter Text:="Comentário:": .Characters.First = vbNullString: .Style = "Normal": .Font.Bold = True: .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleSingle: .ParagraphFormat.SpaceAfter = 3: .ParagraphFormat.SpaceBefore = 3
        End With
        With oTbl.Rows(j - 2).Range
          .InsertBefore vbCr: .InsertAfter Text:="Resultado:": .Characters.First = vbNullString: .Style = "Normal": .Font.Bold = True: .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleNone: .ParagraphFormat.SpaceAfter = 3: .ParagraphFormat.SpaceBefore = 3
        End With: Next
      Else
    End If


For i = 1 To .SelectedItems.Count
                    j = i * 7
                    With oTbl.Rows(j).Range
                      .Borders(wdBorderLeft).LineStyle = wdLineStyleNone: .Borders(wdBorderRight).LineStyle = wdLineStyleNone
                    End With
                  Next

                  For i = .SelectedItems.Count * (-1) To (-1)
                    j = i * (-7)
                    g = .SelectedItems.Count Mod 2 + 1
                    c = i Mod 2 + 1
                    l = Int((-i + 1) / 2)
                    s = l * 14

                    If g = 1 Then
                    If c = 1 Then
                    With oTbl.Rows(s).Range
                     .Borders(wdBorderTop).LineStyle = wdLineStyleNone: .InsertBreak (7)
```

```
                End With
                    With oTbl.Rows(s - 1).Range
                      .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleSingle
                    End With: End If: End If
                If g = 2 Then
                If c = 1 Then
                    With oTbl.Rows(s + 1).Range: .InsertBreak (7)
                    End With
                    With oTbl.Rows(s).Range
                      .Borders(wdBorderBottom).LineStyle = wdLineStyleNone
                    End With: End If: End If: Next
    End With
    Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```