

**Técnicas de Reparação e Reabilitação do Edificado da
Fortaleza de Cambambe**

Luís Filipe Campos da Silva Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Rui Vaz Rodrigues

Júri

Presidente: Professor Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Orientador: Professor Doutor Rui Vaz Rodrigues

Vogal: Professor Doutor Fernando António Baptista Branco

Setembro de 2016

RESUMO

Este trabalho diz respeito à elaboração de um projeto preliminar de reabilitação da Igreja de Nossa Senhora do Rosário da Fortaleza de Cambambe, situada na província de Cuanza Norte, em Angola. A fortaleza foi construída no século XVII pelos descobridores portugueses aquando da colonização do território angolano, de onde resulta o seu valor histórico. Está abandonada desde o século XIX.

É uma construção de alvenaria de pedra seca, por vezes argamassada. A sua exposição às intempéries, sem cuidados de manutenção e preservação, levou a que hoje em dia o seu estado seja classificado como ruína, apresentando uma série de anomalias, sendo as mais importantes: a inexistência de cobertura; a deformação/derrubamento significativo da parede do altar-mor; a desagregação dos revestimentos e da própria alvenaria.

Foram equacionadas quatro soluções possíveis para a reabilitação da igreja tendo em conta a sua história e estado atual. As quatro soluções foram avaliadas segundo três critérios: critério estético, critério de fiabilidade estrutural e critério de custos. Concluiu-se que a solução mais adequada seria a construção de uma estrutura independente da existente, que permita suportar uma nova cobertura e que ao mesmo tempo possa ficar omitida de modo a não prejudicar a imagem original da construção.

A nova estrutura consiste numa estrutura metálica reticulada, sendo a cobertura a duas águas materializada por treliças triangulares que apoiam em vigas e pilares independentes da alvenaria. As fundações são sapatas de betão armado.

Estudou-se uma solução para a deformação da parede do altar, concluindo-se que a mais viável seria o endireitamento com recurso a cabos e guinchos de alavanca, num processo meticulosamente monitorizado. Também se sugere a técnica de reboco armado com uma argamassa de cal hidráulica natural (NHL) para reforço das zonas correntes de parede, a par da reconstrução da torre de campanário da igreja e do topo da parede nas fachadas principal e tardoz, e reparação de outras zonas de parede. Esta solução permite também o acabamento final das paredes com tinta de cor branca.

Palavras-chave: Cambambe; reabilitação; alvenaria de pedra; estrutura metálica; cobertura.

ABSTRACT

This document concerns the rehabilitation of Nossa Senhora do Rosário church of Cambambe fortress, located in Cuanza Norte province, in Angola. This fortress was build in the XVII century by the portuguese discoverers when they were colonizing the angolans territory, which is the reason why it has a historical value.

It is a construction made of dry stone masonry, but in some places is seen some lime mortar. The exposure of this construction to the environmental effects, with few maintenance actions, led to its status to be classified as a ruin nowadays. Because of that, there are some problems that need repair, the most important are: nonexistence of roof; severe deformation of the main altar wall; masonry desintegration.

There were four possible rehabilitation solutions which were considered in this study, taking into account the history of the construction and its current state. The four solutions were evaluated according to three criteria: aesthetic criteria, structural reliability criteria and costs criteria. It was concluded that the best solution would be to build a new independent structure of the existing masonry, allowing to support a new roof and, at the same time, be hidden and integrated, in order not to harm the original appearance of the church. This new structure consists of steel elements: columns, beams and triangular trusses that make the roof slope. The foundations are footings made of reinforced concrete.

It was also studied a solution to repair the severe deformation of the main altar wall. It was concluded that the more viable solution would be straighten up this wall using steel cables and lever winches, in a carefully monitored process. In this document is also recommended the using of a reinforced render in the masonry walls and the reconstruction of the top of the main facade, back side facade and belfry tower. The recommended finishing is with white painting.

Key-words: Cambambe; rehabilitation; stone masonry; steel structure; roof.

AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho deseja endereçar algumas notas de agradecimento a quem, de forma mais ou menos direta, contribuiu para a sua realização:

Ao Professor Rui Vaz Rodrigues, orientador da dissertação, pelo interesse, disponibilidade e auxílio que sempre demonstrou, e também pela disponibilização de um vasto registo fotográfico, bem como de amostras de materiais existentes na Fortaleza de Cambambe, à ENE – Empresa Nacional de Electricidade de Angola e à COBA – Consultores de Engenharia em Ambiente.

Ao Engenheiro Luís Pereira da Odebrecht Engenharia & Construção Internacional – Infraestrutura (C.N.O.), pela disponibilização de peças desenhadas em suporte digital, que serviram de base ao levantamento das dimensões e ao projeto de reabilitação, e também pela disponibilização de informação relativa à técnica de endireitamento da parede do altar.

Aos docentes do Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, pela transmissão de conhecimentos sobre as matérias curriculares.

À minha família, por todo o suporte e incentivo demonstrados e pelos sacrifícios feitos.

Aos meus colegas e amigos de faculdade, que tal como em muitas outras ocasiões ao longo do curso, mostraram disponibilidade para ajudar profissional e pessoalmente, a quem não poderia deixar de agradecer. Também a todos os meus amigos, que não contribuindo diretamente para a realização deste trabalho, são desde sempre uma fonte de motivação.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	2
1.3 Estrutura do Trabalho.....	2
2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DA FORTALEZA DE CAMBAMBE	5
2.1 Enquadramento histórico.....	5
2.2 A Fortaleza de Cambambe.....	8
3 ESTADO ATUAL DA IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO DA FORTALEZA DE CAMBAMBE	13
3.1 Considerações Gerais	13
3.2 Arquitetura da Igreja de N. Sr. ^a do Rosário	13
3.3 Elementos estruturais da Igreja de N. Sr. ^a do Rosário.....	17
3.3.1 Fundações	17
3.3.2 Paredes	18
3.3.2.1 Argamassas.....	20
3.3.2.2 Pedra	20
3.3.3 Cobertura	21
3.4 Elementos não estruturais da igreja de N. Sr. ^a do Rosário.....	21
3.5 Anomalias	21
3.5.1 Considerações Gerais	21
3.5.2 Anomalias em elementos estruturais	22
3.5.2.1 Paredes	22
3.5.2.1.1 Fendilhação	22

.2.1.2 Desagregação da alvenaria	24
3.5.2.1.3 Lacunas	24
3.5.2.1.4 Deformação/Derrubamento da parede do altar	25
3.5.2.1.5 Vegetação parasitária.....	25
3.5.2.2 Estrutura de suporte da cobertura.....	26
3.5.3 Anomalias em elementos não estruturais	27
3.5.3.1 Degradação do revestimento de paredes	27
3.5.3.2 Degradação dos elementos de caixilharia	27
4 SOLUÇÕES POSSÍVEIS PARA REABILITAÇÃO DA IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO	29
4.1 Considerações Gerais	29
4.2 Solução 1 – Estrutura de betão armado embebida na alvenaria; reconstrução da cobertura	29
4.3 Solução 2 – Reparação das paredes; reconstrução da cobertura.....	30
4.4 Solução 3 – Estrutura de betão armado/metálica independente da alvenaria; execução de cobertura independente	30
4.5 Solução 4 – Estrutura de betão armado/metálica independente da alvenaria; reconstrução da cobertura	30
4.6 Comparação das soluções segundo os critérios: estético, de fiabilidade estrutural e de custos	31
4.6.1 Comparação segundo o Critério Estético.....	31
4.6.2 Comparação segundo o Critério de Fiabilidade Estrutural	31
4.6.3 Comparação segundo o critério de Custos	32
4.7 Escolha da Solução	33
5 SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO DA COBERTURA.....	35
5.1 Descrição Geral da Solução de Reabilitação da Cobertura.....	35
5.1.1 Telhas	35
5.1.2 Ripado e contra-ripado	37
5.1.3 Painéis Sandwich com Isolamento Térmico.....	37
5.1.4 Madres de Cobertura.....	38
5.1.5 Asnas	38
5.1.6 Sistema de contraventamento.....	40
5.1.7 Vigas.....	40

5.1.8	Pilares	40
5.1.9	Fundações	41
5.1.10	Revestimento de teto	42
5.2	Processos Construtivos	43
5.2.1	Fundações	43
5.2.2	Estrutura metálica	44
5.2.2.1	Proteção da estrutura de aço	45
5.2.3	Cobertura	45
5.3	Pré-Dimensionamento da Estrutura de Suporte da Cobertura	46
5.3.1	Quantificação das ações	46
5.3.1.1	Ações gravíticas	46
5.3.1.2	Ação do vento	46
5.3.1.3	Combinações de ações	47
5.3.2	Pré-dimensionamento das madres de cobertura	48
5.3.3	Pré-dimensionamento das treliças metálicas	48
5.3.4	Pré-dimensionamento das vigas metálicas	49
5.3.5	Pré-dimensionamento dos pilares metálicos	50
5.3.6	Pré-dimensionamento das sapatas	50
5.3.7	Pré-dimensionamento das ligações das treliças	51
6	SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO DAS PAREDES	53
6.1	Considerações Gerais	53
6.2	Principais Técnicas de Reabilitação de Alvenarias de Pedra	54
6.2.1	Injeções em alvenaria	54
6.2.2	Rebocos armados	54
6.2.3	Tratamento e reparação de juntas	55
6.2.4	Substituição de material degradado/reconstrução	55
6.2.5	Introdução de elementos metálicos na alvenaria	56
6.2.5.1	Tirantes	56
6.2.5.2	Conectores de confinamento	56
6.2.5.3	Pregagens	56
6.3	Proposta de intervenção – Parede do Altar	57

6.3.1	Desmontagem e reconstrução	57
6.3.2	Endireitamento.....	57
6.4	Proposta de Intervenção – Torre de campanário e fachadas	60
6.5	Proposta de intervenção – Zonas correntes de parede	60
7	CONCLUSÕES	63
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS		
	Anexo A – Levantamento Fotográfico.....	A1
	Anexo B – Pré-Dimensionamento da Estrutura de Suporte da Cobertura.....	A2
	Anexo C – Peças Desenhadas.....	A3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Paulo Dias de Novais, governador e capitão-mor, tinha como missão expandir a conquista das terras para norte, centro e sul do território do Reino de Angola [26].	6
Figura 2 - Retrato de Manuel Cerveira Pereira [27].	6
Figura 3 - Muxima, Massangano e Cambambe. As principais fortificações ao longo do Rio Cuanza (imagem <i>Google Maps</i> editada).	7
Figura 4 - Fortalezas e igrejas: Muxima à esquerda [11]; Massangano à direita [32].	7
Figura 5 - Retrato de Salvador Correia de Sá e Benevides [28].	8
Figura 6 - Ilustração das margens do Rio Cuanza no início do séc. XIX. (Autor desconhecido). É possível observar ao fundo do lado direito a fortaleza de Cambambe no alto da colina [44].	9
Figura 7 - Ruínas da fortaleza de Cambambe (provavelmente na segunda metade do séc. XX), de planta quadrangular com baluartes nos vértices [45].	10
Figura 8 - Os muros da fortaleza de Cambambe, de planta quadrangular com baluartes nos vértices. (imagem <i>Google Maps</i> editada).	10
Figura 9 - Arco da porta de armas da fortaleza (1965 à esquerda e 2008 à direita), coroadado com o Escudo da Restauração, e por uma lápide com a seguinte inscrição: “Este forte mandou fazer o Sr. D. João de Alencastre governador e capitão general destes reinos – anno de 1691” [29].	10
Figura 10 - Ruínas do interior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2008) [31].	11
Figura 11 - Ruínas do altar da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2014) [12].	11
Figura 12 - Ruínas do interior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2008). Fotografia de A. Dimas Neto [31].	11
Figura 13 - Ruínas do exterior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (1965) [45].	11
Figura 14 - Fachada principal da igreja de N. Sr. ^a do Rosário em Cambambe [12].	14
Figura 15 - Fachada principal da igreja de Massangano [32].	14
Figura 16 - Dois contrafortes existentes na fachada lateral esquerda [12].	14
Figura 17 - Planta esquemática da construção existente.	15
Figura 18 - Modelo em 3 dimensões da construção existente (duas perspetivas).	15
Figura 19 - Ornamentação da parede divisória entre a ante-câmara e a sala do altar [31].	16
Figura 20 - Ornamentação da parede do altar [12].	16

Figura 21 - Tardoz da torre de campanário e fachada lateral direita da igreja [12].	17
Figura 22 - Parede tardoz da igreja [12].	17
Figura 23 - Vista do tardoz da igreja de Muxima e da sua cobertura a duas águas [11].	17
Figura 24 - Parede de alvenaria de pedra ordinária argamassada (esquerda). Parede de alvenaria de pedra seca (direita). Ambas as imagens dizem respeito às paredes da Igreja de N. Sr. ^a do Rosário.	18
Figura 25 - Arco de descarga de uma das janelas da Igreja [31].	20
Figura 26 - Disposição das pedras sem colocação de elementos transversais. Esta parede diz respeito a uma construção independente da Igreja de N. Sr. ^a do Rosário.	20
Figura 27 - Diferentes tipos de argamassas de revestimento na parede junto da entrada principal da Igreja [12].	21
Figura 28 - Rocha utilizada nas paredes da Fortaleza de Cambambe. Amostra disponibilizada pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues.	21
Figura 29 - Fendilhação na junção das paredes de tardoz e lateral direita e no respetivo contraforte [12].	23
Figura 30 - Várias fendas visíveis na parede do altar [12].	23
Figura 31 - Desagregação da alvenaria na fachada principal junto da entrada principal da Igreja no exterior (à esquerda [12]) e no interior (à direita [31]).	24
Figura 32 - Perda de elementos pétreos constituintes da alvenaria na parede entre a ante-câmara e a sala do altar (à esquerda) e na parede do altar (à direita) [12].	25
Figura 33 - Deformação da parede do altar [12].	26
Figura 34 – Apoios deficientes da parede do altar devido vão aberto na sua base.	26
Figura 35 - Vegetação parasitária, entretanto já removida, no exterior (à esquerda) e no interior (à direita) [29].	26
Figura 36 - Montante de betão armado em rasgo na alvenaria [14].	30
Figura 37 - Aplicação de reboco armado com betão projetado em parede de alvenaria [46].	30
Figura 38 - Telha lusa de aba e canudo enquanto peça singular (à esquerda) [35] e utilizada numa cobertura inclinada (direita) [36].	35
Figura 39 - Correto assentamento dos “telhões” [37].	36
Figura 40 - Funcionamento do sistema de telhas de ventilação [38].	36
Figura 41 - Pormenor de beiral. Adaptado de [39].	37

Figura 42 - Amostra de painel sandwich com uma camada de isolamento térmico e duas camadas de OSB [40].	38
Figura 43 - Asna de cobertura com perfis metálicos.....	39
Figura 44 - Corte esquemático da solução da cobertura (região corrente).	39
Figura 45 - Esquema do sistema de contraventamento das treliças metálicas.....	40
Figura 46 - Ligação entre pilar metálico e sapata de betão armado com recurso a chapa de base e chumbadores metálicos [41].....	42
Figura 47 - Suporte do teto falso. Fixação da estrutura de suporte aos perfis da treliça (esquerda) e fixação das pranchas de madeira às calhas metálicas (direita).....	42
Figura 48 - Pormenor do revestimento do beiral.....	43
Figura 49 - Ligação aparafusada pilar-viga com recurso a chapa de topo e chapas de ligação entre os banzos [42].	44
Figura 50 - Sistema de reforço das zonas de alvenaria em torno dos pilares.....	44
Figura 51 - Assentamento da telha lusa [43].....	46
Figura 52 - Resultantes de forças distribuídas na cobertura. Combinação 1 à esquerda, Combinação 2 à direita.	47
Figura 53 - Modelo estrutural das treliças metálicas e cargas aplicadas (combinação 1).	48
Figura 54 - Conector de confinamento em parede de dois paramentos (esquerda). Sistema de ancoragem com porca e anilha (direita) (adaptado de [22]).	56
Figura 55 - Reforço de ligações de entre paredes ortogonais com recurso a pregagens (adaptado de [22]).....	57
Figura 56 - Esquema da aplicação da força de endireitamento da parede com recurso a placa de distribuição.	58
Figura 57 - Corte longitudinal esquemático do mecanismo de endireitamento da parede do altar.....	58
Figura 58 - Exemplo de pregagens a executar na ligação da parede do altar com as paredes ortogonais.	59
Figura 59 – Aspeto geral da solução de reabilitação da igreja (duas perspetivas).	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério Estético.....	31
Tabela 2 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério de Fiabilidade Estrutural. ...	31
Tabela 3 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério de Custos.	32
Tabela 4 - Ações gravíticas consideradas no pré-dimensionamento da estrutura de cobertura.....	46
Tabela 5 - Pressões do vento na cobertura.	47
Tabela 6 - Combinações de ações.....	47
Tabela 7 - Valores de pré-dimensionamento das vigas metálicas.	50
Tabela 8 - Valores de pré-dimensionamento dos pilares metálicos.	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

As construções, a par de outras obras, fazem desde sempre parte da história da humanidade. O Homem desde sempre construiu para se proteger, para se abrigar, para satisfazer necessidades, para impressionar, por motivos religiosos, etc. Os edifícios antigos são uma representação “viva” dos eventos passados, de culturas e de estilos. Os monumentos e obras de grande expressão despertam mais interesse, pois representam normalmente eventos mais marcantes da história, da ciência e da tecnologia. Compete, por isso, às gerações presentes manter e preservar as construções que nos chegam do passado.

A época dos descobrimentos assinalou a expansão do Império Colonial Português aos continentes Africano, Americano e Asiático. Nessa época, os portugueses, tirando partido dos conhecimentos de navegação marítima, procuraram criar rotas comerciais que lhes permitissem gerar riqueza. Ao chegarem às terras desconhecidas, os descobridores erguiam padrões, que eram marcos de pedra onde estava inscrito o Brasão de Armas de Portugal. À medida que a colonização ia avançando, outras edificações iam sendo erguidas. A religião cristã, predominante em Portugal, era usada como fim de colonização dos povos, pelo que muitas das construções da época eram de caráter religioso e também militar.

Em Angola a construção de igrejas e fortalezas foi feita à medida que se progredia no terreno, partindo do litoral para o interior. Os rios permitiam o uso do meio de transporte fluvial, que era o mais vantajoso tendo em conta os meios disponíveis e o tempo que as mesmas deslocações demoravam a fazer por via terrestre. Um dos rios angolanos que possibilitou esta abordagem foi o rio Cuanza. Ao longo do seu desenvolvimento são encontradas diversas edificações construídas, como as fortalezas de Muxima, Massangano e Cambambe, e respetivas igrejas. Em redor das primeiras duas foram depois crescendo pequenas povoações que hoje em dia ainda existem, mas a Fortaleza de Cambambe, construída no século XVII, terá sido abandonada no séc. XIX, permanecendo desde então ao abandono.

Os conhecimentos de engenharia na época eram maioritariamente empíricos, e a construção era feita sobretudo com os materiais disponíveis em cada local. A Fortaleza de Cambambe é uma construção de alvenaria de pedra ordinária fracamente argamassada, constituída por paredes resistentes, ou mestras, que encaminhavam as cargas provenientes da cobertura até ao solo. Os elementos que compõem a alvenaria são pedras recolhidas nas imediações e argamassas pobres de cal, de barro, ou simplesmente de terra solta. Embora a cobertura atualmente já não exista, é presumível que fosse constituída por elementos de madeira (asnas de cobertura) sobre os quais apoiariam outros elementos de madeira, e ainda por telhas de fabrico rudimentar.

Após o abandono da construção, as intempéries, a par da falta de manutenção, foram atingindo os elementos construtivos, provocando a sua degradação. A água das chuvas essencialmente, mas

também outros agentes, como as variações de temperatura, os agentes biológicos, ou outras ações acidentais, promoveram o aparecimento de anomalias. Inicialmente, a perda dos revestimentos de paredes, a degradação das madeiras e o desaparecimento da cobertura. Mais tarde, já com a estrutura totalmente exposta às ações climáticas, começaram a ocorrer anomalias de carácter estrutural, que transformaram a construção na ruína em que se encontra atualmente. O estado atual da Fortaleza de Cambambe e o seu valor histórico e patrimonial enquanto marco da história dos descobrimentos portugueses no séc. XVII, e também da história de Angola, justificam a consideração de uma intervenção que procure recuperar as características da construção original, ou pelo menos, que permita preservar a ruína, impedindo a sua exposição aos agentes de degradação que acabarão por destruí-la por completo.

1.2 Objetivos do trabalho

O presente trabalho assenta sobre a proposta de uma solução de intervenção para a Fortaleza de Cambambe, baseada na análise geral da estrutura, na sua história, na época da construção e nos materiais empregues. Os elementos de análise são algumas fotografias disponibilizadas pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues, peças desenhadas disponibilizadas pelo Eng. Luís Pereira e toda a bibliografia e documentação encontrada relacionada com a Fortaleza.

O trabalho de reabilitação deve sempre ser composto por algumas etapas fundamentais, de entre as quais: conhecimento do edifício e identificação das anomalias existentes; ponderação das várias intervenções possíveis; projeto de reabilitação propriamente dito. Em primeiro lugar, é sempre necessário conhecer o objeto de uma intervenção antes de equacionar as várias soluções possíveis e de as aplicar. A escolha da solução deve ser ponderada e ter em conta os recursos e as técnicas disponíveis e aplicáveis.

Os objetivos do trabalho são:

- Enquadramento histórico da construção enquanto parte integrante da história dos descobrimentos portugueses e da história de Angola;
- Caracterização da construção e descrição do seu estado atual;
- Identificação das anomalias existentes, das suas causas e consequências (diagnóstico);
- Ponderação das várias soluções possíveis de intervenção e escolha fundamentada de uma solução de reabilitação;
- Elaboração de projeto preliminar para a reabilitação da Fortaleza de Cambambe, tendo em conta a solução escolhida, com identificação dos processos construtivos e técnicas de construção associados, bem como dos materiais empregar.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em 7 capítulos. O presente, Capítulo 1, consiste nalgumas notas introdutórias.

O Capítulo 2 diz respeito ao enquadramento histórico da Fortaleza de Cambambe. São expostos os motivos que levaram à sua construção e os factos que se acham relevantes para compreender o seu valor patrimonial, de acordo com a informação encontrada na bibliografia consultada. Este capítulo é complementado pela descrição daquilo que seria a estrutura original da fortificação e pelas funções que esta teria no âmbito da descoberta da região onde está implantada.

No Capítulo 3 caracteriza-se o estado atual da Fortaleza em termos arquitetónicos, estruturais, não estruturais e identificam-se materiais de construção existentes. São também identificadas as anomalias que ocorrem na estrutura. A caracterização da construção, a identificação das suas anomalias e o seu diagnóstico é um processo fundamental em qualquer trabalho de reabilitação. É com base nos tipos de anomalias existentes que serão analisadas as possíveis metodologias de intervenção, os materiais e as técnicas a empregar.

No Capítulo 4 apresentam-se as várias soluções equacionadas para intervenção e avalia-se o seu desempenho segundo três critérios: critério estético; critério de fiabilidade estrutural; critério de custos. A ponderação das vantagens e inconvenientes associados a cada critério, para as várias soluções, conduz à escolha da solução, também devidamente justificada nesse capítulo.

O Capítulo 5 centra-se no projeto de reabilitação da cobertura. Inicialmente, descreve-se a solução de cobertura proposta. Neste capítulo são também explicados os processos construtivos. Finalmente, apresentam-se alguns cálculos justificativos relativos ao pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

No que diz respeito à reabilitação das paredes da fortaleza, é no Capítulo 6 do trabalho que este tema é desenvolvido. Como enquadramento, explicam-se as principais técnicas de reabilitação de alvenarias de pedra e propõem-se, de forma justificada, as que se acham mais adequadas ao presente trabalho. Neste capítulo procuram também explicar-se os processos construtivos associados às técnicas de reabilitação aplicáveis.

Finalmente, o Capítulo 7 incide sobre as considerações finais e conclusões.

O trabalho é ainda complementado com 3 Anexos. O primeiro é um complemento ao Capítulo 3, com registo fotográfico da estrutura existente. No segundo indicam-se os modelos estruturais das treliças de cobertura bem como os esforços de dimensionamento. No terceiro apresentam-se as peças desenhadas que se acham mais relevantes.

2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DA FORTALEZA DE CAMBAMBE

2.1 Enquadramento histórico

Reinava em Portugal o rei D. João II, em plena época dos descobrimentos, quando foi confiada a Diogo Cão, cavaleiro do rei e navegador, uma armada que tinha como objetivo a continuação da tarefa já então iniciada por Fernão Gomes – avançar ao longo da costa ocidental Africana para sul, fazendo o seu reconhecimento, até se dobrar a ponta sul, o que seria o princípio do caminho para a Índia, desejado desde o início do século XV e planeado pelo Infante D. Henrique [1] [2].

Em 1483 o navegador chegou pela primeira vez ao então chamado Reino do Congo, que mostrando interesse em que o seu povo se instrísse, solicitou ao rei de Portugal que lhe enviasse professores, mestres, operários e outros artífices. O Reino do Congo tornou-se assim vassalo de Portugal [1].

Já mais a sul chegaram os portugueses nas viagens seguintes, ao Reino de Angola, ou N'gola, cujas terras se estendiam até ao rio Cuanza, nas atuais províncias do Bengo, Cuanza Norte, Cuanza Sul e Malange.

A 3 de maio de 1560, Paulo Dias de Novais (Figura 1) chegou à foz do rio Cuanza, onde ficou retido durante 5 anos pelo rei de Angola, Rei de Ndongo Ngola A Kiluanji Inene, que se recusou converter à fé cristã [3]. Após o seu regresso a Portugal, D. Sebastião fê-lo portador de um documento – Carta de Doação (1571) - pelo qual o rei lhe dava todas as terras que ele conquistasse, dentro de limites estabelecidos, e sobre as quais teria direitos e deveres de governação que se comprometia a cumprir perante o Rei e perante a Nação.

No dia 20 de fevereiro de 1575, Paulo Dias de Novais desembarcou pela segunda vez em terras de Angola, na ilha de Luanda, onde permaneceu com os restantes durante alguns meses. Foi também aí que Novais construiu o primeiro fortim de taipa, num local sobranceiro ao mar, que lhe permitia boas condições de defesa. Terá sido por essa altura que começaram as expedições portuguesas pelo interior do continente Africano, tendo para isso feito uso da navegabilidade do rio Cuanza, que permitiu a penetração das hostes e o aproveitamento de terras férteis que não existiam na região vizinha da baía de Luanda [3].

À medida que progrediam por terras desconhecidas, e que as vitórias e os triunfos militares o permitiam, os portugueses, chefiados por Paulo Dias de Novais, foram erguendo os primeiros presídios e fortalezas que permitiam não só a defesa da posse das terras conquistadas, mas também aquartelavam a guarnição armada de que se dispunha [4].



Figura 1 - Paulo Dias de Novais, governador e capitão-mor, tinha como missão expandir a conquista das terras para norte, centro e sul do território do Reino de Angola [26].



Figura 2 - Retrato de Manuel Cerveira Pereira [27].

Um dos motivos que levaram Novais a introduzir-se pelo interior de Angola terão sido as minas de prata que supostamente existiam nas serras de Cambambe, uma lenda já conhecida dos portugueses, e que naturalmente lhes exercia um enorme fascínio [5] [6].

Em 1583, esperando por socorros que lhe faltavam devido à falta de mantimentos e munições, depois de ter vencido uma batalha em Massangano, Paulo Dias de Novais levantou uma forte defesa, a Fortaleza de Massangano. Deste local já conseguia avistar as terras de Cambambe, cada vez mais cobiçadas pelos conquistadores devido à suposta existência das minas.

Após uma ofensiva contra o Reino de Angola, em 1589, morreu Paulo Dias de Novais sem que os portugueses tenham conseguido alcançar as minas de Cambambe. No entanto, o domínio do povo lusitano já se impunha nalgumas zonas da região, tais como Ilamba, Moseque e até grande parte de Cambambe [4].

Em 1602, Manuel Cerveira Pereira (Figura 2) assumiu o cargo de governador, tendo chegado às serras de Cambambe em 1604, comandando um exército de cerca de 50 soldados. Cerveira Pereira moveu guerra ao soba Cambambe, aliado da rainha Ginga, então chefe dos Reinos de Ndongo e de Matamba, e ordenou então a construção de uma fortaleza naquela terra [7].

Depois da construção da fortaleza e da sua guarnição com um exército de cerca de 250 soldados, Manuel Cerveira Pereira decidiu iniciar a busca das tão faladas minas de prata que existiriam naquela região. No entanto, a existência das minas revelou-se uma miragem, tendo os portugueses constatado que em Cambambe não havia prata. O único metal que se encontrou na região foi o chumbo. Perdido o interesse da exploração mineira em Cambambe, o interesse da região resumiu-se apenas à sua localização estratégica para a pacificação da região e o resgate de escravos, que se fazia nas feiras [6].

Em 1640, data da restauração da independência, D. João IV é aclamado rei de Portugal. Um ano depois, a notável obra progressiva realizada em terras de Angola voltou a ser perturbada e paralisada pela incursão de piratas e mercenários Holandeses e Flamengos da chamada “Companhia das Índias

Ocidentais”, que pretendiam explorar as terras enriquecidas pelo trabalho dos povos civilizadores [1]. Governava o capitão-mor Pedro César de Meneses [4]. Os portugueses, em menor número e enfraquecidos pelas constantes lutas, retiraram-se para Muxima, Massangano, Cambambe e restantes presídios junto do rio Cuanza (Figuras 3 e 4), onde se defenderam e combateram, tratando dos doentes e dos feridos. Foi junto destas fortificações que se afirmou o domínio português, enquanto os holandeses dominavam o litoral.



Figura 3 - Muxima, Massangano e Cambambe. As principais fortificações ao longo do Rio Cuanza (imagem *Google Maps* editada).

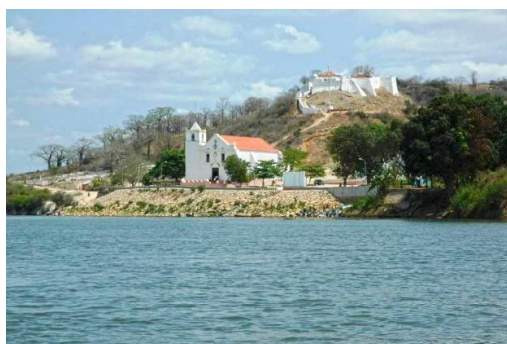


Figura 4 - Fortalezas e igrejas: Muxima à esquerda [11]; Massangano à direita [32].

A 12 de maio de 1648, Salvador Correia de Sá e Benevides, também conhecido como Restaurador de Angola (Figura 5), sob ordens de D. João IV, juntou quinze navios com novecentos homens provenientes do Brasil, e dirigiu-se para Angola a fim de libertar os portugueses do domínio holandês. A 15 de Agosto de 1648, os holandeses renderam-se, tendo-se os portugueses de Massangano e Cambambe reunido aos vencedores [8].



Figura 5 - Retrato de Salvador Correia de Sá e Benevides [28].

Perdido o interesse na exploração mineira em Cambambe, passou esta localização a ser um centro de contacto civilizacional e a ter útil atividade por servir de convergência entre rotas de transportação de produtos do interior para o litoral, e vice-versa, devido à maravilhosa via de comunicação natural que era o rio Cuanza.

Cambambe foi perdendo importância política, administrativa e estratégica devido à criação de outros meios de transporte (essencialmente estradas e caminhos de ferro) que arrastaram consigo a prática das atividades comerciais. A Fortaleza de Cambambe terá sido habitada e preservada até meados do século XIX, data a partir da qual se terá sujeitado ao abandono no qual se encontra até ao início do século XXI (2016) [1]. Desde 1925 que a fortaleza de Cambambe é classificada como património histórico-cultural e Monumento Nacional em Angola [9].

2.2 A Fortaleza de Cambambe

A primeira fortaleza construída em Cambambe foi mandada edificar pelo governador Manuel Pereira Cerveira em 1604, após uma batalha travada com o soba Cambambe. O governador apercebeu-se que as serras de Cambambe eram, por natureza, um local estratégico para a construção de um forte, dado a sua proximidade com o rio Cuanza, o que permitia o seu abastecimento, e a vista de que se dispunha do alto da serra [10]. A fortificação “Estava construída sobre uma ponta em ângulo, com extraordinárias condições defensivas, pois era rodeada de água por dois lados e só o terceiro lado tinha uma estreita passagem para terra. O local tinha ótimas condições estratégicas e para o tornar inexpugnável bastaria somente construir uma muralha no lado oposto ao vértice”. O governador ter-se há aproveitado da configuração do terreno para erguer uma “fortaleza em triângulo, ampla e desafogada, dentro da qual se elevou uma pequena povoação” [6]. A fortaleza seria uma construção simples de taipa, e teria no bastião uma igreja que se tinha erguido sob a invocação de Nossa Senhora do Rosário. A muralha da fortaleza teria à frente um fosso e, afastados de alguns metros, existiriam baluartes salientes materializados por montes de terra em talude [6]. “Na distância de 600 pés (da segunda fortaleza) aproximadamente, olhando para sul, ainda se avistam os restos das primeiras fortificações – fosso e outras obras de defesa – feitas pelos nossos maiores quando foram a descobrir e civilizar aqueles povos [...]. Os ditos restos assentam sobre uma grande ponta, que entra pelo rio, formando com a

saliência da margem oposta uma comporta que tem a denominação de Portas do Cuanza. É deste lugar que o rio só pode ser navegável até à sua foz [...]” [6].

Esta segunda fortaleza referida foi mandada construir em 1646 pelos administradores coloniais António Teixeira de Mendonça, João Zuzarte de Andrade e Bartolomeu Vasconcelos da Cunha, alegando a fragilidade da primeira construção. A nova fortaleza seria em “taipa de pilão com baluartes, trincheiras e fosso”. No seu interior teria sido construída a casa do Corpo da Guarda, um armazém para munições, uma casa para o capitão, quartéis para os soldados e casas para os moradores do presídio. Nos baluartes existiriam peças de artilharia de pequeno calibre, em bronze, e “falcões e esmerilhões” (termos militares antigos para canhões e peças de artilharia) [6].

D. João de Lencastre, capitão-geral de Angola, mandou construir uma nova fortaleza em 1691 (Figura 6), sendo esta já a terceira fortaleza existente em Cambambe, depois da primeira construída em 1604 e a segunda em 1646. São as ruínas desta edificação que, embora massacradas pelas intempéries, persistem até aos nossos dias.



Figura 6 - Ilustração das margens do Rio Cuanza no início do séc. XIX. (Autor desconhecido). É possível observar ao fundo do lado direito a fortaleza de Cambambe no alto da colina [44].

O forte formava um quadrilátero com baluartes nos quatro vértices (Figuras 7 e 8). Era uma construção bastante espaçosa e delineada conforme os modelos da arte militar da sua época. A porta de armas desta nova fortaleza, de contorno barroco, estava coroada pelo Escudo da Restauração da Independência, e por uma lápide que continha a seguinte inscrição: “*Este forte mandou fazer o Sr. D. João de Alencastre governador e capitão general destes reinos – anno de 1691*” (Figura 9) [6]. Note-se que esta construção (Figura 7) apresenta já uma arquitetura totalmente diferente da arquitetura das fortalezas de Muxima e Massangano, compreendida pela data da sua construção (mais de um século após as duas primeiras).

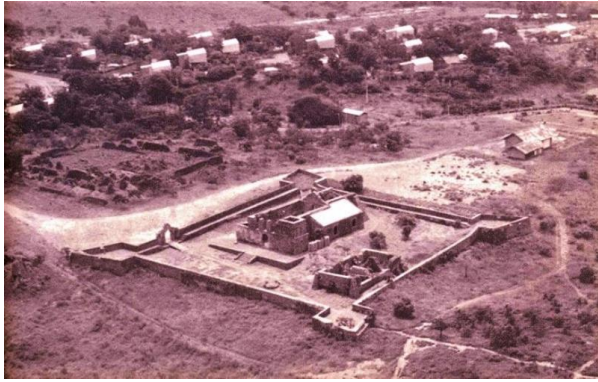


Figura 7 - Ruínas da fortaleza de Cambambe (provavelmente na segunda metade do séc. XX), de planta quadrangular com baluartes nos vértices [45].



Figura 8 - Os muros da fortaleza de Cambambe, de planta quadrangular com baluartes nos vértices. (imagem *Google Maps* editada).



Figura 9 - Arco da porta de armas da fortaleza (1965 à esquerda e 2008 à direita), coroado com o Escudo da Restauração, e por uma lápide com a seguinte inscrição: “Este forte mandou fazer o Sr. D. João de Alencastre governador e capitão general destes reinos – anno de 1691” [29].

Esta fortaleza voltou a ser restaurada em 1730 ou 1731. No seu interior foi erguida novamente uma igreja sob a proteção de Nossa Senhora do Rosário. Desta feita, o templo era uma construção de alvenaria de pedra e barro com “argamassa elementar de cal e arenito sob forma xistosa” [9]. Era uma igreja típica do séc. XVII, de arquitetura muito sóbria e robusta, o que é de compreender uma vez que o templo existe no interior de uma fortaleza, um local onde os acabamentos decorativos da época, já por si tão simples, não tinham grande cabimento, ainda mais dado o difícil acesso ao local [6].

Na capela-mor o estilo arquitetónico predominante era o barroco, com ornamentação em relevo e pintada [1]. No interior da capela existia um arco de volta perfeita em tijoleira ao centro e dois laterais (Figura 10). No local do altar, onde se celebrava o culto, existiam colunas salomónicas e um arco de pedra já emoldurado e enriquecido com fecho, pilastra de capitel ornado, molduras superiores rematadas em aletas e nichos com mísulas. Este conjunto arquitetónico parece enquadrar-se temporalmente no final do séc. XVII ou até no início do séc. XVIII (Figura 11).



Figura 10 - Ruínas do interior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2008) [31].



Figura 11 - Ruínas do altar da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2014) [12].

A fortaleza de Cambambe e em particular a Igreja de Nossa Senhora do Rosário foram deixadas ao abandono a partir de meados do séc. XIX [1]. Desde então, estas construções deixaram de receber qualquer tipo de intervenções de manutenção pelo que o seu estado atual se classifica como ruína (Figuras 12 e 13).



Figura 12 - Ruínas do interior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (2008). Fotografia de A. Dimas Neto [31].



Figura 13 - Ruínas do exterior da Igreja de Nossa Senhora do Rosário (1965) [45].

3 ESTADO ATUAL DA IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO DA FORTALEZA DE CAMBAMBE

3.1 Considerações Gerais

Este capítulo diz respeito à descrição do estado atual da Igreja de N. Sr.^a do Rosário, um ponto chave para o desenvolvimento do trabalho de reabilitação. Procede-se a uma análise arquitetónica, estrutural e não estrutural da construção e dos seus elementos e faz-se o levantamento das dimensões mais relevantes, tentando, sempre que possível, fazer a reconstituição do estado inicial da Igreja. O levantamento das dimensões é feito com base nas peças desenhadas em suporte digital disponibilizadas pela C.N.O., com base nas fotografias disponibilizadas pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues, e com base noutras fotografias obtidas durante a fase de pesquisa bibliográfica do trabalho, pelo que se devem encarar as dimensões como aproximadas e não como necessariamente exatas.

Por último, enumeram-se e descrevem-se as principais anomalias identificadas na igreja de N. Sr.^a do Rosário da Fortaleza de Cambambe. Para cada anomalia procuram identificar-se quais os motivos (causas) da sua ocorrência, a sua localização e extensão, e algumas possíveis consequências de não ser feita nenhuma intervenção ao nível da reabilitação da construção.

No Anexo A apresentam-se algumas fotografias disponibilizadas pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues, cuja observação é de todo o interesse para melhor compreensão da construção em causa. No Anexo C é possível consultar o Desenho nº 1, relativo ao levantamento das dimensões relevantes.

No âmbito deste trabalho não foi efetuada qualquer deslocação ao local da construção. Esta deslocação seria de todo interessante não só para inspeção visual da construção e para levantamento arquitetónico e dimensional, mas também para melhor compreensão dos elementos construtivos constituintes, como elementos pétreos e argamassas. Seria também interessante para melhor identificação e caracterização de anomalias, por exemplo: medição da abertura de fendas e sua variação no tempo e avaliação do estado de desagregação da alvenaria.

3.2 Arquitetura da Igreja de N. Sr.^a do Rosário

A Igreja de N. Sr.^a do Rosário é uma construção de planta aproximadamente retangular, com dimensões aproximadas de 11 metros de largura por 30 metros de comprimento (medidas pelo exterior), dividida no interior em três compartimentos, e com um compartimento anexo exterior.

Na fachada principal, a que é orientada a Norte, há dois corpos laterais que se distinguem da restante planta retangular. A comparação da arquitetura da Igreja de N. Sr.^a do Rosário com as outras igrejas na região construídas na mesma época (Muxima e Massangano, por exemplo) leva a presumir que um destes corpos laterais seria a base de uma torre de campanário, característica da arquitetura deste tipo de construções. Dada a altura das paredes do corpo que existe do lado direito, que se elevam

relativamente às paredes laterais da igreja, pode dizer-se que muito provavelmente seria ali a base da torre de campanário (Figuras 14 e 15). Não se sabe ao certo qual seria a função do corpo do lado esquerdo. Uma possibilidade seria a existência de duas torres de campanário, sendo este a base da segunda. Esta hipótese, no entanto, pode não ser plausível uma vez que as outras igrejas referidas apenas apresentam uma torre. A função deste corpo admite-se assim desconhecida. Estes dois corpos têm uma geometria quadrangular em planta, de lado aproximado 5 metros.



Figura 14 - Fachada principal da igreja de N. Sr.^a do Rosário em Cambambe [12].



Figura 15 - Fachada principal da igreja de Massangano [32].

O compartimento anexo exterior localiza-se do lado direito em planta e apresenta também uma geometria retangular com dimensões aproximadas de 5 metros de largura por 15 metros de comprimento.

Ainda no exterior existem quatro contrafortes, dois nos cantos da fachada tardoz e dois nas fachadas laterais. Os contrafortes não apresentam nenhuma geometria de referência, sendo que ao nível térreo salientam-se cerca de 3 metros das respectivas fachadas, com inclinação constante ao longo do seu desenvolvimento em altura (Figura 16).



Figura 16 - Dois contrafortes existentes na fachada lateral esquerda [12].

No interior da igreja existem duas salas principais, sendo uma delas a sala do altar, onde se praticava o culto, e a outra uma ante-câmara, uma espécie de nártex (zona de entrada do templo destinada às pessoas que não podiam assistir ao ofício divino). Estas duas salas estão separadas por uma parede

mestra com cerca de 2 metros de espessura. A sala do altar, mais pequena, tem uma área aproximada de 16 metros quadrados, a ante-câmara tem uma área aproximada de 66 metros quadrados. Existe ainda um pequeno compartimento atrás do altar de área reduzida (Figuras 17 e 18).

Note-se que a região da zona da sala do altar apresenta um desalinhamento das paredes laterais relativamente à região da ante-câmara (Figuras 17 e 18), o que levanta a possibilidade desta última região ter sido construída numa fase posterior, como que numa ampliação daquilo que seria uma capela inicial constituída apenas pela região da sala do altar.

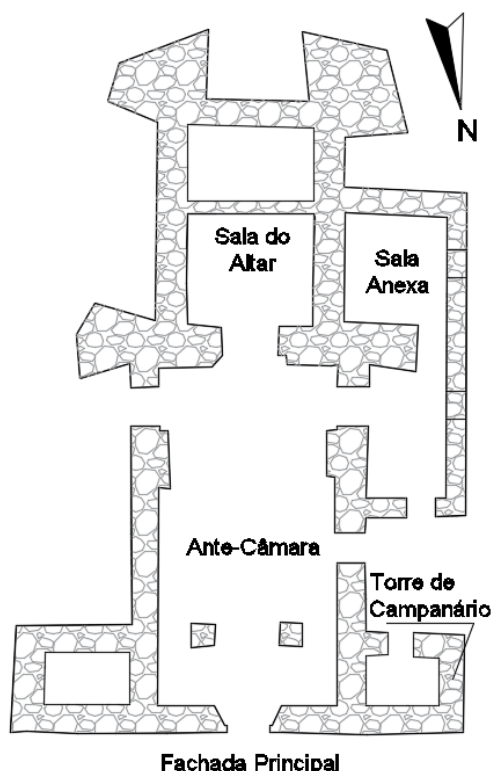


Figura 17 - Planta esquemática da construção existente.

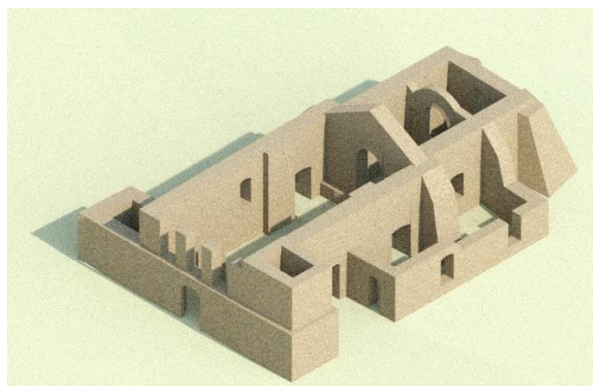
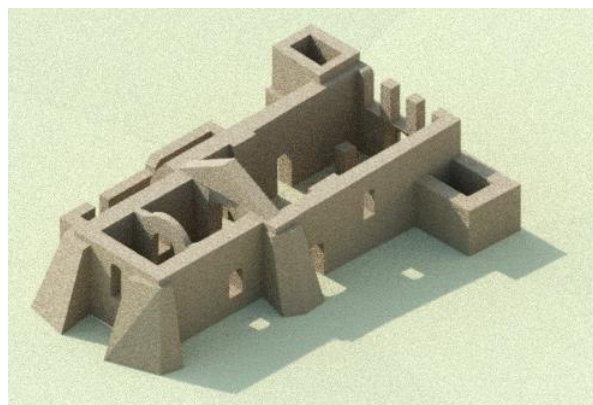


Figura 18 - Modelo em 3 dimensões da construção existente (duas perspetivas).

Na parede entre a sala do altar e ante-câmara existe ao centro um arco de volta perfeita, que permite a abertura do vão por onde se efetua a passagem. Este vão tem 2,70 metros. Na mesma parede existem também dois outros arcos. Destes últimos, o do lado esquerdo corresponderia ao local onde estava um painel, e o do lado direito seria um nicho. Todos os arcos são em alvenaria de tijolo maciço (Figura 19). Um elemento também interessante do ponto de vista arquitetónico é o friso que é possível observar não só nesta parede, mas também em todas as paredes interiores da ante-câmara, da sala do altar, e na parede exterior da fachada principal.

A parede atrás do altar apresenta-se mais ornamentada, tendo uma grande abertura materializada também por um arco de volta perfeita em tijoleira, aparentemente mais robusto e com arquivolta mais elaborada dado a importância religiosa do local. Este arco vence um vão de cerca de 2 metros. Nas zonas de descarga do arco existem pilastras com capitel ornado, nichos e colunas salomónicas que indicam uma arquitetura de inspiração barroca. Abaixo dos nichos, dois pequenos vãos de cerca de 90

centímetros, materializados com lintéis de pedra, permitem o acesso ao compartimento por detrás do altar (Figura 20). Esta parede tem cerca de 60 centímetros de espessura.

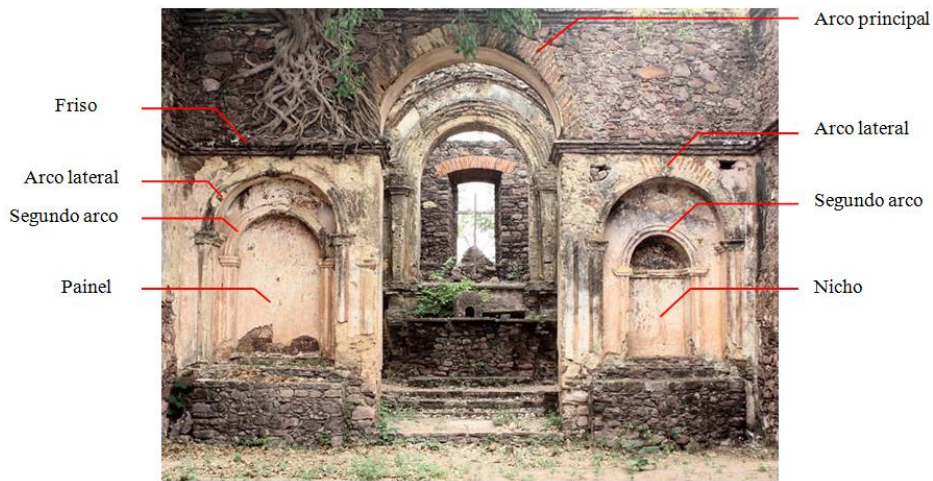


Figura 19 - Ornamentação da parede divisória entre a ante-câmara e a sala do altar [31].

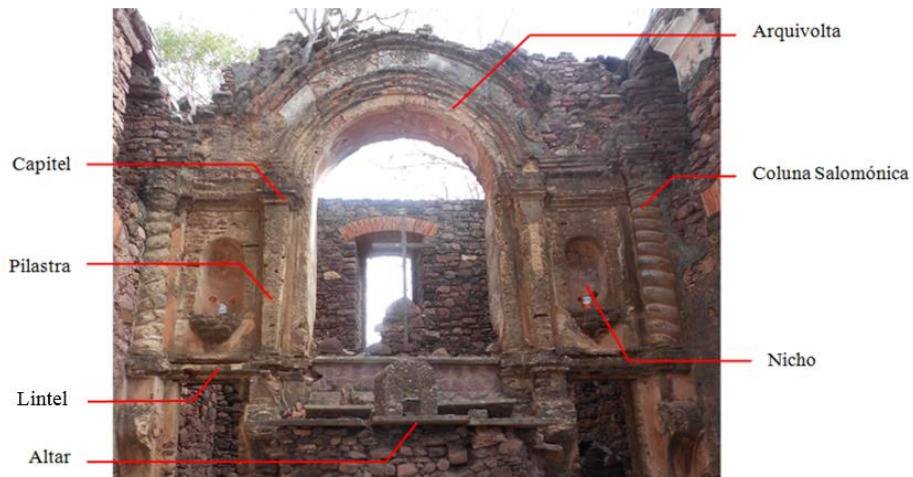


Figura 20 - Ornamentação da parede do altar [12].

Existem três entradas de acesso à ante-câmara. Uma delas localiza-se na fachada principal, outra na parede do lado esquerdo junto do contraforte, e outra na parede do lado direito na zona entre a sala anexa e a base da torre de campanário. Também no tardo da torre de campanário há uma abertura que permite a passagem para o seu interior (Figura 21). O acesso à sala anexa faz-se pelo exterior através de uma entrada existente junto da fachada lateral direita, na parede paralela ao tardo da base da torre de campanário. A comunicação entre a sala anexa e a ante-câmara é possível graças a uma passagem aberta na parede que as separa. Já o acesso à sala do altar faz-se unicamente por via da ante-câmara, não havendo nenhuma passagem direta para o exterior.

Na fachada lateral esquerda existem duas janelas, uma correspondente à ante-câmara e outra à sala do altar. Estas janelas existem de forma simétrica na fachada lateral direita, não diretamente para o exterior, mas sim para a sala adjacente, o que leva a presumir que esta sala terá sido construída depois do corpo principal da igreja e que não terá sido inicialmente planeada. Existe também uma abertura na

parede da fachada tardoz, no compartimento atrás do altar, alinhada com os arcos interiores (Figura 22).



Figura 21 - Tardoz da torre de campanário e fachada lateral direita da igreja [12].



Figura 22 - Parede tardoz da igreja [12].

Na ante-câmara, junto da entrada principal, existem ainda duas colunas de secção quadrangular com aproximadamente 1 metro de lado. Pensa-se que estas colunas serviriam de suporte a elementos decorativos e de iluminação, não tendo uma função estrutural.

As paredes têm, em média, entre 6 e 7 metros de altura, cota à qual assentaria a estrutura da cobertura que atualmente já não existe. No entanto, a parede divisória entre a ante-câmara e a sala do altar apresenta uma geometria triangular no topo, sendo ali o ponto mais alto da estrutura. Esta geometria triangular sugere que a cobertura que outrora existiu seria uma cobertura a duas águas. A comparação com as outras igrejas da época mencionadas acima sugere também a existência deste tipo de cobertura (Figura 23).



Figura 23 - Vista do tardoz da igreja de Muxima e da sua cobertura a duas águas [11].

3.3 Elementos estruturais da Igreja de N. Sr.^a do Rosário

3.3.1 Fundações

Neste tipo de construção as fundações são habitualmente diretas e constituídas apenas pela simples continuação das paredes resistentes para dentro do terreno. Podem por isso ser interpretadas de forma semelhante à estrutura de sapata contínua. Estas sapatas podem ou não sofrer um alargamento relativo à espessura das paredes, que se justifica essencialmente por: necessidade de criar maior área de contacto entre parede e terreno devido à fraca capacidade resistente deste; o material das

fundações ser mais pobre do que o das paredes; necessidade de absorver erros associados à construção destes elementos construtivos [13]. Algumas vezes a base deste tipo de fundações eram reforçadas com uma camada de rocha contínua e são.

A correta identificação do tipo de fundações e material existente implicaria a realização de sondagens, nomeadamente através da abertura de poços de inspeção junto à base das paredes e até a cota de fundação. A realização destas sondagens teria especial interesse também para observação do terreno de fundação e determinação das suas características, estado de conservação dos elementos construtivos e deteção de anomalias.

3.3.2 Paredes

As paredes resistentes (ou mestras) são as paredes que representam um papel relevante na estrutura do edifício no que se refere à resistência a cargas verticais (como o peso próprio e outras de natureza gravítica) e também a forças horizontais (como o vento ou forças de natureza sísmica) [13].

As paredes da fortaleza que ainda existem atualmente são paredes resistentes, o que facilmente se compreende pela sua considerável espessura. Estas paredes são de alvenaria e dispõem de uma elevada resistência à compressão e uma reduzida resistência à tração e ao corte. A largura das paredes implica um aumento do seu peso próprio e conseqüente aumento da capacidade para resistir a forças deslizantes ou derrubantes. Por outro lado, uma maior área de implantação das paredes também representa uma maior capacidade resistente às forças verticais. A espessura é também uma forma de diminuir o risco de instabilidade por encurvadura, uma vez que uma parede mais larga será menos esbelta.

As paredes de alvenaria podem ser classificadas quanto: ao tipo de material; à existência ou não de argamassa de assentamento; ao tipo de aparelho. Na fortaleza de Cambambe as paredes são de alvenaria de pedra ordinária argamassada, composta por pedras de diferentes dimensões aparelhadas e também alguns tijolos maciços e outros elementos cerâmicos inseridos numa matriz de argamassa. Nalgumas zonas de parede verifica-se que a argamassa de assentamento é escassa ou até inexistente e que não existe aparelhamento das pedras sendo por isso razoável classificar-se a alvenaria nessas zonas como alvenaria de pedra seca não aparelhada [14] (Figura 24).



Figura 24 - Parede de alvenaria de pedra ordinária argamassada (esquerda). Parede de alvenaria de pedra seca (direita). Ambas as imagens dizem respeito às paredes da Igreja de N. Sr.^a do Rosário.

Os vãos de portas e janelas são materializados por arcos de descarga abatidos de tijolo cerâmico maciço disposto ao cutelo (Figura 25). Não só os arcos, mas também as faces verticais do contorno das aberturas estão reforçadas com argamassa. Este reforço, que conta também com a introdução de tijolos na parede, dotando-a de maior capacidade resistente, prende-se com o facto destas zonas na periferia das aberturas serem zonas frágeis e de grande concentração de tensões. A utilização dos arcos de tijolo justifica-se pelo facto de se tratar de um edifício com relativa nobreza e de carácter religioso. Teria sido menos morosa a construção com a utilização de lintéis de madeira ou de pedra. No entanto os primeiros correriam o risco de apodrecimento e os segundos poderiam provocar danos bastante significativos na estrutura no caso da ocorrência da sua rotura frágil. A utilização destes elementos cerâmicos nos arcos de descarga parece enquadrar-se numa época posterior ao século XVII, pelo que é possível que aqueles elementos tenham sido reconstruídos numa intervenção de restauro ou reabilitação posterior à data da construção da Igreja.

Os contrafortes exteriores têm como principais funções o reforço da estrutura no que diz respeito à capacidade resistente às ações horizontais, a consolidação de arcos e a melhoria da ligação entre paredes ortogonais. Na realidade, é possível verificar que os contrafortes se localizam no alinhamento da parede mestra divisória da ante-câmara e a sala do altar, onde existem arcos de descarga em tijolo maciço. A função desses contrafortes é resistir aos impulsos horizontais que os respetivos arcos exercem sobre as paredes exteriores, de forma a impedir o seu colapso por derrubamento. Os restantes contrafortes, localizados nos cunhais da fachada tardoz, são extremamente importantes pois permitem o travamento das paredes ortogonais entre si, o que se revela essencial para assegurar a resistência e estabilidade da estrutura como um todo. Os próprios corpos exteriores existentes em ambos os lados da fachada principal, desempenham de certo modo a mesma função.

As pedras são irregulares, toscas e angulosas. Não se observa aparentemente o uso de perpianhos nem de outros elementos transversais às paredes que teriam como função evitar o abaulamento e esboroamento, e também aumentar a resistência ao corte, reduzindo a ocorrência de fendilhação e de outras anomalias. As pedras foram dispostas de forma a que os espaços livres deixados pela disposição das de maior dimensão fossem preenchidos pelas de menor dimensão. (Figura 26). A função de travamento no plano perpendicular ao da parede está assegurada, tanto quanto possível, apenas pelo imbricamento dos vários elementos.



Figura 25 - Arco de descarga de uma das janelas da Igreja [31].



Figura 26 - Disposição das pedras sem colocação de elementos transversais. Esta parede diz respeito a uma construção independente da Igreja de N. Sr.ª do Rosário.

3.3.2.1. Argamassas

As argamassas usadas em edifícios de carácter militar da época, tal como a fortaleza de Cambambe, em que se pretendiam resistência e durabilidade consideráveis, eram constituídas essencialmente por cal aérea e agregados provenientes do próprio local de construção, podendo até por vezes ser simplesmente de terra ou barro [15].

A argamassa de assentamento da alvenaria atualmente já não existe em grande parte das zonas de parede visíveis. Verifica-se também que o uso desta argamassa foi feito de forma pouco homogénea pois nalgumas zonas observa-se que os espaços vazios entre as pedras de maiores dimensões foram preenchidos apenas com pedras de pequenas dimensões e não com argamassa de assentamento.

As argamassas de revestimento (rebocos) que, à semelhança das restantes, apenas se podem observar nalgumas zonas singulares, seriam muito provavelmente também à base de cal aérea e areia ou silte. Refira-se, no entanto, que este elemento construtivo, por ser o mais exposto às intempéries e a outras ações de degradação, poderá ter sofrido intervenções de restauro e/ou de substituição. Essas intervenções podem ter sido feitas com recurso a argamassas com diferentes constituições, como a utilização de agregados de origens distintas ou com granulometrias diferentes, ou até utilizando outro tipo de ligantes (Figura 27). A correta determinação dos constituintes das argamassas empregues poderia fazer-se com recurso a outras técnicas de diagnóstico mais avançadas, que saem do âmbito deste trabalho.

3.3.2.2 Pedra

As pedras usadas nas paredes da igreja são na sua maioria ou até na totalidade provenientes da própria região de Cambambe, uma vez que à época da construção do templo o transporte de materiais a grandes distâncias era uma tarefa bastante morosa.

Sabe-se que a região de Cambambe está situada, do ponto de vista geológico, numa zona onde ocorre um conjunto de rochas sedimentares [16] [9]. Assim, as pedras existentes nas paredes da fortaleza são

rochas sedimentares consolidadas de pequena e média dimensão, de tonalidade castanha e por vezes roxa [29] (Figura 28).



Figura 27 - Diferentes tipos de argamassas de revestimento na parede junto da entrada principal da Igreja [12].



Figura 28 - Rocha utilizada nas paredes da Fortaleza de Cambambe. Amostra disponibilizada pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues.

3.3.3 Cobertura

A estrutura de suporte da cobertura, tendo em conta a época da construção desta igreja, seria constituída por asnas de madeira apoiadas nas paredes resistentes laterais, e por madres de cobertura também de madeira. Esta estrutura já não existe atualmente por força das ações de degradação e da falta de manutenção que se explicam em 3.5.2.2.

3.4 Elementos não estruturais da igreja de N. Sr.^a do Rosário

Dentro deste grupo de elementos enquadram-se as caixilharias de portas e janelas, revestimentos de paredes e de pisos (incluindo pinturas), telhas da cobertura, elementos decorativos, etc. À exceção de algumas zonas singulares, em especial os revestimentos da parede do altar e da parede que separa a ante-câmara da sala do altar, estes elementos já não existem à data da realização deste trabalho, como se percebe pelo menor período de vida útil em comparação com os elementos estruturais e pela falta de ações de manutenção. Os revestimentos de parede que ainda se podem observar são constituídos por uma argamassa de reboco, cuja constituição será semelhante à das argamassas de assentamento, com base em cal aérea e areia.

3.5 Anomalias

3.5.1 Considerações Gerais

Os elementos construtivos da Fortaleza de Cambambe, construída no século XVII, já há muito terão excedido o seu período de vida útil, pelo que se verifica a ocorrência de anomalias muito relevantes. O conhecimento dos motivos que deram origem ao aparecimento das anomalias (diagnóstico) é importante, pois sempre que possível devem ser eliminados, de forma a impedir que as mesmas anomalias voltem a ocorrer, pelo menos durante um dado período de tempo estabelecido. De referir

que a existência de algumas anomalias (anomalias de construção) pode estar relacionada com os métodos construtivos e materiais de construção utilizados na época, sobre os quais o único conhecimento adquirido seria de carácter empírico.

Uma vez que os elementos não estruturais e a estrutura de suporte da cobertura já não existem à data da realização deste trabalho, será feita apenas uma pequena referência às causas que podem ter estado por detrás da sua degradação, pelo que o trabalho não se torna exaustivo neste âmbito.

A identificação das anomalias é feita com base no material fotográfico disponível. Para uma inspeção mais detalhada da estrutura seriam necessárias outras abordagens, em particular a deslocação ao local com observação visual, realização de ensaios *in situ* e recolha de amostras realização para ensaios em laboratório.

3.5.2 Anomalias em elementos estruturais

3.5.2.1 Paredes

3.5.2.1.1 Fendilhação

A fendilhação é uma das principais anomalias de carácter estrutural que se verificam em paredes de alvenaria de pedra. Uma fenda pode ser definida como uma abertura relativamente profunda num elemento contínuo de parede, com desenvolvimento longitudinal e sempre associada à fraca resistência à tração do elemento construtivo. Nas paredes de alvenaria de pedra ordinária argamassada ou alvenaria de pedra seca as aberturas desenvolvem-se geralmente pelas juntas entre os elementos pétreos. Os principais fatores que podem levar à ocorrência de fendilhação em paredes deste tipo são os seguintes:

- Assentamentos diferenciais das fundações que provocam o deslocamento de uma zona de parede em relação a outras, e conseqüente aparecimento de tensões de tração às quais o material não tem capacidade para resistir;
- Impulsos horizontais devidos ao abatimento de arcos e abóbodas, ou produzidos por anomalias nas estruturas de suporte de coberturas (asnas por exemplo);
- As variações higrotérmicas, associadas à ausência de juntas de dilatação, que provocam expansões e contrações da alvenaria;
- A existência de vãos (portas e janelas) com apoios deficientes ou em que os arcos de descarga não possuem suficiente resistência pode originar deformações nas paredes e respetivas fendas por tração;
- O desligamento entre elementos de parede interligados ortogonalmente que pode estar associado a variações higrotérmicas, impulsos da cobertura, assentamentos diferenciais, deficiente ligação entre os elementos por falta de perpianhos, tirantes, ou blocos de travamento;
- Ações acidentais tais como sismos, choques, etc.

Nas paredes de alvenaria da estrutura podem verificar-se a existência de anomalias de fendilhação em vários locais. Um deles é ligação entre as paredes tardo e lateral esquerda, ortogonais entre si (Figura

29). Estas fendas desenvolvem-se não só no topo da parede, mas também ao longo de grande parte da altura do contraforte, com aproximadamente 6 metros no total. A abertura das fendas é variável, podendo atingir cerca de 5 centímetros na zona do topo da parede. A ocorrência destas fendas pode estar associada às seguintes causas:

- impulsos horizontais da estrutura de suporte da cobertura;
- movimentos relativos entre as paredes devido a variações de temperatura ou de humidade e ausência de juntas de dilatação;
- mau funcionamento da estrutura como um todo (falta de elementos de ligação entre as paredes);
- assentamento diferencial ao nível das fundações das paredes.

Outro local onde é nitidamente observável o fenómeno de fendilhação é nas ligações da parede do altar com as paredes laterais. Neste caso as fendas localizam-se na metade superior da parede, com uma extensão aproximada de 2 a 3 metros e também com maior abertura no topo (Figura 30). A causa desta anomalia prende-se sobretudo com o desligamento das paredes por falta de elementos de ligação, e com uma anomalia de deformação da parede do altar que será explicada no ponto 3.5.2.1.4.

No arco do altar, na secção de meio vão, também é possível constatar a existência de uma fenda de desenvolvimento horizontal. A causa mais provável para a existência desta parece prender-se com o abatimento desse arco, que conduziu ao aparecimento de tensões de tração na sua face inferior (Figura 30).

As duas localizações referidas são onde as fendas se mostram mais relevantes, podendo haver outras zonas onde fenómeno se manifeste de forma mais moderada. É possível que noutros locais sejam encontradas fissuras que afetam apenas a superfície das paredes ou os acabamentos. Se não for tomada qualquer medida de reparação, esta anomalia pode preceder o aparecimento de outras anomalias, como a desagregação da alvenaria, a perda de elementos pétreos da parede, a perda de capacidade resistente da parede, por exemplo [13] [14].



Figura 29 - Fendilhação na junção das paredes de tardoz e lateral direita e no respetivo contraforte [12].



Figura 30 - Várias fendas visíveis na parede do altar [12].

.2.1.2 Desagregação da alvenaria

A desagregação da alvenaria é uma anomalia generalizada se define pelo destacamento de grânulos ou cristais à mínima solicitação mecânica. Resulta de um conjunto de fatores de várias naturezas que começam com a fissuração do revestimento. Sem que se tomem medidas de conservação, a perda do revestimento é inevitável, após a qual a alvenaria passa a estar desprotegida e sujeita aos agentes climáticos que acabarão por provocar a sua desagregação. O principal agente é a água, que começa por se infiltrar na parede, onde forma percursos e vazios que levam à formação de zonas fracas. Este processo geralmente inicia-se pelas juntas entre pedras e tijolos. Evidencia-se neste caso não só a ação física de desgaste, mas também a ação química de dissolução. Para a desagregação da alvenaria contribuem também as contrações e dilatações devido à alternância de calor e frio e a ação do vento que pode tornar-se abrasiva, principalmente no caso deste transportar poeiras ou outras partículas sólidas que em contacto com os elementos construtivos os podem erodir. A desagregação da alvenaria pode levar à alteração das características mecânicas. A uma fraca resistência à tração e ao corte, já características da alvenaria como solução construtiva, adiciona-se uma considerável perda de resistência à compressão que pode conduzir a danos graves neste tipo de estrutura.

Esta é uma anomalia de carácter generalizado, como já se disse, e é observável um pouco por toda a estrutura. A título de exemplo, expõem-se os casos da parede junto da porta principal da Igreja e do interior da zona da ante-câmara (Figura 31). A argamassa de assentamento da alvenaria, que nalgumas zonas poderá até nunca ter existido, é atualmente muito escassa e pode ter perdido significativamente o seu poder aglutinante, o que contribui para um défice de resistência estrutural das paredes [13] [14].



Figura 31 - Desagregação da alvenaria na fachada principal junto da entrada principal da Igreja no exterior (à esquerda [12]) e no interior (à direita [31]).

3.5.2.1.3 Lacunas

Esta anomalia caracteriza-se pela perda de elementos constituintes das paredes de alvenaria, geralmente a perda de elementos pétreos. A perda dos elementos é precedida de outras anomalias, tais como a fendilhação/fissuração, a degradação dos revestimentos, a erosão, a desagregação, e eventualmente algumas ações mecânicas acidentais. Pode ser uma anomalia grave caso a espessura das paredes seja substancialmente reduzida, comprometendo a sua capacidade resistente [14].

A perda de elementos é uma anomalia de índole local. Neste caso a perda de elementos pétreos constituintes das paredes constata-se em vários locais. O topo da parede mestra entre a ante-câmara e a sala do altar, o topo da parede do altar (Figura 32) são alguns exemplos.



Figura 32 - Perda de elementos pétreos constituintes da alvenaria na parede entre a ante-câmara e a sala do altar (à esquerda) e na parede do altar (à direita) [12].

3.5.2.1.4 Deformação/Derrubamento da parede do altar

As fendas observadas na ligação da parede do altar às paredes ortogonais, já referidas, indicam uma deformação associada ao derrubamento desta parede e o seu consequente desligamento das restantes (Figura 33). Este deslocamento pode também ser acompanhado do abaulamento da parede, no qual a parede, como elemento esbelto sujeito à compressão, pode instabilizar, originando uma deformação por encurvadura ou rotação. A parede apresenta um recuo de aproximadamente 14 cm medidos no topo, relativamente à sua posição vertical [13] [14]. Algumas das causas mais prováveis para a ocorrência desta anomalia são as seguintes:

- Apoios deficientes da parede – os vãos de passagem na base da parede originam aberturas consideráveis, levando a que a parede não descarregue de forma contínua, mas sim em zonas bastante localizadas, conduzindo à sua instabilidade (Figura 34);
- Parede demasiado esbelta (espessura de 60 cm);
- Falta de elementos de reforço das ligações da parede com as paredes ortogonais;
- Deficiente travamento transversal da parede. A própria estrutura de suporte da cobertura poderia outrora ter colaborado nesta função;
- O vento, como ação horizontal, tendo em conta que não existe cobertura e a parede está exposta às ações atmosféricas.

Não se deve, em todo o caso, encarar a anomalia como consequência de uma causa apenas. Pode ter sido a correlação entre várias causas a estar por detrás do aparecimento da deformação da parede.

3.5.2.1.5 Vegetação parasitária

Esta é uma anomalia de origem biológica que diz respeito ao crescimento de plantas e árvores dentro das paredes de alvenaria de pedra. As plantas alimentam-se dos nutrientes que existem nos elementos da parede, pelo que as causas mais prováveis são a presença de água na parede, a utilização de materiais

de construção que contêm matéria orgânica e nutrientes e a falta de manutenção. Este problema já foi bastante mais grave, pois há alguns anos a presença de vegetação nas paredes da Fortaleza e na zona circundante era nitidamente mais abundante (Figura 35).



Figura 33 - Deformação da parede do altar [12].



Figura 34 – Apoios deficientes da parede do altar devido vão aberto na sua base.



Figura 35 - Vegetação parasitária, entretanto já removida, no exterior (à esquerda) e no interior (à direita) [29].

3.5.2.2 Estrutura de suporte da cobertura

Tendo em conta a época da construção, este elemento construtivo seria provavelmente constituído por asnas de madeira sobre as quais assentariam madres de cobertura. Para além de eventuais deficiências na execução, seleção e proteção dos elementos de madeira, podem enumerar-se alguns fatores que terão contribuído para o desaparecimento deste elemento.

O principal fator é a presença de água, que pode ser originada por deficiências em zonas correntes ou em zonas singulares da cobertura, como sejam os remates com as paredes, beirados e cumeeiras. A deformação dos elementos de madeira, consequência da fluência deste material, pode originar movimentos de adaptação do revestimento da cobertura e a perda de estanqueidade. Uma vez que a água das chuvas penetra para o interior dá-se a humedificação dos elementos de madeira. A madeira, após humedecida, perde características como a resistência ou capacidade de deformação. Também o ataque de fungos cromogéneos ou fungos de podridão, que pode ocorrer na madeira com teores em água elevados, e o ataque de insetos, levam à perda de resistência da madeira. Geralmente as zonas de ligação entre os elementos de madeira e as paredes são mais afetadas por este tipo de problemas.

Com a humidificação e o apodrecimento da madeira dá-se um aumento da deformação da estrutura, a que está associado um aumento da quantidade de água infiltrada, gerando-se assim um ciclo que terá conduzido ao colapso parcial e depois total desta estrutura [13] [14].

3.5.3 Anomalias em elementos não estruturais

3.5.3.1 Degradação do revestimento de paredes

Na grande maioria da área de parede o revestimento já não existe, pois o seu estado de degradação atingiu um patamar tão elevado que conduziu ao desaparecimento deste elemento. No entanto, é ainda possível ver nalgumas zonas restos de argamassas, que podem corresponder às que foram utilizadas na construção inicial, ou a outras utilizadas em reparações ou substituições ao longo da vida da construção. O processo de degradação ao qual os revestimentos foram sujeitos descreve-se sucintamente de seguida. Numa fase inicial, o revestimento da parede foi sujeito a uma série de fatores que contribuíram para a sua degradação, tais como:

- Humidade: de construção, do terreno, das chuvas, etc.;
- Fissuração e fendilhação causadas por: retração; variações higrotérmicas; espessura inadequada do revestimento; incompatibilidade com o suporte; concentração de tensões; causas atribuíveis à própria fendilhação do suporte; etc.;
- Eflorescências e Criptoflorescências;
- Biodeterioração: associada ao aparecimento de algas, musgos, líquenes e outras plantas existentes em zonas húmidas;
- Perda de aderência: muitas vezes precedida pela fissuração, pela ocorrência de criptoflorescências, de movimentos do suporte, etc.;
- Desagregação e erosão: que podem ser causadas pela presença constante de humidade; micro-organismos; esforços mecânicos; ações físicas dos agentes atmosféricos.

Alguns destes fatores, atuando em conjunto ou separadamente ao longo do tempo, levaram a que os revestimentos de parede se fossem progressivamente destacando do suporte até ao seu desaparecimento quase total. Com efeito, as únicas zonas onde praticamente os revestimentos de parede ainda existe localizam-se no interior da construção, o que logicamente se percebe pela menor exposição face aos agentes atmosféricos.

Para além da função estética, os revestimentos de parede têm a função de proteger a alvenaria. Assim, a perda dos revestimentos levou à exposição do suporte às ações agressivas, o que promoveu o aparecimento de outras anomalias, como a desagregação da alvenaria [13] [14].

3.5.3.2 Degradação dos elementos de caixilharia

À semelhança do suporte da cobertura, estes elementos seriam provavelmente de madeira. Já se explicaram os principais mecanismos de degradação de elementos deste tipo, onde a humidade tem um papel preponderante.

Acrescentam-se, contudo, o efeito da humidade de condensação que pode ocorrer nos envidraçados e escorrer, atingindo os elementos de madeira, e o efeito da radiação solar. Estes efeitos podem agravar os ataques de fungos e insetos.

A par da degradação das madeiras das caixilharias pode ocorrer a oxidação dos elementos metálicos, tais como fechos e ferragens. Quando estes elementos se encontram inseridos na madeira, a oxidação, acompanhada do aumento de volume podem levar à introdução de tensões e consequente fendilhação e deformação deste material [13].

4 SOLUÇÕES POSSÍVEIS PARA REABILITAÇÃO DA IGREJA DE NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO

4.1 Considerações Gerais

Neste capítulo são expostos quatro tipos de soluções de intervenção equacionadas (Solução 1, Solução 2, Solução 3 e Solução 4) para a Igreja de N. Sr.^a do Rosário da Fortaleza de Cambambe, tendo em conta o estado atual da estrutura e as anomalias enumeradas no capítulo anterior. Identificam-se as principais vantagens e inconvenientes associados a cada solução. A comparação das várias soluções faz-se segundo três critérios: critério estético; critério de fiabilidade estrutural; critério de custos. Desta forma, a escolha da solução a implementar pode ser feita de forma ponderada, e com base nos objetivos que se pretendem para a construção final.

Tendo em conta o valor histórico da construção, considera-se de todo o interesse que a intervenção de reabilitação permita tornar a Igreja operacional e o espaço com condições de habitabilidade, procedendo-se sempre que possível à recuperação da estética original. Porém, há que ter em conta que a fiabilidade estrutural, ou seja, a aptidão dos elementos estruturais para satisfazer todos os requisitos especificados durante a sua vida útil deve ser garantida. Há ainda que considerar os custos que cada solução implica, pois este é um fator que certamente pesará na tomada de decisão.

Refere-se que, neste trabalho, a solução a ser escolhida apresenta um caráter meramente académico, baseada na hipótese da recuperação da construção e da sua estética original. Em todo o caso, a decisão deve ser feita por parte do dono de obra, e fundamentada pelos objetivos que este pretenda para a construção.

4.2 Solução 1 – Estrutura de betão armado embebida na alvenaria; reconstrução da cobertura

Esta solução consiste na substituição de parte do material de alvenaria por betão armado, com a introdução de uma estrutura reticulada de pilares e vigas, embebida na alvenaria (Figura 36), à qual se associa a capacidade resistente às ações verticais (entre elas o peso da nova cobertura a construir) e horizontais (reforço da alvenaria). No entanto, as cargas verticais relativas ao peso próprio das paredes não estão incluídas, pelo que estas terão de ser autoportantes [13]. Esta solução permite o encaminhamento das cargas pela nova estrutura de betão armado, mas não dispensa operações de reparação e reforço pontual nalgumas paredes como é o caso da parede do altar, da torre de campanário e outras zonas de parede nitidamente degradadas.

4.3 Solução 2 – Reparação das paredes; reconstrução da cobertura

Esta solução consiste na reparação e reforço das paredes resistentes de alvenaria, dotando-as de resistência suficiente para desempenhar o papel de elemento estrutural sujeito às ações verticais e horizontais. Sobre as paredes resistentes apoia a estrutura de suporte da cobertura, de forma idêntica ao que seria a estrutura original da igreja. Neste caso as operações de reforço passam sobretudo por injeções na alvenaria e eventualmente por aplicação de rebocos armados para confinamento e cintagem, melhorando as características de resistência (Figura 37). Em complemento, deve ser equacionado o reforço das ligações entre diferentes paredes. Destaca-se que esta solução pode implicar o reforço das fundações ou do terreno de fundação [14].

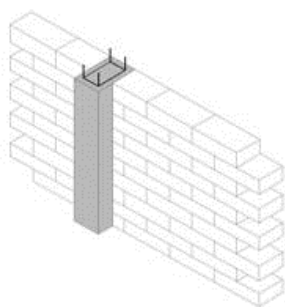


Figura 36 - Montante de betão armado em rasgo na alvenaria [14].



Figura 37 - Aplicação de reboco armado com betão projetado em parede de alvenaria [46].

4.4 Solução 3 – Estrutura de betão armado/metálica independente da alvenaria; execução de cobertura independente

Esta solução consiste em construir, pelo exterior, uma estrutura reticulada totalmente independente da construção existente. A nova estrutura pode ser de betão armado ou metálica, e tem apenas a função de suportar uma cobertura que proteja a ruína da igreja das ações climáticas agressivas. Neste caso não se procede a uma reabilitação/recuperação propriamente dita, mas sim a uma operação de preservação do estado atual da construção enquanto ruína, atrasando assim o processo de envelhecimento e degradação da mesma. Não se excluem, no entanto, algumas operações pontuais de reparação de paredes, em particular a parede do altar, onde algumas anomalias já referidas podem ter consequências graves, conduzindo no limite ao seu colapso.

4.5 Solução 4 – Estrutura de betão armado/metálica independente da alvenaria; reconstrução da cobertura

Esta solução consiste na construção de uma estrutura reticulada de betão armado ou metálica junto às paredes, mas independente da estrutura de alvenaria existente. Esta nova estrutura deve servir de suporte a uma nova cobertura que se enquadre com o aspeto do que seria a cobertura original. A nova estrutura e a cobertura funcionam de forma independente, mas interligando-se do ponto de vista

estético com a estrutura de alvenaria existente, podendo recuperar-se a aparência arquitetônica original e reabilitar-se a construção de forma a torná-la utilizável. Esta solução não dispensa a reparação das paredes de alvenaria, nem o reforço de zonas singulares como a parede do altar, nem a reconstrução das fachadas principais e tardo e torre de campanário, que deverão em todo o caso apresentar capacidade resistente suficiente para suportar o seu peso próprio.

4.6 Comparação das soluções segundo os critérios: estético, de fiabilidade estrutural e de custos

4.6.1 Comparação segundo o Critério Estético

Tabela 1 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério Estético.

	Vantagens	Inconvenientes
Solução 1	<ul style="list-style-type: none"> - Permite reabilitação integral da estrutura, recuperando a imagem original; - Permite execução de cobertura semelhante à original; - A nova estrutura fica embutida na existente, não a afetando esteticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser necessário o espessamento das paredes na zona de colocação dos novos pilares, nalgumas situações; - Pode ser necessária uma reabilitação estética ao nível das paredes; - Técnica bastante intrusiva; - Perda de grande parte do valor patrimonial original das paredes.
Solução 2	<ul style="list-style-type: none"> - Permite reabilitação integral da estrutura, recuperando a imagem original; - Permite execução de cobertura semelhante à original; 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode alterar o aspeto das paredes e implicar o uso de revestimentos;
Solução 3	<ul style="list-style-type: none"> - Não há alterações na imagem da construção existente, apenas se pretende preservar a ruína; - Permite preservar os materiais existentes e o aspeto da construção enquanto ruína; 	<ul style="list-style-type: none"> - Não permite restaurar o estado original da construção; - Ao construir-se uma nova estrutura pelo exterior, afeta-se esteticamente a construção existente;
Solução 4	<ul style="list-style-type: none"> - Permite reconstrução de cobertura semelhante à original; - Há possibilidade de aplicar revestimentos à estrutura de betão/aço que permitam minimizar o impacto estético; - Reparação das paredes permite recuperar a aparência original; - Técnica pouco intrusiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de betão armado/aço podem ficar à vista, afetando esteticamente a construção; - Estrutura de betão/aço ocupa espaço; - Necessário compatibilizar cobertura com a estrutura já existente; - Pode alterar o aspeto das paredes e implicar o uso de revestimentos.

4.6.2 Comparação segundo o Critério de Fiabilidade Estrutural

Tabela 2 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério de Fiabilidade Estrutural.

	Vantagens	Inconvenientes
Solução 1	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas verticais e horizontais encaminhadas pela estrutura de betão armado, à exceção do peso próprio das paredes; - A resistência é conferida pela nova estrutura, não sendo condicionante a resistência das paredes de alvenaria; 	<ul style="list-style-type: none"> - Desproporção entre a rigidez dos elementos de alvenaria e de betão (pelo que é difícil que se chegue a mobilizar a maior resistência do betão); - Difícil análise da redistribuição dos esforços;

		<ul style="list-style-type: none"> - Estrutura de betão não é dimensionada para resistir ao peso próprio das paredes, sendo necessário que as próprias paredes desempenhem esse papel; - Necessário garantir boa ligação entre as duas estruturas; - Capacidade resistente das paredes pode ser afetada aquando da abertura de rasgos; - Não dispensa reforço da parede do altar; - Pode ser necessário reforço localizado em aberturas e em ligações entre paredes; - No final da operação, as paredes de alvenaria podem apresentar mais danificações do que antes; - Necessária especial atenção nas zonas de parede a reconstruir (reforço);
Solução 2	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da capacidade resistente das paredes; - Tira partido do material existente; - Garante reforço também da parede do altar; - Garante maior durabilidade das paredes resistentes; - Modelo estrutural mais simplificado do que a Sol. 1; 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de conhecimento da capacidade resistente das fundações e do terreno (pode ser insuficiente); - Difícil conhecimento da resistência efetiva da estrutura reforçada; - Necessário assegurar compatibilidade entre materiais distintos; - Necessária especial atenção nas zonas de parede a reconstruir (reforço);
Solução 3	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidade resistente garantida pela estrutura independente, com exceção do peso próprio das paredes; - Resistência e elasticidade do betão armado / aço conhecidas; 	<ul style="list-style-type: none"> - As paredes da construção não são reforçadas, mas podem ter de ser pontualmente reparadas ou protegidas; - Se nada for feito na estrutura existente, é expectável que a sua durabilidade seja menor;
Solução 4	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidade resistente garantida pela estrutura independente, com exceção do peso próprio das paredes; - Resistência e elasticidade do betão armado / aço conhecidas; - Não é condicionante a capacidade resistente das paredes de alvenaria; - Permite a execução de fundações de forma praticamente independente das fundações das paredes; 	<ul style="list-style-type: none"> - As paredes de alvenaria têm de ser autoportantes; - Não dispensa a reparação das paredes; - Na prática, são duas estruturas a funcionar em separado; - Necessária especial atenção nas zonas de parede a reconstruir (reforço);

Tabela 2 (continuação)

4.6.3 Comparação segundo o critério de Custos

Tabela 3 - Comparação das soluções equacionadas segundo o Critério de Custos.

	Vantagens	Inconvenientes
Solução 1	<ul style="list-style-type: none"> - Dispensa reabilitação profunda das paredes de alvenaria; 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessária a abertura de rasgos nas paredes para a execução de pilares; - Difícil execução das novas fundações; - Necessário efetuar escavações; - Necessária estrutura de contenção das paredes de alvenaria durante o processo; - Necessária reconstrução de zonas de parede em que existem elementos em falta;

		- Não dispensa reforços localizados nalgumas zonas de parede (nomeadamente ligações entre paredes);
Solução 2	- Dispensa abertura de rasgos nas paredes; - Dispensa execução de nova estrutura; - Tira partido do material existente;	- Necessário conhecer capacidade resistente das paredes, fundações e solo; - Necessária execução de operações de reforço das paredes (injeções; reboco armado, etc.); - Necessário repor elementos em falta na alvenaria;
Solução 3	- Reduzidos custos com reparação e reforço da construção existente; - Construção da nova estrutura segundo processos correntes;	- Custos com a construção da nova estrutura; - Necessário efetuar escavações; - Não dispensa custos com reparações pontuais de paredes; - Baixo investimento inicial pode implicar elevado investimento com operações de manutenção e preservação da ruína;
Solução 4	- Facilita a execução das fundações da nova estrutura; - Construção da nova estrutura segundo processos correntes;	- Necessário efetuar escavações; - Não dispensa reabilitação das paredes existentes; - Eventual necessidade de estrutura de contenção das paredes durante o processo construtivo;

Tabela 3 (continuação)

4.7 Escolha da Solução

Dado o carácter histórico da construção, parece de todo o interesse que a solução escolhida permita restaurar as suas características originais, ou no mínimo, não causar grande impacto estético às características atuais. A breve leitura de alguns documentos importantes do âmbito da reabilitação de monumentos, como a Carta de Atenas e a Carta de Veneza, evidenciou a importância de numa intervenção deste tipo se respeitar “(...) a obra histórica ou artística do passado, sem eliminar o estilo de nenhuma época.” Devendo os meios de reforço ser “(...) dissimulados sempre que possível, de modo a preservar o aspeto e o carácter do edifício a restaurar” [18]. Em termos mais práticos, pode dizer-se um dos objetivos do restauro é “(...) a preservação dos valores estéticos e históricos, devendo ser baseado no respeito pelos materiais originais (...)”, podendo ser a reabilitação “efetuada através do recurso a outras técnicas modernas de conservação ou de construção (...)”, e onde “Os elementos destinados a substituírem as partes que faltam devem integrar-se harmoniosamente no conjunto (...)” [19].

Neste trabalho exclui-se à partida a Solução 3, que além de não permitir a reabilitação da construção e a sua operacionalidade, ainda afeta esteticamente a sua aparência atual, devido à construção de uma nova estrutura exterior, bem como de uma cobertura independente que não se conjuga com a arquitetura original. A Solução 3 seria, no entanto, a que menores custos iria acarretar, comparativamente às restantes.

A Solução 1 não se apresenta muito viável, pelo menos nos critérios de fiabilidade estrutural e de custos. A inviabilidade prende-se com o modelo estrutural de difícil análise devido ao funcionamento simultâneo da estrutura de alvenaria e de betão armado, com os custos relacionados com a abertura de roços nas paredes, e com a execução de novas fundações que teriam de situar-se abaixo das fundações das paredes existentes, o que implicaria a necessidade de recorrer a estruturas de contenção para aqueles elementos. Também é uma solução que conduz à perda de grande parte do valor patrimonial original das paredes devido ao elevado grau de intrusão da construção de uma estrutura de betão armado no interior das paredes.

A Solução 2 conduz a bons resultados do ponto de vista intrusivo, uma vez que não se executam novos elementos estruturais no interior das paredes, sendo a resistência garantida pelas paredes mestras já existentes. No entanto, esta solução requerer um reforço das paredes, bem como das fundações, o que só por si conduz inevitavelmente à alteração do seu aspeto. Por outro lado, torna-se também difícil neste caso conhecer a resistência das paredes de alvenaria após o reforço, e conseqüentemente efetuar cálculo estrutural. A nível de custos destaca-se a necessidade de reforçar as fundações ou o terreno de fundação, o que em qualquer caso seria um processo moroso. A aplicabilidade desta técnica requereria ensaios estruturais para avaliação da capacidade resistente das paredes, que neste trabalho não se especificam. Contudo, esta solução seria a recomendada caso não se optasse pela escolha da Solução 4, e será sempre uma escolha a ter em consideração para trabalhos futuros.

Assim, a Solução 4 parece ser a mais adequada a todos os níveis. Consegue-se executar uma nova cobertura inspirada no que seria a cobertura original da Igreja e garante-se a operacionalidade da construção. A nível estético, não é uma solução excessivamente intrusiva, pois os novos elementos estruturais são independentes dos elementos existentes. Além disso existe a possibilidade de “esconder” a nova estrutura, com a aplicação de revestimentos apropriados, ou levantando um pano de alvenaria semelhante à existente, à frente dos novos elementos estruturais. A nível estrutural, sendo a nova estrutura responsável pela resistência às cargas verticais e horizontais (à exceção do peso próprio das paredes), o cálculo é simplificado. No que diz respeito aos custos, não são dispensáveis custos com algumas reparações nas paredes de alvenaria, bem como com a execução de fundações para a nova estrutura. No entanto, comparativamente com as Soluções 1 e 2, parece ser a solução com processos menos morosos. Esta solução permite também, tendo por base os exemplos documentados das igrejas de Muxima e Massangano, cuja reabilitação apresenta um revestimento pintado em branco, preconizar para a igreja de Cambambe o mesmo tipo de acabamento, tendo em conta a vantagem de permitir reforçar as paredes por intermédio de rebocos armados e reconstruir a torre de campanário e as fachadas principal e tardoz. Preconiza-se ainda a colocação de portas e portadas em madeira, e janelas para proteção do edificado.

De referir novamente que a escolha da solução para intervenção de reabilitação é feita, de forma académica, com base nos requisitos explicados. Em todo o caso, seria a entidade dona de obra a quem competiria escolher a solução que no seu entender lhe parecesse mais adequada face aos seus requisitos, fossem eles estéticos, estruturais, económicos ou outros.

5 SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO DA COBERTURA

5.1 Descrição Geral da Solução de Reabilitação da Cobertura

A solução adotada neste trabalho é, como explicado no capítulo anterior, a da execução de uma nova estrutura, independente da existente, que permita suportar uma nova cobertura. A nova cobertura será, tanto quanto possível, semelhante à original. A nova estrutura tem como principal objetivo proteger o interior da igreja, principalmente da água das chuvas, mas também reproduzir aquilo que seria a cobertura original da construção.

Dada a época da construção inicial, bem como as restantes construções existentes em locais próximos, admite-se que a cobertura seria composta por telhas cerâmicas, assentes em madeiramentos, que por sua vez assentariam nas próprias paredes estruturais. A inclinação das águas da cobertura é indicada pelo que resta das paredes mestras interiores, com uma geometria triangular no topo.

A cobertura abrange também a torre de campanário, do lado direito junto da fachada principal da igreja, que deve ser reconstruída como se explica no Capítulo 6. Também na sala anexa deve ser prevista uma estrutura ligeira de suporte de cobertura, constituída por ripado de madeira e vigas metálicas de pequeno porte assentes diretamente nas paredes de alvenaria. De seguida descrevem-se os elementos que compõem a solução de reabilitação da cobertura.

5.1.1 Telhas

As telhas escolhidas são do tipo “telha lusa de aba e canudo” (Figura 38). Este tipo de telhas cerâmicas é atualmente bastante utilizado não só em construções de raiz, mas também em intervenções de reabilitação. A sua geometria permite obter um efeito estético semelhante ao dos telhados construídos à antiga portuguesa, com telhas de canudo.

A forma como a estética proporcionada pelo emprego destas telhas se enquadra numa construção com as características da Fortaleza de Cambambe é o principal motivo para a escolha. Há ainda outras vantagens que podem ser associadas à utilização deste material, como por exemplo: o bom desempenho perante os agentes atmosféricos, a durabilidade que lhe está associada, entre outros [14].



Figura 38 - Telha lusa de aba e canudo enquanto peça singular (à esquerda) [35] e utilizada numa cobertura inclinada (direita) [36].

Existe, contudo, um considerável número de pormenores construtivos a ter e consideração num tipo de solução como esta. Esses pormenores dizem respeito essencialmente a zonas singulares da cobertura, como sejam: as cumeeiras, os larós, os beirais, os remates com elementos emergentes (caso existam), etc.

No caso das cumeeiras, a execução é conseguida através da colocação de uma telha com maiores dimensões, normalmente conhecida por “telhão”. Esta telha não só impede a infiltração das águas por esta zona, como também deve permitir a ventilação da cobertura, pelo que é preciso garantir que existem espaços por onde esta possa ocorrer. Um método possível para o assentamento dos “telhões” é com recurso a argamassas. É importante que estas argamassas não sejam dispostas de forma contínua de forma a permitir espaços para a ventilação. A utilização de quantidades excessivas de argamassa também poderá conduzir ao fenómeno de retração, induzindo tensões nas telhas que podem levar à sua fracturação. Também se deve ter em atenção o sentido dominante do vento, devendo os telhões ser sobrepostos no sentido contrário para impedir a infiltração da água batida (Figura 39).

Com sentido de melhorar as condições de ventilação, devem adicionalmente ser utilizados outros acessórios, como telhas de ventilação, que devem ser aplicadas alternadamente, num número médio de 3 por cada 10 m² (Figura 40). O assentamento das telhas também não deve ser feito de maneira contínua, razão pela qual se recomenda a utilização de ripa e contra-ripa, como se verá adiante.

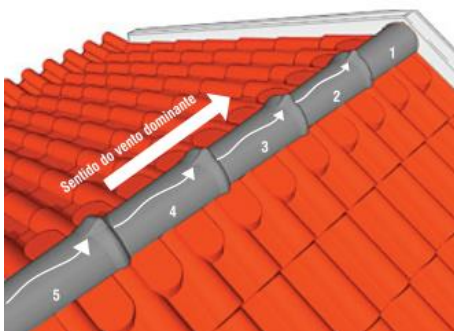


Figura 39 - Correto assentamento dos “telhões” [37].

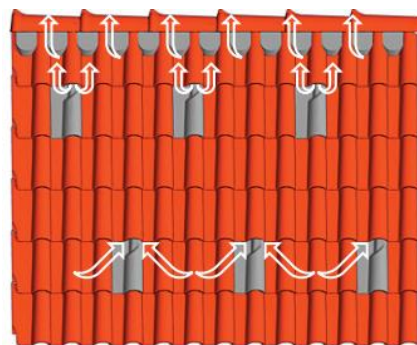


Figura 40 - Funcionamento do sistema de telhas de ventilação [38].

No caso dos beirais, deve a primeira linha de telhas ficar sobressaída da estrutura de suporte. Desta forma minimiza-se o risco de infiltrações da água escorrida por esta zona singular (Figura 41).

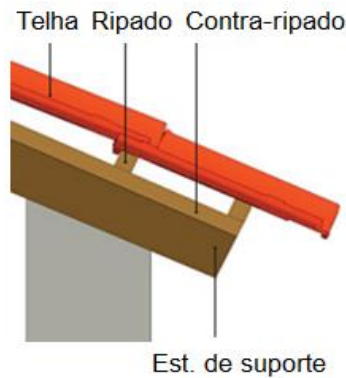


Figura 41 - Pormenor de beiral. Adaptado de [39].

Outro aspeto importante a considerar neste tipo de coberturas é a inclinação mínima das águas para que possam ser empregues as telhas. A estanqueidade da cobertura está associada à sua capacidade de escoamento das águas pluviais, que é tanto maior quanto maior a inclinação. Se esta for insuficiente, a água pode penetrar pelas juntas entre as telhas, podendo ser este efeito agravado pela ação do vento. A inclinação das águas considerada é de 30°, mas deve ser verificada de acordo com os fabricantes de telhas, tendo em conta a exposição climática do local, e se necessárias tomadas medidas adicionais para garantir a estanqueidade da cobertura.

5.1.2 Ripado e contra-ripado

O ripado é a estrutura sobre a qual apoiam diretamente as telhas. Este pode ser de vários materiais, sendo a madeira o mais comum e o que se considera neste trabalho. As ripas deverão ter desenvolvimento longitudinal de forma a que cada fiada de telhas assente sobre a mesma ripa.

O cálculo do afastamento do ripado, deve ser feito conforme as especificações do fabricante de telhas conforme o seu vão máximo admissível. Em termos médios, e tendo em conta as dimensões comuns da telha lusa, o afastamento entre ripas é da ordem de 35 a 39 cm, pelo que se assume no trabalho o valor indicativo de 37 cm.

Sob o ripado recomenda-se a utilização do contra-ripado, constituído pelo mesmo material. Este elemento está disposto perpendicularmente ao ripado e a sua principal função é criar passagens contínuas desde a zona mais baixa até à zona mais alta da cobertura, promovendo a ventilação da face inferior das telhas. O afastamento das contra-ripas deverá ser de entre uma a três vezes o espaçamento das ripas. Deve procurar fazer-se coincidir o posicionamento das contra-ripas com as juntas de sobreposição laterais entre telhas. A conexão entre os dois elementos pode ser garantida por via de pregagens.

5.1.3 Painéis Sandwich com Isolamento Térmico

As placas/painéis sandwich são elementos constituídos por várias camadas (usualmente três) com diversas funções, sendo o isolamento térmico das mais importantes.

A cobertura, sendo o elemento construtivo mais exposto às ações climáticas, em particular à ação da temperatura, é um foco de trocas de calor entre o exterior e o interior. Tratando-se de uma região de clima tropical, onde a temperatura média anual se situa à volta dos 27°C, este efeito é agravado. Assim, a principal função deste elemento é a melhoria das condições de conforto do espaço interior, devido à incorporação de um isolamento térmico.

Os materiais disponíveis para isolamento térmico são diversos, dependendo dos fabricantes, mas os mais comuns são o poliestireno extrudado (XPS) e a lã de rocha. Os materiais de acabamento também são vários, por exemplo: gesso cartonado, aglomerados de várias origens, OSB (painel de fibras de madeira orientadas), etc.

Recomenda-se a utilização de painéis em que pelo menos uma das camadas seja composta por OSB, pois este material apresenta geralmente uma elevada resistência a cargas, que pode ser útil nas operações de construção e manutenção (Figura 42). A espessura destes painéis varia conforme os fabricantes e os requisitos, mas em média pode assumir-se próxima de 3 cm.

As ligações destes elementos aos que lhes são sobrejacentes e subjacentes deve ser feita sempre tendo em conta as especificações dos fabricantes por forma a garantir o seu devido desempenho.



Figura 42 - Amostra de painel sandwich com uma camada de isolamento térmico e duas camadas de OSB [40].

5.1.4 Madres de Cobertura

As madres de cobertura são elementos estruturais sobre os quais apoiam diretamente os painéis sandwich. Estas desenvolvem-se na direção perpendicular ao contra-ripado, ou seja, no sentido de declive nulo das águas do telhado. Para estes elementos consideram-se perfis metálicos laminados a quente, do tipo IPE. O afastamento destes perfis é determinado pelo vão máximo admissível para os painéis sandwich, que depende dos vários tipos de painéis. Pela consulta de alguns fabricantes, concluiu-se que o valor de 1,25 m é razoável, pelo que se adotou esse valor para as zonas correntes da cobertura.

5.1.5 Asnas

Sob as madres de cobertura ficam as asnas, que lhes servem de apoio. As asnas são estruturas triangulares que permitem materializar a inclinação das duas águas do telhado. Na prática, as asnas

funcionam como vigas, que recebem as cargas provenientes da cobertura e as transmitem aos elementos subjacentes.

Existem vários tipos de asnas. No que diz respeito à geometria, existem asnas simples, compostas, meias-asnas, asnas de mansarda, entre outras. Dado o vão considerável destes elementos (cerca de 11 metros), achou-se adequado a solução de asnas compostas. Este tipo de solução consiste numa travessa que é a base do triângulo, duas pernas que são os lados inclinados, e um conjunto de montantes e diagonais que os une, e que funcionam como escoras e tirantes (Figura 43). O funcionamento enquanto escora ou tirante, ou seja, sujeito a esforços de compressão ou tração, respetivamente, depende do sentido da resultante das cargas.

A inclinação das pernas, e conseqüentemente das águas da cobertura, é de 30 graus, como já referido. Esta inclinação foi obtida por observação da zona do topo da parede que separa a sala do altar e a ante-câmara, que indica a que seria aproximadamente a inclinação da cobertura original da construção.

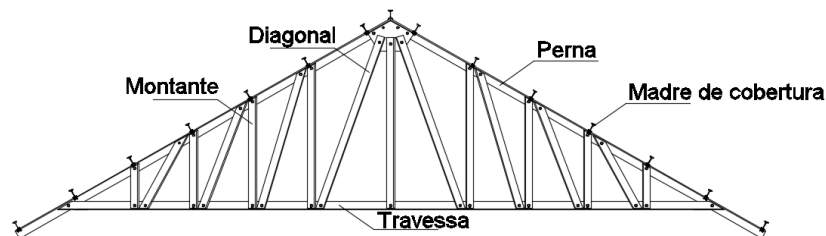


Figura 43 - Asna de cobertura com perfis metálicos.

Escolheram-se para o efeito perfis metálicos laminados a quente do tipo LNP, que devidamente interligados permitem obter uma estrutura do tipo treliça. A escolha do aço como material e do tipo de perfis prendeu-se sobretudo com a facilidade da sua obtenção e montagem da estrutura no local. A utilização de madeira requereria uma mão-de-obra mais especializada, bem como a obtenção de elementos de madeira de boa qualidade, o que tornaria o processo bastante mais moroso. A Figura 44 ilustra, em corte, a solução da cobertura em zona corrente.

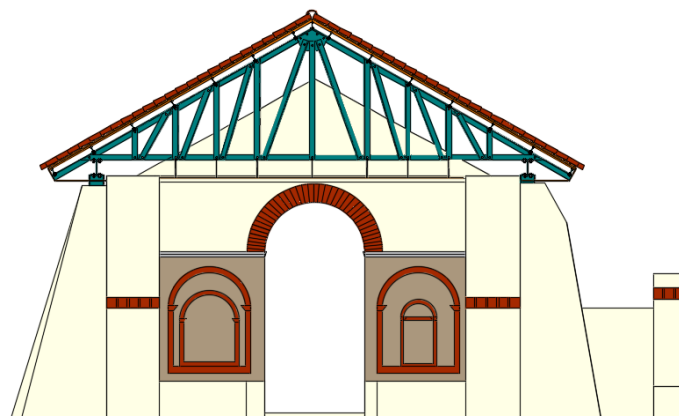


Figura 44 - Corte esquemático da solução da cobertura (região corrente).

5.1.6 Sistema de contraventamento

As treliças de suporte da cobertura são elementos construtivos que por norma são dimensionados para conferir resistência no seu próprio plano. Contudo, para fora do seu plano estes elementos não apresentam resistência significativa, pelo que é necessário prever um sistema de contraventamento (Figura 45). Este sistema pode ser constituído por simples cabos de aço que funcionem à tração (tirantes), impedindo assim o derrubamento das asnas quando sujeitas a ações fora do seu plano.

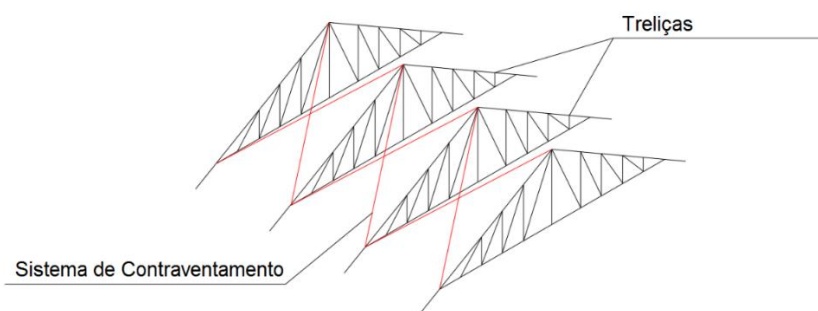


Figura 45 - Esquema do sistema de contraventamento das treliças metálicas.

5.1.7 Vigas

As asnas de cobertura apoiam em vigas metálicas que são dispostas ao nível do topo das paredes laterais da construção. Os perfis metálicos escolhidos para estes elementos são do tipo HEB.

Efetivamente, existem duas estruturas independentes de vigas e pilares. Esta condição é imposta pela diferença entre o vão da cobertura da zona da ante-câmara e o vão da zona do altar. Embora se considere a cobertura contínua em toda a Igreja, as asnas de cobertura apoiam em duas vigas paralelas distanciadas de cerca de 11,60 metros na zona da ante-câmara, e em outras duas vigas independentes distanciadas de cerca de 9,50 metros na zona do altar. As duas estruturas independentes de vigas e pilares permitem também, assim, garantir uma junta construtiva e de dilatação que pode absorver eventuais deformações na estrutura associadas essencialmente a variações de temperatura. Existem assim duas vigas na zona da ante-câmara e duas vigas na zona do altar. Existe ainda uma quinta viga metálica, perpendicular às restantes, perto da fachada frontal da Igreja, mas no interior. Esta última serve de apoio às duas primeiras (vd. Anexo C – Desenho nº 3). Foi equacionada a possibilidade de manter as primeiras duas vigas contínuas na região da sala do altar, mas implicaria o afastamento dos pilares das paredes e conseqüentemente maior dificuldade em escondê-los naquela região, pelo que não se preconizou essa solução.

5.1.8 Pilares

Os pilares, ou montantes, são os elementos estruturais sobre os quais apoiam as vigas. Propõe-se que estes, por uma questão de simplicidade, sejam constituídos pelo mesmo tipo de perfis metálicos que as vigas (HEB).

Como se referiu no capítulo anterior, a estrutura de suporte da cobertura é independente da estrutura existente, ou seja, não existe qualquer tipo de conexão entre ambas. Contudo, os pilares, enquanto elementos verticais que têm de se desenvolver desde a cota superior das paredes até à cota de fundação, implicam algum esforço no que diz respeito à sua omissão. A disposição dos pilares é, por isso, condicionada pela necessidade de os omitir, de forma a não afetar esteticamente a imagem da construção. Assim, os pilares deverão ficar situados estrategicamente em zonas de cantos ou de confluência de paredes ortogonais, podendo dessa forma ser revestidos com alvenaria na zona circundante, permitindo escondê-los. Tira-se também partido das zonas dos contrafortes de alvenaria, que por serem zonas de reentrâncias nas paredes são um local adequado para este efeito (vd. Anexo C – Desenho nº 4).

5.1.9 Fundações

As fundações têm como principal função a transmissão em segurança ao solo das cargas provenientes da estrutura que lhes é sobrejacente, promovendo uma boa ligação entre ambos.

Uma vez que o solo da zona de Cambambe parece ter boas características superficiais, e que as cargas a transmitir ao terreno não são muito elevadas, as fundações são diretas. Este tipo de fundações é usualmente denominado por “sapatas” e o material de construção é o betão armado. Refira-se que uma maior objetividade na determinação das características do terreno implicaria uma análise mais detalhada, com recurso a sondagens generalizadas, a ensaios SPT (Standart Penetration Test), entre outros.

A localização dos pilares junto dos cantos das paredes, ligações entre paredes ortogonais, ou zonas de contrafortes, implica que as sapatas sejam excêntricas em ambas as direções, isto é, os pilares não se situam exatamente no seu centro de gravidade em planta, mas sim próximo de um dos cantos. Com isto evita-se também a execução de sapatas por debaixo das paredes de alvenaria, em zona de fundações existentes, o que poderia fazer com que estas ficassem “descalças”, pondo em risco a estabilidade da construção. Será impossível evitar totalmente que nalgumas zonas isto tenha mesmo de acontecer, mas sendo apenas em zonas muito pontuais não parece estar comprometida a segurança.

A ligação entre pilares e sapatas é materializada por meio de uma chapa de base que deve ser soldada à base do perfil metálico do pilar. A soldadura deve ser de penetração total, do tipo bisel. A esta chapa são acoplados quatro chumbadores metálicos roscados e fixados recurso a porcas (Figura 46). Estes chumbadores são embebidos no betão das sapatas permitindo assim a transferência de esforços. Entre a sapata e a chapa de base é aplicada posteriormente uma argamassa tipo *grout* de retração controlada, que usualmente é uma calda de cimento de elevada resistência e que permite garantir uma boa ligação entre os dois elementos sem que ocorram deficiências ao nível da transmissão de esforços. Este tipo de caldas, por apresentarem uma elevada fluidez permitem o total preenchimento da zona de aplicação, ao mesmo tempo que dispensam operações de compactação.

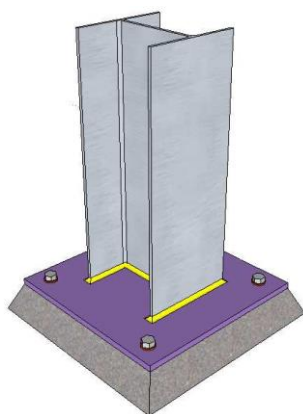


Figura 46 - Ligação entre pilar metálico e sapata de betão armado com recurso a chapa de base e chumbadores metálicos [41].

5.1.10 Revestimento de teto

Uma vez que a solução consiste numa estrutura de suporte da cobertura em aço, que não se enquadra com a estética de uma construção como a Fortaleza de Cambambe, torna-se necessário a aplicação de um revestimento de teto que permita omitir estes elementos.

Uma solução regularmente usada são os chamados “tetos falsos” que permitem esconder os elementos estruturais sobre os quais se encontram. O “teto falso” é constituído por uma estrutura de pranchas de madeira com espessura aproximada de 2 centímetros. A escolha da madeira como material deve-se ao facto de este ser o material que mais se enquadra com o que seria a estrutura original. As pranchas de madeira podem ser fixadas a calhas metálicas (usualmente perfis metálicos enformados a frio do tipo C ou Σ) por meio de parafusos que devem ser capazes de resistir ao esforço de tração relativo ao peso das pranchas, ou por outro qualquer meio de fixação que seja recomendado pelos fabricantes destes elementos. Por sua vez, as calhas metálicas são suspensas através do encaixe em forquilhas acopladas a varões metálicos fixados às treliças de suporte da cobertura (asnas metálicas). Se estes varões metálicos forem roscados podem ser aparafusados com recurso a porcas (Figura 47).

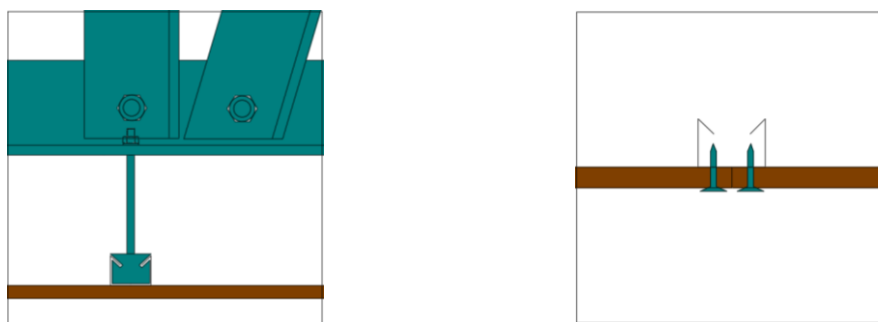


Figura 47 - Suporte do teto falso. Fixação da estrutura de suporte aos perfis da treliça (esquerda) e fixação das pranchas de madeira às calhas metálicas (direita).

Também no exterior, na zona do beiral, é necessário esconder os elementos metálicos que compõem o suporte da cobertura. Uma das opções é fazê-lo com recurso ao mesmo tipo de revestimento de

madeira (Figura 48), que neste caso pode ser fixado por pregagem nas ripas de madeira ou nos painéis sandwich e suspensão nas vigas, de forma semelhante ao que já foi referido.

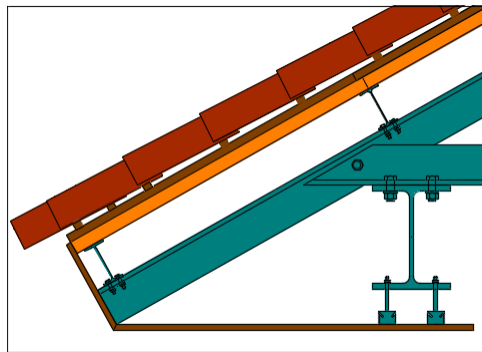


Figura 48 - Pormenor do revestimento do beiral.

5.2 Processos Construtivos

5.2.1 Fundações

A execução das sapatas deve fazer-se recorrendo a escavações localizadas, que são feitas nos locais da sua implantação. Uma vez que o terreno apresenta aparentemente boa capacidade resistente, as escavações podem ser verticais, sem entivação e até cerca de 5 centímetros abaixo do plano de fundação. A escavação deve ter aproximadamente as dimensões da sapata em planta, uma vez que se dispensa a utilização de cofragem, sendo a betonagem executada contra o próprio terreno. As características do terreno devem ser confirmadas à cota da base da escavação.

Uma vez que as sapatas se vão localizar junto das fundações das paredes, existem zonas pontuais que eventualmente terão de ser demolidas, ainda que numa dimensão reduzida. Por isso, o processo de escavação e a eventual demolição pontual devem ser meticulosamente monitorizados, de modo a evitar o aparecimento de anomalias que possam ocorrer na alvenaria.

Deve depois proceder-se à aplicação de um betão de limpeza cuja função é essencialmente regularizar a superfície do solo criando uma superfície horizontal e limpa que permita a colocação das armaduras da sapata e que impessa que o betão fique em contato direto com o solo. Esta camada deve ter entre 5 e 10 centímetros de espessura, podendo ser constituída por um betão de fraca resistência (por exemplo C12/15).

As armaduras e os varões chumbadores devem ser montados no estaleiro, em local apropriado. Devem depois ser transportados para o local da sapata e colocados devidamente depois do betão de limpeza atingir resistência suficiente e da sua superfície estar limpa. O recobrimento é garantido com a utilização de espaçadores. É importante que a geometria da “caixa” de armaduras não seja alterada durante o processo.

A localização da obra torna inviável a utilização de betão pronto, pelo que o betão deve ser executado em estaleiro, de acordo com todas as especificações aplicáveis à execução de betão em obra. O

transporte do betão pode ser feito com recurso a carros de mão, ou a um balde transportado por grua (uma vez que esta será necessária para a colocação dos elementos metálicos), ou ainda com um *dumper*. O betão deve ser colocado em camadas de cerca de 30 centímetros, com o cuidado de não alterar a geometria das armaduras. A vibração é essencial para que possa ser garantida uma adequada compactação. Todas as camadas devem ser vibradas. Após a betonagem deve ser assegurado um período de cura do betão por rega, evitando assim uma secagem demasiado rápida que poderá provocar problemas de retração. Após o endurecimento do betão as chapas de base acopladas aos pilares são colocadas, devidamente niveladas e fixadas aos varões chumbadores por meio de porcas. É também aplicada a calda de cimento entre as chapas e o topo da sapata, com cofragem em três lados e abertura no outro por onde esta se insere.

5.2.2 Estrutura metálica

A construção da estrutura metálica inicia-se com a soldadura das chapas de base e de topo aos pilares com um cordão de soldadura de penetração total. As chapas de base, acopladas aos pilares, são depois colocadas no topo das sapatas, conforme o processo descrito acima. As chapas de topo têm a função de garantir a ligação dos pilares às vigas. Uma solução possível para esta ligação é aparafusar a chapa de topo ao banzo inferior da viga (Figura 49), embora este aspeto não seja tratado no âmbito deste trabalho.

Devem ser previstos nos pilares varões metálicos roscados, que suportem numa das extremidades uma chapa metálica. Na outra extremidade os varões são fixados aos pilares por meio de porcas (Figura 50). Este sistema deve ser aplicado nas duas direções da seção dos pilares e tem como objetivo amarrar as zonas de alvenaria que são construídas em torno dos pilares para os omitir. Recomenda-se que estes varões estejam em, pelo menos, três níveis diferentes de altura.



Figura 49 - Ligação aparafusada pilar-viga com recurso a chapa de topo e chapas de ligação entre os banzos [42].

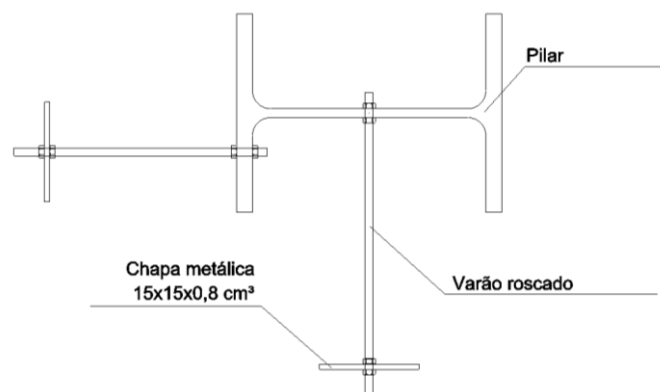


Figura 50 - Sistema de reforço das zonas de alvenaria em torno dos pilares.

A colocação das vigas metálicas tem necessariamente de ser feita com recurso a uma grua, ou a um equipamento de elevação similar, devendo estas já estar preparadas de forma a que apenas seja necessário proceder ao aperto dos parafusos.

As treliças metálicas (asnas de cobertura) devem ser montadas em estaleiro. Como o perfil utilizado nestes elementos é sempre o mesmo, apenas é necessário realizar os cortes de acordo com as dimensões de projeto e as ligações aparafusadas, que em princípio serão também todas iguais, o que torna o processo mais rápido e fácil. Também o tipo de perfil escolhido, LNP (vd. ponto 5.3.3), permite a montagem de forma mais simples através do aparafusamento das suas abas. Depois de montadas, as treliças são transportadas e assentes sobre as vigas, procedendo-se à sua ligação também por meio de parafusos. O sistema de contraventamento das treliças deve também ser posto em funcionamento nesta fase.

As madres de cobertura são depois assentes sobre as treliças, também com ligações aparafusadas. Para esta operação bem como para a anterior devem ser previstas plataformas de trabalho que cumpram os devidos requisitos de segurança.

5.2.2.1 Proteção da estrutura de aço

Antes da aplicação do esquema de proteção deve ser feita a preparação da superfície metálica, que pode ser feita através de escovagem, aplicação de solventes ou jatos abrasivos. Recomenda-se um grau de preparação da superfície Sa2 ½ (decapagem muito cuidada por projeção de abrasivos) ou St3 (Limpeza manual e mecânica muito cuidada).

Recomenda-se a aplicação de um esquema de proteção com pintura em três camadas: primário, subcapa e acabamento. Alguns esquemas dispensam a aplicação da camada de subcapa. O esquema de proteção pode ser constituído por:

- pintura bicomponente com espessura de 60 µm;
- camada intermédia (subcapa) bicomponente com espessura de 80 µm;
- camada de acabamento de 60 µm;

Em relação à proteção contra o fogo, é proposta neste trabalho a aplicação de um revestimento com base numa argamassa leve projetada em toda a estrutura de aço, que permita uma estabilidade ao fogo de 60 minutos (R 60). Caso a composição química das argamassas projetadas seja adequada, este esquema de proteção pode permitir dispensar o esquema de proteção contra a corrosão. Em todo o caso, devem cumprir-se as recomendações dos fabricantes.

Finalizada a construção da estrutura metálica, reveste-se a zona circundante aos pilares com alvenaria, aproveitando para isso as sapatas já executadas que servem de apoio. Este processo deve seguir a metodologia apresentada no Capítulo 6.

5.2.3 Cobertura

A cobertura inicia-se com a colocação dos painéis sandwich sobre as madres e fixados conforme as recomendações dos fabricantes. A instalação deste elemento permite criar uma plataforma de trabalho contínua que servirá de suporte para a execução dos elementos sobrejacentes. São eles o ripado, contra-ripado e as telhas. Os dois primeiros são colocados com pregagens, enquanto as telhas simplesmente apoiadas, cumprindo sempre as recomendações do fabricante.

A telha lusa corrente deve ser aplicada da direita para a esquerda, ou vice-versa (conforme o sentido do encaixe da telha), e da zona de beiral para a zona de cumeeira, conforme ilustra a Figura 51. Finalmente, procede-se ao assentamento dos telhões.

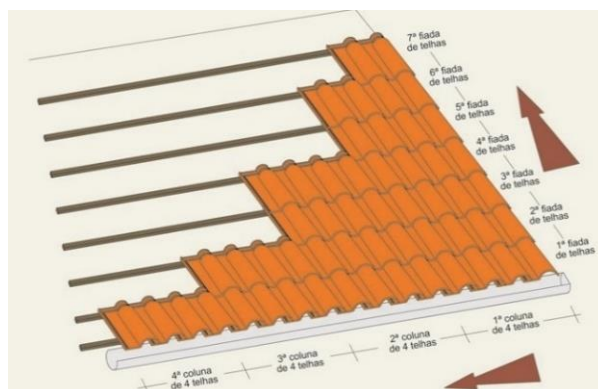


Figura 51 - Assentamento da telha lusa [43].

5.3 Pré-Dimensionamento da Estrutura de Suporte da Cobertura

No presente trabalho faz-se um pré-dimensionamento dos elementos estruturais de suporte da nova cobertura. Estes elementos são constituídos por perfis de aço laminado a quente, com várias geometrias. Dessa forma, o pré-dimensionamento assenta sobretudo no cálculo de estruturas de aço. O aço considerado é do tipo S235 JR. Os cálculos efetuados devem ser encarados de forma superficial, não dispensando o projeto estrutural completo, fora do âmbito do trabalho.

5.3.1 Quantificação das ações

5.3.1.1 Ações gravíticas

São consideradas as ações do peso próprio das telhas, dos painéis sandwich (informações obtidas por consulta de alguns fabricantes), da madeira utilizada no revestimento de teto e das treliças metálicas. É também considerada uma sobrecarga fixa em toda a cobertura, cujo valor se obteve por consulta do Eurocódigo 1 [20]. As ações gravíticas estão sintetizadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Ações gravíticas consideradas no pré-dimensionamento da estrutura de cobertura.

Peso próprio da telha lusa [kN/m ²]	Peso próprio dos painéis sandwich [kN/m ²]	Peso próprio da madeira (revest. teto) [kN/m ²]	Peso próprio do aço para construção [kN/m ³]	Sobrecarga (cobertura tipo H – não acessível) [kN/m ²]
0,50	0,30	0,09	78	0,40

5.3.1.2 Ação do vento

Além das ações gravíticas é considerada a ação do vento. Esta ação é traduzida por pressões constantes incidentes na cobertura, dadas pela expressão seguinte:

$$w = C_p \times qp(z) \quad (1)$$

Considerando uma velocidade do vento de base, $V_b=30$ m/s, e uma altura média de 10 metros, obtêm-se segundo Eurocódigo 1 [20] uma pressão do vento de $qp(z) = 1,50$ kN/m². Este valor deve ser multiplicado pelos coeficientes de pressão exterior e interior (C_{pe} e C_{pi} respetivamente), os quais dependem da geometria e dimensões da cobertura. Alguns cálculos breves revelaram que os valores mais desfavoráveis de C_{pe} são de -0,8 (sucção exterior) e de 1 (compressão exterior) enquanto que os de C_{pi} são de -0,20 (sucção interior) e de 0,30 (compressão interior). Estes quatro valores, quando conjugados, conduzem à soma vetorial da pressão do vento da cobertura, que assume os seguintes valores nos casos mais desfavoráveis (Tabela 5):

Tabela 5 - Pressões do vento na cobertura.

w (compressão na cobertura – sentido descendente) [kN/m ²]	w (sucção na cobertura – sentido ascendente) [kN/m ²]
1,50	- 1,30

5.3.1.3 Combinações de ações

São analisadas duas combinações de ações, envolvendo as cargas permanentes (pesos próprios) e cargas variáveis (sobrecargas e vento). Uma das combinações diz respeito ao caso mais desfavorável com resultante de forças no sentido descendente e a outra ao caso mais desfavorável com resultante no sentido ascendente (Tabela 6). São usados dois coeficientes de majoração. Os coeficientes de majoração assumem os valores de 1,35 ou 1,00 e 1,50 ou 0,00 para as cargas permanentes e variáveis, respetivamente.

Tabela 6 - Combinações de ações.

Combinação 1	Combinação 2
$1,35 \times (0,50 + 0,30 + 0,09) + 1,50 \times (0,4 + 1,50)$	$1,00 \times (0,50 + 0,30 + 0,09) + 1,50 \times (-1,30) + 0,00$

De referir que as ações do vento assumem o sentido perpendicular aos planos da cobertura, e por isso, são decompostas nas suas componentes verticais e horizontais, de modo a simplificar o cálculo. Os resultados finais estão ilustrados na Figura 52.

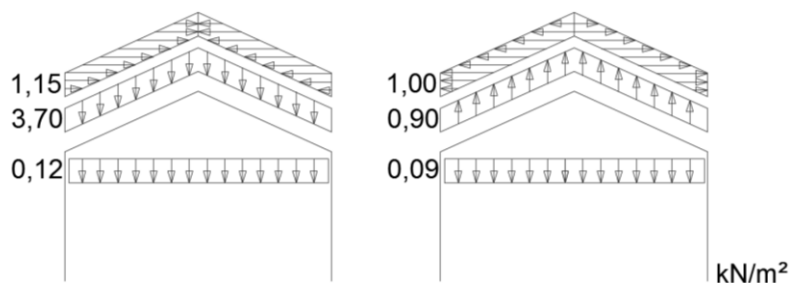


Figura 52 - Resultantes de forças distribuídas na cobertura. Combinação 1 à esquerda, Combinação 2 à direita.

A condição a verificar diz respeito ao estado limite de encurvadura de elementos sujeitos a flexão com compressão, segundo o Eurocódigo 3 [21]. Considera-se a encurvadura em torno do eixo principal de menor inércia da secção. Não se considera encurvadura lateral (flexão-torção).

$$\frac{N_{ed}}{\chi_v N_{rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y,rd}} \leq 1 \quad (3)$$

Onde

N_{ed} e N_{rd} - Esforços axiais de cálculo, atuante e resistente, respetivamente. [kN].

$M_{y,ed}$ e $M_{y,rd}$ – Momentos de cálculo, atuante e resistente, respetivamente, em torno do eixo y da secção. [kN.m]. (utiliza-se o módulo de flexão elástico, W_{el} - secção de classe 3).

χ_v - Coeficiente de encurvadura em torno do eixo principal de menor inércia da secção.

k_{yy} – Conservativamente, adota-se igual a 1,75.

O perfil metálico LNP 150 16 satisfaz a condição (3), obtendo-se para o elemento mais condicionante da treliça o valor de 0,99, sendo por isso o perfil adotado. Este tipo de perfil tem também a vantagem de permitir realizar uma estrutura bidimensional de forma simples, por meio de aparafusamento das suas abas.

5.3.4 Pré-dimensionamento das vigas metálicas

As vigas metálicas são pré-dimensionadas para a combinação 1. Da mesma forma que os restantes elementos, não é dispensável a consideração de outras combinações de ações no projeto de estruturas mais elaborado. A verificação faz-se ao estado limite último de flexão com encurvadura lateral e estado limite último de esforço transversal da secção, cujas expressões são as seguintes Eurocódigo 3 [21]:

$$M_{y,ed} \leq M_{b,y,rd} = \chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4)$$

$$V_{ed} \leq V_{pl,rd} \quad (5)$$

Onde:

$M_{y,ed}$ – Momento atuante de cálculo segundo o eixo de maior inércia da secção.

χ_{LT} – Fator de redução relativo à encurvadura lateral.

$W_{pl,y}$ – Módulo de flexão plástico da secção segundo o eixo de maior inércia.

f_y – Tensão de cedência de cálculo do aço.

γ_{M1} – Coeficiente parcial de segurança (igual a 1,00).

V_{ed} – Esforço transversal atuante de cálculo

$V_{pl,rd}$ – Esforço transversal resistente de cálculo

As duas vigas mais condicionantes são as vigas V1 e V4 (vd. Anexo C – Desenho nº 3). Considera-se um fator de encurvadura lateral, χ_{LT} , igual a 0,5. O perfil HEB 400 satisfaz as condições (4) e (5) (Tabela 7). Utiliza-se o módulo de flexão plástico, W_{ply} , pois a secção é da classe 1.

Tabela 7 - Valores de pré-dimensionamento das vigas metálicas.

Vigas HEB 400			
	V1	V3	V5
My,ed (kN.m)	322,60	249,50	140,50
Mpl,y,rd (kN.m)	761,40	761,40	761,40
Mb,rd (kN.m)	380,70	380,70	380,70
Vy,ed (kN)	147,80	71,80	66,90
Vpl,y,rd (kN)	949,47	949,47	949,47

5.3.5 Pré-dimensionamento dos pilares metálicos

O pré-dimensionamento dos pilares é feito com base na verificação do estado limite último de resistência de colunas à encurvadura por flexão, de acordo com a expressão seguinte Eurocódigo 3 [21]:

$$N_{ed} \leq N_{b,rd} = \chi \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6)$$

Onde:

N_{ed} – Esforço axial atuante de cálculo.

A – Área da secção.

χ – Coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante.

f_y – Tensão de cedência de cálculo do aço.

γ_{M1} – Coeficiente parcial de segurança (igual a 1,00).

Os pilares mais esforçados são, de acordo com as reações de apoio das vigas, o pilar P7 e P8 (vd. Anexo C – Desenho nº 4), com esforço normal atuante $N_{ed} = -346,30 \text{ kN}$. Por simplicidade adota-se o mesmo perfil das vigas, que satisfaz a condição (6) (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de pré-dimensionamento dos pilares metálicos.

Pilares HEB 400										
Ned (kN)	L (m)	Le (m)	λ_y	λ_z	$\lambda_y, \text{norm.}$	$\lambda_z, \text{norm.}$	χ_y	χ_z	Nb,y,rd (kN)	Nb,z,rd (kN)
-346,30	7,00	4,90	20,85	66,22	0,22	0,71	1,00	0,85	1644,53	1399,35

5.3.6 Pré-dimensionamento das sapatas

A verificação considerada no pré-dimensionamento das sapatas é a de que o seu peso impeça o seu levantamento quando sujeitas à combinação de ações 2 (resultante ascendente). Essa combinação

conduz a uma reação de 68,10 kN de tração no pilar mais condicionante, correspondente à força de levantamento da sapata (nota: neste caso não é considerado o peso próprio das treliças metálicas). Admitindo o peso próprio do betão armado da sapata igual a 25 kN/m³, é necessário um volume de 2,72 m³ para impedir o levantamento. A sapata considerada é de 2x2x1 m³, o que é suficiente.

5.3.7 Pré-dimensionamento das ligações das treliças

Faz-se a verificação da resistência ao corte dos parafusos das treliças metálicas, segundo a expressão seguinte Eurocódigo 3 [21]:

$$F_{ed} \leq F_{v,rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (7)$$

Onde:

F_{ed} – Esforço de corte atuante de cálculo.

α_v – Coeficiente utilizado na verificação da resistência ao corte de ligações aparafusadas.

f_{ub} – Tensão de rotura à tração de parafusos

A_s – Área de secção roscada do parafuso.

γ_{M2} – Coeficiente parcial de segurança (igual a 1,25)

O esforço de corte atuante, F_{ed} , correspondente ao esforço axial a transferir da perna da treliça para a diagonal mais esforçada através de um plano de corte, é de 61,70 kN (v.d. Anexo B). A expressão acima é assim verificada com um parafuso M16 da classe 10.9 ($A_s = 157\text{mm}^2$; $f_{ub} = 1000\text{MPa}$; $\alpha_v = 0,5$).

6 SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO DAS PAREDES

6.1 Considerações Gerais

As intervenções em estruturas antigas de alvenaria são sempre operações delicadas, pois implicam alterações ao seu estado atual e ao seu equilíbrio. Deve por isso, procurar limitar-se o impacto que as intervenções possam ter, sem nunca deixar de se garantir as condições de segurança das construções.

A reabilitação das paredes da fortaleza deve processar-se de acordo com um estudo com várias etapas: a análise da informação histórica da construção (Capítulo 2), a identificação do estado atual, das anomalias e o seu diagnóstico (Capítulo 3), a escolha da solução de reabilitação (Capítulo 4) e a escolha das técnicas de reabilitação mais adequadas.

Como se viu no Capítulo 3, as anomalias identificadas foram essencialmente de dois tipos, as que apresentam carácter mais generalizado e as que ocorrem em zonas pontuais das paredes. As anomalias de carácter mais generalizado identificadas são:

- Desagregação da alvenaria de pedra;
- Perda dos revestimentos de paredes;
- Eventualmente existência de fissuras que podem existir um pouco por toda a extensão de paredes.

As anomalias em zonas singulares mais relevantes são:

- Derrubamento da parede do altar;
- Ocorrência de fendas de espessura considerável nalgumas zonas;
- Falta de material de parede (lacunas) em zonas pontuais.

Assim, também as técnicas de reabilitação deverão ter em conta o carácter mais ou menos generalizado das anomalias, a necessidade de conferir capacidade resistente às paredes, os materiais existentes e a sua compatibilidade com os novos materiais. No que diz respeito aos materiais, é preciso ter em atenção as incompatibilidades entre materiais de construção atuais e antigos, de modo a minimizar a probabilidade de ocorrência de novas anomalias ou agravamento das existentes.

Uma vez que a reabilitação da cobertura é assegurada pela construção de uma estrutura de suporte independente das paredes, não se prevê a necessidade de aumentar a sua capacidade resistente em zona corrente, devendo estas apenas apresentar capacidade autoportante que lhes permita resistir ao seu peso próprio e a ações horizontais, particularmente à ação do vento. Note-se que a região da Fortaleza de Cambambe não apresenta risco sísmico significativo, pelo que este tipo de ação não se torna condicionante. Assim, em zona corrente, as operações de reabilitação deverão passar sobretudo pela consolidação e proteção. No entanto, é indispensável o reforço das paredes nalgumas zonas, em particular na zona da parede do altar e restantes zonas a reconstruir. É também necessário repor alguns elementos em falta (lacunas) em alguns locais.

Este capítulo diz respeito à proposta de intervenção com vista à reabilitação das paredes de alvenaria da Igreja de N. Sr.^a do Rosário da Fortaleza de Cambambe. Em primeiro lugar indicam-se as técnicas de reabilitação de alvenarias de pedra usualmente mais usadas. Em segundo lugar explicam-se as operações que melhor se adequam à situação em particular da parede do altar-mor da igreja e sugere-se um procedimento de restauro. Por fim, referem-se as zonas correntes de parede.

6.2 Principais Técnicas de Reabilitação de Alvenarias de Pedra

As principais técnicas de reabilitação de alvenarias de pedra passam sobretudo por injeções de caldas na alvenaria, pela execução de rebocos armados, pela reparação das juntas de assentamento, pela substituição do material degradado e pela introdução de elementos metálicos. De seguida descrevem-se sucintamente as várias técnicas e indicam-se as que mais se adequam a este trabalho.

6.2.1 Injeções em alvenaria

A injeção da alvenaria é uma operação de consolidação que consiste em introduzir uma calda fluída no seu interior, através de furos previamente executados. O objetivo principal é a consolidação da parede pelo preenchimento dos vazios existentes, melhorando assim as características mecânicas, devido ao aumento da sua coesão e densidade. Por isso, este tipo de intervenção adequa-se a paredes não argamassadas ou onde as argamassas existentes tenham já perdido o seu poder aglutinante, ou a zonas fendilhadas.

As caldas de injeção, conhecidas por argamassas *grout*, podem ser essencialmente de dois tipos: orgânicas (resinas poliméricas) e inorgânicas (argamassas de cimento ou cal, entre outras). Devem, em todo o caso, ser compatíveis com os materiais existentes no suporte. O cimento, por exemplo, não deve ser empregue em construções antigas, onde as argamassas são normalmente de cal. A elevada retração das argamassas cimentícias pode levar à ocorrência de tensões nas superfícies de contacto, conduzindo ao aparecimento de novas fendas. Podem recorrer-se a aditivos anti-retração ou expansivos, mas com especial cuidado para que a argamassa não se torne demasiado expansiva e introduza tensões na alvenaria que a possam danificar.

As resinas (usualmente resinas epoxídicas), não justificam a sua utilização em alvenarias de pedra seca ou fracamente argamassada, devido à sua elevada rigidez e resistência, o que pode causar desequilíbrios na estrutura. Tanto as argamassas com base cimentícia como as caldas à base de resinas poliméricas comprometem o princípio da reversibilidade. Deste modo, em construções antigas deve ser privilegiado o uso de caldas de injeção à base de cal [14] [22].

6.2.2 Rebocos armados

Esta técnica consiste na aplicação de argamassas de revestimento sobre a parede existente, com espessuras normalmente entre 3 a 5 cm, armadas com varões de aço de pequeno diâmetro, redes de metal distendido, malhas electrosoldadas, ou redes de fibra de vidro fixadas pontualmente à parede. Pode ser aplicada em toda a área de parede ou apenas em zonas localizadas, como por exemplo na reparação de fendas. As argamassas podem ser de natureza cimentícia ou de cal, sendo recomendável

para paredes antigas o emprego de argamassas à base de cal, devido à compatibilidade com o material existente.

Apesar de implicar a alteração da imagem superficial das paredes, esta técnica demonstra bons resultados em termos de reforço da alvenaria, no que diz respeito à resistência e rigidez globais e, em particular, no incremento de resistência e ductilidade para ações perpendiculares ao plano da parede.

A utilização de betão armado em substituição às argamassas (técnica de reforço denominada de encamisamento) traduz-se numa solução mais robusta, que é normalmente aplicada quando as paredes apresentam uma resistência muito reduzida ou uma fraca ligação entre materiais [14] [22].

6.2.3 Tratamento e reparação de juntas

Esta técnica consiste na remoção, parcial ou total, da argamassa degradada e a sua substituição por uma de melhor qualidade e que permita obter maiores garantias de durabilidade. Além da reparação localizada da parede, o refecimento das juntas permite também assegurar a proteção do seu interior, principalmente no que diz respeito à entrada de água. Pode-se recorrer a esta técnica de uma forma geral, fazendo o tratamento das juntas em toda a área de paredes, ou apenas de uma forma localizada, incidindo apenas nas zonas que se encontrem mais degradadas. Mais uma vez, é preciso ter em atenção ao tipo de argamassas utilizadas no refecimento das juntas e a sua compatibilidade com os materiais existentes. Como já foi explicado, não é recomendável o uso de argamassas à base de cimento [14] [22].

6.2.4 Substituição de material degradado/reconstrução

Quando existem já zonas num estado de degradação muito avançado, ou quando a resistência dos elementos é muito reduzida, é possível recorrer a esta técnica, que consiste na remoção dos elementos e sua posterior recolocação ou substituição por outros em melhores condições. A conjugação desta técnica com a técnica do refecimento de juntas é de todo o interesse, pois ao reconstruir-se uma dada zona de parede garante-se o adequado assentamento da alvenaria bem como a estanqueidade das juntas.

É uma técnica bastante morosa, pois requer a remoção individual dos elementos da parede, neste caso das pedras. Caso se pretendam aproveitar os elementos removidos para a reconstrução, é necessária a numeração individual das peças de forma a que possam ser colocadas no mesmo sítio. Além disso, pode ser necessário o escoramento das paredes, ou até a introdução de elementos que permitam encaminhar as cargas por outro caminho durante a execução dos trabalhos de remoção e substituição.

O problema das argamassas aplicáveis na reconstrução da parede volta a colocar-se, em particular no que diz respeito ao controlo da retração, que pode conduzir à ocorrência de fendilhação. Em alvenarias antigas não devem, por isso, ser empregues argamassas de cimento, a menos que sejam utilizados aditivos anti-retração ou expansivos. Da mesma forma, devem ser respeitados os materiais originais e assegurada uma boa ligação entre elementos novos e antigos [14].

6.2.5 Introdução de elementos metálicos na alvenaria

6.2.5.1 Tirantes

Os tirantes são elementos metálicos inseridos na alvenaria, aderentes ou não aderentes, que permitem conferir às paredes a resistência à tração que estas praticamente não apresentam. Podem ser tirantes ativos, que são postos em tensão de forma a transmitir uma força de compressão à alvenaria. Esta solução é usualmente utilizada no reforço de arcos e abóbadas. No caso de serem passivos não lhes é aplicada nenhuma tensão, entrando estes em trabalho apenas em caso de existirem forças aplicadas ou deslocamentos [14] [22].

6.2.5.2 Conectores de confinamento

Os conectores de confinamento são varões metálicos aplicados perpendicularmente ao plano dos paramentos, que têm como objetivo melhorar a resistência à compressão através do confinamento das paredes, restringindo o abaulamento. Assumem especial interesse nas paredes de vários panos que não tenham perpianhos.

Também podem ser aderentes, ou não aderentes - apertados mecanicamente com porcas e placas de ancoragem que permitem distribuir as tensões geradas por uma área considerável de parede, - (Figura 54) [14] [22].

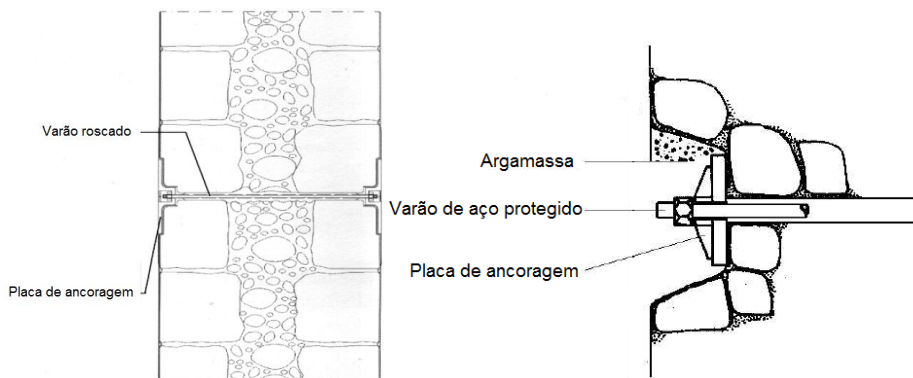


Figura 54 - Conector de confinamento em parede de dois paramentos (esquerda). Sistema de ancoragem com porca e anilha (direita) (adaptado de [22]).

6.2.5.3 Pregagens

Esta solução consiste em colocar barras de aço protegido em furos de pequeno diâmetro previamente abertos na alvenaria, que atravessam os elementos a reforçar, promovendo a ligação entre elementos cooperantes. As pregagens podem também ser fixadas através da injeção de caldas/resinas, ou com recurso a chapas de ancoragem. Podem ser generalizadas ou localizadas.

As pregagens generalizadas garantem o reforço geral do elemento de parede, incrementando a sua resistência à tração, corte e compressão. As pregagens localizadas assumem especial interesse no reforço de paredes perpendiculares entre si. Este tipo de solução designa-se por “costura” (Figura 55) [14] [22].

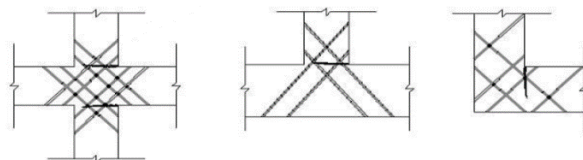


Figura 55 - Reforço de ligações de entre paredes ortogonais com recurso a pregagens (adaptado de [22]).

6.3 Proposta de intervenção – Parede do Altar

A parede do altar é um caso particular da estrutura, não só por apresentar algumas anomalias muito relevantes de carácter local, mas também por ser uma zona nobre da construção. Por isso, foram equacionadas duas soluções possíveis para esta parede: a desmontagem e o endireitamento.

6.3.1 Desmontagem e reconstrução

A desmontagem seguiria essencialmente o descrito no ponto 6.2.4. A parede teria de ser desmontada e retirados todos os elementos constituintes da alvenaria. Estes deveriam depois ser analisados de forma a compreender quais os que estão demasiado degradados, ou seja, os que teriam de ser substituídos. Os restantes poderiam ser utilizados na reconstrução da parede. Este processo implicaria, contudo, a identificação desses elementos para posterior recolocação. Além disso, tornar-se-ia difícil compatibilizar os elementos reutilizáveis com os novos, com as fundações, e também com a argamassa de assentamento. Eventualmente também seria necessário prever uma estrutura de contenção que substituísse a parede enquanto esta fosse reconstruída.

Os motivos indicados, aliados ao facto de a parede do altar ser uma estrutura de valor arquitetónico e patrimonial bastante considerável (que se perderiam em parte ao reconstruí-la), justificam que não seja aconselhada a solução de desmontagem e reconstrução.

6.3.2 Endireitamento

Por outro lado, parece mais razoável procurar corrigir as anomalias da parede do altar através do seu endireitamento e reparação, preservando o valor arquitetónico e patrimonial da construção original. Neste trabalho foram ponderadas duas soluções de endireitamento da parede: endireitamento com recurso a macacos hidráulicos; e endireitamento com recurso a cabos e guinchos.

A primeira solução consiste em construir duas estruturas metálicas provisórias na frende e tardez da parede, onde são colocados macacos hidráulicos, que aplicando forças horizontais, introduzem um deslocamento gradual na parede, até que esta se encontre vertical. No entanto, a localização da Fortaleza de Cambambe em meio rural de difícil acesso e a altura da parede (cerca de 7 m), onde teriam de se colocar devidamente os macacos hidráulicos na horizontal, tornam difícil a execução desta solução.

A outra solução consiste no endireitamento com recurso a cabos de aço tracionados que introduzem uma força com componente horizontal correspondente ao deslocamento necessário para que se

verifique a verticalidade da parede. Os cabos de aço são acoplados a guinchos de alavanca horizontais. Tanto os guinchos como os cabos devem ter capacidade de carga suficiente para que se possa executar o trabalho em segurança. Os guinchos podem ser fixados ao solo por meio de pregagens que podem ou não ser injetadas com calda de cimento consoante a capacidade resistente deste. Deve recorrer-se a número par de sistemas cabo-guincho (mínimo de dois), simetricamente distribuídos na parede para que não se criem excentricidades aquando da aplicação das forças.

Os cabos atravessam o plano da parede na zona do vão do arco. No tardo da parede deve ser prevista uma placa metálica ou prancha de madeira, suportada por uma estrutura provisória que permita o seu deslocamento horizontal. Esta placa tem a função de distribuir, forma o mais homogénea possível, as forças aplicadas pelos cabos à parede, que poderiam causar problemas locais (Figura 56).

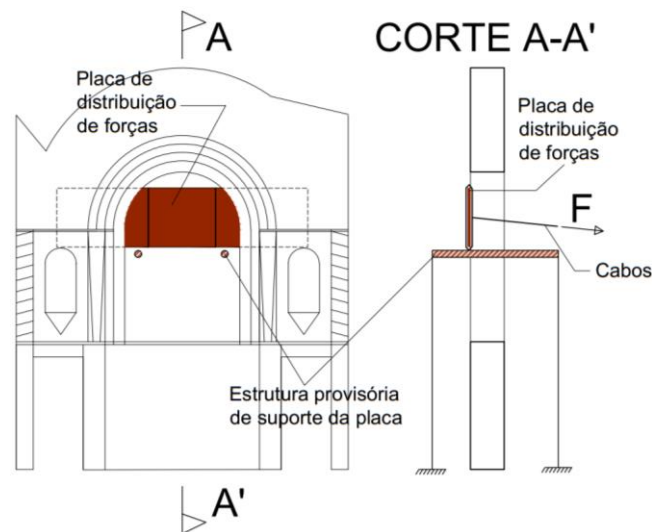


Figura 56 - Esquema da aplicação da força de endireitamento da parede com recurso a placa de distribuição.

A fixação dos cabos ao solo deve ser feita a uma distância da parede tal que o ângulo que estes fazem com a horizontal seja mínimo, implicando assim menor componente vertical da força. Recomenda-se a fixação dos guinchos junto da entrada principal da igreja (Figura 57).

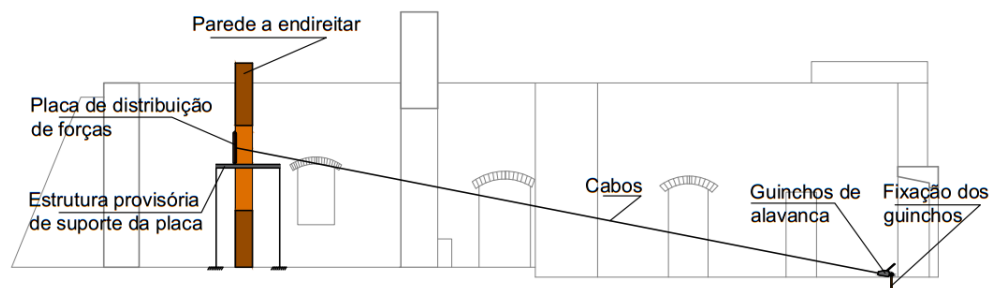


Figura 57 - Corte longitudinal esquemático do mecanismo de endireitamento da parede do altar.

É indispensável que a força nos cabos seja aplicada de forma gradual, ou seja de forma quase estática, e que esta operação seja meticolosamente monitorizada, por meio de observação direta e, se se achar necessário, com recurso equipamento topográfico. Em caso de ocorrência de fissuração, deformação,

esmagamento, ou outras anomalias de origem estrutural deve interromper-se imediatamente o processo e procurar estabilizar a parede antes de prosseguir. No final da operação a verticalidade da parede é garantida com recurso a equipamento topográfico ou de *laser*.

Sugere-se também o refechamento das zonas dos vãos da base da parede com alvenaria de pedra argamassada ou o reforço daquelas zonas com uma estrutura metálica que permita a passagem para o compartimento atrás do altar. Procura-se assim reforçar aquela zona da parede, dotando-a de apoios mais estáveis, uma vez que o seu derrubamento pode estar associado ao apoio deficiente.

Como forma de reforço, sugere-se a execução de pregagens nas ligações desta parede com as paredes laterais da fortaleza, perpendiculares entre si. Como já se explicou, nesta técnica inserem-se varões de aço na alvenaria de forma a reforçar aquelas ligações. Os varões (diâmetro de 20 mm) devem ser inseridos em furos (diâmetros de 26 mm) executados previamente e paralelamente à parede em causa, como se exemplifica na Figura 58. Os varões devem ser protegidos contra a corrosão e devem ser inseridos a várias cotas. É possível executar ranhuras na alvenaria, nos locais onde são inseridos os varões, que serão depois cobertas por pedra e argamassa. Estas ranhuras permitem omitir os locais onde foram inseridos os varões.

As pregagens podem ser simplesmente ancoradas pela chapa de distribuição de forças ou também aderentes, sendo injetadas com uma calda adequada (vd 6.2.5.3). A calda recomendada é uma calda de cal hidráulica natural, NHL 3,5 ou classe superior, com relação água/ligante de 0,6 [23]. Caso se utilize uma calda pré-doseada devem seguir-se as recomendações do produtor.

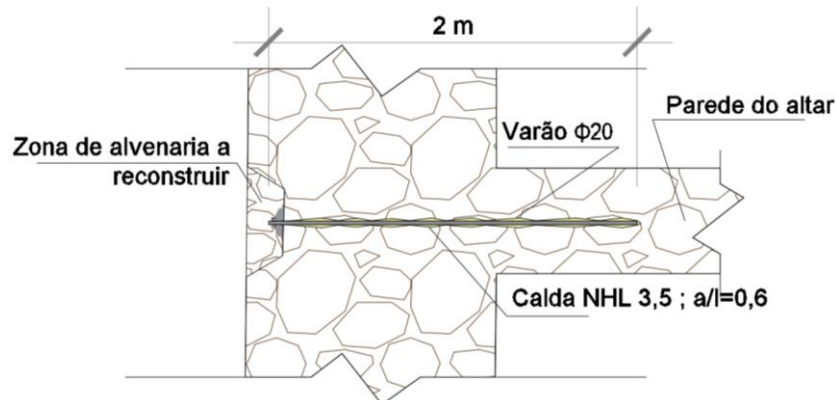


Figura 58 - Exemplo de pregagens a executar na ligação da parede do altar com as paredes ortogonais.

Em complemento ao reforço desta parede, pode ainda proceder-se à execução da técnica de reboco armado. Esta técnica, contudo, é pouco reversível e implica uma alteração da aparência dos paramentos, o que é totalmente indesejável numa parede com valor patrimonial como esta. Assim, sugere-se a aplicação de reboco armado apenas no tardo da parede, uma zona menos nobre, que é oculta a quem se encontrar de frente para o altar-mor. O reboco armado permite o reforço da parede essencialmente para esforços de flexão e corte para fora do seu plano, associados à deformação da parede. Para tal recorre-se a uma rede de metal distendido, que deve ser fixada com pequenas

pregagens dispostas em quincôncio com espaçamentos não superiores a 40 cm. Sobre a malha aplica-se, manualmente ou com aparelhos de projeção, uma argamassa que deve ser também à base de cal hidráulica natural, semelhante à que se especifica no ponto 6.4 [22]. Sugere-se também o restauro da ornamentação do lado nobre desta parede e do lado nobre da parede divisória entre a sala do altar e a ante-câmara com recurso a uma argamassa de cal hidráulica natural (NHL).

6.4 Proposta de Intervenção – Torre de campanário e fachadas

No sentido da recuperação da imagem original da Igreja de Nossa Senhora do Rosário da Fortaleza de Cambambe, e considerando as igrejas de Massangano e Muxima, que se encontram atualmente em bom estado e dão uma orientação concreta sobre a arquitetura destas construções, propõe-se reconstruir a torre de campanário da igreja levantando as suas paredes em 4 metros (dimensão estimada por observação visual da torre de campanário da igreja de Massangano) e reconstruir o topo das paredes das fachadas principal (norte) e tardoz (sul). A reconstrução das paredes deve ser feita com alvenaria de pedra semelhante à existente e assente em argamassa de cal hidráulica natural (NHL).

No caso da torre de campanário, são previstas quatro aberturas nas paredes (uma em cada parede) que cujos vãos devem ser materializados por arcos de descarga em tijolo maciço devidamente reforçados com argamassa. No topo da torre é prevista uma cobertura, também em telha lusa, suportada por uma pequena estrutura metálica apoiada nas paredes. A alvenaria nesta zona sobrepõe-se aos perfis metálicos da estrutura de suporte da cobertura, que nela ficam embebidos.

O topo das paredes das fachadas frontal e tardoz e o topo das paredes da sala anexa devem também ser reconstruídos. Na parede da fachada frontal são previstas três aberturas materializadas por arcos de descarga de tijolo maciço devidamente assentes com argamassa (Figura 59). Nas paredes da sala anexa são também previstas duas aberturas semelhantes. Nesta última zona deve ser prevista uma estrutura ligeira de suporte de cobertura, composta por vigamentos metálicos assentes na alvenaria.

6.5 Proposta de intervenção – Zonas correntes de parede

Nas zonas correntes de parede (todas as paredes existentes à exceção dos lados nobres da parede do altar-mor e da parede que separa a ante-câmara da sala do altar) propõe-se a aplicação da técnica de reforço estrutural com reboco armado. Esta técnica deve também ser aplicada às zonas a reconstruir, de forma homogénea e contínua em toda a área de parede, reforçando-a assim para o aumento de peso. A aplicação desta técnica permite o acabamento final com tinta de cor branca, de forma semelhante ao que são as paredes das igrejas de Muxima e Massangano.

A aplicação desta técnica deve seguir o seguinte procedimento:

- 1 – Remoção dos materiais estranhos e prejudiciais, tais como argamassas disfuncionais, pedras degradadas, sujidade, plantas e outros materiais orgânicos, com recurso a ferramentas manuais

(martelos e escopros de diferentes tamanhos conforme o tipo de juntas), numa profundidade de 5 a 7 cm.

2 – Saneamento das juntas da alvenaria, que pode ser feita com ar comprimido (pressão não superior a 100 bar) e escovas macias, permitindo obter uma boa superfície de contato que promova a adesão entre argamassas.

3 – Substituição do material degradado, como pedras e argamassas, devendo proceder-se ao refechamento das juntas da alvenaria com uma argamassa de cal hidráulica natural. A argamassa deve preencher as cavidades existentes e ser bem compactada de encontro a parede.

4 – Colocação de rede de metal distendido (preferencialmente aço inoxidável) com recurso a pregagens com varões de pequeno diâmetro e dispostas em quincôncio com espaçamentos entre vértices de triângulos equiláteros não superiores a 40 cm.

5 – Aplicação de argamassa de cal hidráulica natural. Deve proceder-se previamente à humedificação do suporte. Recomenda-se a aplicação por projeção com material adequado, uma vez que a área de parede é extensa. A projeção pode ser feita por via húmida ou via seca. A espessura da camada de reboco não deve ser superior a 3 cm.

6 – Aplicação esquema de pintura com acabamento final de cor branca, após adequada secagem do suporte e respeitando sempre as recomendações dos fabricantes (Figura 59).



Figura 59 – Aspeto geral da solução de reabilitação da igreja (duas perspetivas).

7 CONCLUSÕES

Todas as construções apresentam um período de vida útil, que é o período de tempo durante o qual todas as propriedades dos seus elementos excedem os valores mínimos aceitáveis. A garantia do período de vida útil assume a necessidade da execução de operações de manutenção regulares. Em construções antigas, as operações de manutenção tornam-se indispensáveis e se não forem feitas corre-se o risco de acelerar o processo de degradação natural dos elementos construtivos.

No caso da Fortaleza de Cambambe, o seu abandono há mais de um século traduziu-se na completa falta de manutenção, que levou à degradação cada vez mais acelerada dos materiais de construção, dos elementos construtivos e, no geral, da construção em si. O facto de ser uma construção de carácter histórico faz com que tenha um valor patrimonial bastante elevado. Por isso, é de todo o interesse que sejam tomadas medidas de preservação.

A reabilitação de qualquer edifício deve inicialmente passar pela recolha de toda a informação com ele relacionada, pelo que foi feita neste trabalho uma pesquisa com essa finalidade. Foi encontrada alguma documentação histórica que permitiu concluir que aquela fortificação foi construída no âmbito da conquista do território do interior de Angola por parte dos descobridores portugueses. Porém, foi encontrada muito pouca informação técnica, talvez também porque os métodos construtivos da época eram essencialmente empíricos.

Foi feita uma análise da construção com recurso ao levantamento fotográfico e a algumas peças desenhadas, que permitiram concluir sobre os materiais e técnicas empregues, bem como sobre as anomalias existentes, sendo as principais: a inexistência de cobertura, a deformação da parede do altar e a inexistência de revestimentos de paredes. No entanto, a inspeção visual efetuada com base nos elementos fotográficos pode ser insuficiente para a compreensão de alguns aspetos, como a determinação das argamassas existentes e o grau de deterioração das mesmas, a identificação da abertura das fendas e sua evolução no tempo, pelo que a utilização de outras técnicas de diagnóstico poderia ser aplicável.

A escolha da metodologia de intervenção deve ser ponderada de acordo com as características da construção, a finalidade da reabilitação, os custos associados, os meios disponíveis e o grau de intrusão e conflito da solução com a estrutura original. As técnicas de construção/reabilitação são também fortemente condicionadas pelas condições de trabalho locais e de transporte. A localização da Fortaleza numa zona rural com poucos meios disponíveis e acessos condicionados, compromete de forma significativa a escolha das técnicas a empregar.

A reconstrução de coberturas em ruínas é difícil porque não se conhece a capacidade resistente das paredes, e mesmo o seu reforço pode não garantir a fiabilidade estrutural. Concluiu-se, por isso, que a solução de reabilitação da cobertura mais indicada seria a da construção de uma estrutura independente das paredes existentes, mas que fique omitida, não violando o critério estético. As fundações da nova estrutura são sapatas de betão armado que se implantam ao lado das fundações

existentes, não sendo necessário os descalce das mesmas. Os restantes elementos da superestrutura são de aço de construção, que é um material que implica processos construtivos menos morosos. A cobertura é materializada por várias treliças metálicas, todas iguais, sendo o revestimento constituído por telha lusa de aba e canudo. A omissão das treliças metálicas é conseguida através do uso de revestimento de tetos em madeira.

Quanto à reabilitação das paredes, consideraram-se dois tipos de intervenções: intervenções em zonas pontuais e em zonas generalizadas. As intervenções pontuais dizem respeito à parede do altar que apresentava uma deformação bastante considerável, estando até em perigo de colapso, e à reconstrução da torre de campanário e das fachadas. As intervenções generalizadas aplicam-se às zonas correntes de parede, ou seja, em toda a estrutura.

A deformação da parede do altar é uma anomalia para a qual não existem soluções “pré-estudadas”, pelo que foram avaliadas várias opções: desmontagem e reconstrução; endireitamento com recurso a macacos hidráulicos; endireitamento com recurso a cabos e guinchos de alavanca. Concluiu-se que a melhor solução seria o endireitamento com recurso a cabos e guichos, porque não implica a perda de autenticidade da parede original e porque os materiais e processos associados são de mais fácil execução. Em complemento, sugeriu-se a execução de pregagens na ligação desta parede com as que lhe são ortogonais, reforçando essa ligação. Referiu-se ainda a técnica de reboco armada que pode também ser aplicada apenas no tardo da parede, não afetando assim a sua imagem, e reforçando a sua resistência sobretudo na direção perpendicular à do seu plano.

Foi preconizada a reconstrução da torre de campanário, bem como do topo das fachadas principal e tardo, o que implica um aumento de cargas gravíticas aplicadas às paredes já existentes. Dessa forma sugere-se a aplicação da técnica de reboco armado para reforço estrutural. Esta técnica, aplicada às zonas correntes de parede (todas as paredes à exceção dos lados ornamentados da parede do altar e da parede que separa a ante-câmara da sala do altar), permite também o emprego de um acabamento final de cor branca, que se enquadra com os exemplos documentados das igrejas de Muxima e Massangano.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu, para além da elaboração de um projeto preliminar para a reabilitação da Igreja de N. Sr.^a do Rosário que pode ser aplicado, o conhecimento de alguns condicionamentos existentes num projeto de engenharia real, desde a fase de conhecimento e caracterização das construções antigas, passando pela fase de conceção e ponderação de soluções possíveis e, finalmente, até à fase de execução e das tecnologias associadas.

Conseguiu-se uma solução de reabilitação em que se tiram partido de tecnologias de construção atuais (por exemplo a construção metálica), que devidamente integradas com a construção existente e com as tecnologias antigas permitiram uma solução final harmoniosa do ponto de vista estético, estrutural e patrimonial.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Batalha, *Povoações Históricas de Angola*, Lisboa: Livros Horizonte, 2008.
- [2] “Diogo Cão,” [Online]. Disponível em: <http://www.padraodosdescobrimientos.pt/protagonistas/diogo-cao/>. [Acedido em Outubro 2015].
- [3] “De onde vem o nome "Angola",” 31 5 2006. [Online]. Disponível em: <http://introestudohistangola.blogspot.pt/2006/05/31-donde-vem-o-nome-angola.html>. [Acedido em Outubro 2015].
- [4] E. Morais e A. Matoso, *História dos Portugueses em Angola*, Luanda: Edições Luanda.
- [5] “As viagens de Alex,” [Online]. Disponível em: <http://asviagensdealex.blogspot.pt/2009/08/nas-serras-de-cambambe-o-eldorado.html>. [Acedido em Outubro 2015].
- [6] M. A. T. Coelho, *Fortalezas de Angola 1485-1685. Dissertação para Licenciatura em Ciências Históricas e Filosóficas*. Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa, 1959.
- [7] J. V. Serrão, *História de Portugal - vol. IV (1580-1640)*, Lisboa: Verbo, 1979.
- [8] “Portugal, Dicionário Histórico,” [Online]. Disponível em: <http://www.arqnet.pt/dicionario/sasalvadorc2.html>. [Acedido em Outubro 2015].
- [9] “Lusa - Agência de Notícias de Portugal, S.A.,” [Online]. Disponível em: <http://www.independenciaslusa.info/secular-fortaleza-de-cambambe-escapa-a-destruicao-total-com-obra-de-emergencia-cvideo/>. [Acedido em Novembro 2015].
- [10] J. M. Delgado, *História Geral das Guerras Angolanas por António de Oliveira de Cadornega - 1680, Anotado e Corrigido, Tomo I.*, Lisboa: Divisão de Publicações da Agência Geral das Colónias, 1940.
- [11] “Tropicalia,” [Online]. Disponível em: http://afmata-tropicalia.blogspot.pt/2013/07/blog-post_23.html. [Acedido em Outubro 2015].
- [12] *Imagem disponibilizada pelo Prof. Rui Vaz Rodrigues*, 2015.
- [13] J. Appleton, *Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e Tecnologias de Intervenção (2ª edição)*, Lisboa: Editora Orion, 2011.

- [14] I. Flores e J. d. Brito, *Diagnóstico, patologia e reabilitação de alvenaria de pedra*, Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2004.
- [15] M. R. Veiga, *Argamassas de Alvenarias Históricas. Funções e Características*, Lisboa: LNEC.
- [16] R. V. Rodrigues, L. Mazziotti e A. P. d. Silva, *Reforço de Potência do Aproveitamento Hidroeléctrico de Cambambe 2 - Central de Cambambe*, 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2014.
- [17] “GeoMuseu - Mineralogia e Geologia - Técnico Lisboa,” [Online]. Disponível em: <http://geomuseu.ist.utl.pt/MINGEO2010/Aulas%20teoricas/Tema%2003%20Petrologia%20e%20Petrografia%20T1/Petrologia%20Sedimentares/Rochas%20sedimentares.pdf>. [Acedido em Janeiro 2016].
- [18] “Património Cultural - Carta de Atenas. Conclusões da Conferência Internacional de Atenas sobre o restauro dos monumentos,” [Online]. Disponível em: <http://www.patrimoniocultural.pt/media/uploads/cc/CartadeAtenas.pdf>. [Acedido em Fevereiro 2016].
- [19] “Património Cultural - Carta de Veneza sobre a conservação e restauro dos monumentos e dos sítios,” [Online]. Disponível em: <http://www.patrimoniocultural.pt/media/uploads/cc/CartadeVeneza.pdf>. [Acedido em Fevereiro 2016].
- [20] Eurocódigo 1 - *Acções em Estruturas. NP EN 1991*, Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [21] Eurocódigo 3 *Projecto de estruturas de aço. Parte 1-1: Regras gerais para edifícios. NP EN 1993-1-1.*, Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [22] J. C. A. Roque, *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho., 2002.
- [23] N. G. d. Almeida, A. P. F. Pinto e A. Gomes, *Caldas de cal hidráulica para consolidação de alvenarias antigas. Influência da relação a/l e do tipo de cura*, 4^o Congresso Português de Argamassas e ETICS, 2012.
- [24] “Infopédia, dicionários Porto Editora,” [Online]. Disponível em: [http://www.infopedia.pt/\\$alcacer-quibir](http://www.infopedia.pt/$alcacer-quibir). [Acedido em Outubro 2015].

- [25] P. Adriano, A. S. Silva, R. Veiga, A. Candeias e A. Mirão, *Determinação da Composição de Argamassas Antigas*, 2º Congresso Nacional de argamassas de construção, 2007.
- [26] “Paulo Dias de Novaes,” [Online]. Disponível em:
<http://fotos.sapo.pt/hsf/fotos/?uid=f8RdcBqSjMI25DNhZ1aB>. [Acedido em Outubro 2015].
- [27] “Retrato de Manuel Cerveira Pereira,” [Online]. Disponível em:
<http://www.tribop.pt/MB/moedasnotas/notas.htm>. [Acedido em Novembro 2015].
- [28] “Um Historiador,” [Online]. Disponível em: <https://umhistoriador.wordpress.com/tag/salvador-de-sa/>. [Acedido em Novembro 2015].
- [29] “Tropicalia,” [Online]. Disponível em: <http://afmata-tropicalia.blogspot.pt/2013/07/fortaleza-de-cambambe.html>. [Acedido em Outubro 2015].
- [30] “Fórum Mazungue,” [Online]. Disponível em:
<http://www.mazungue.com/angola/index.php?page=Thread&threadID=941&pageNo=1321&highlight=Recordar+Nova+Lisboa>. [Acedido em Novembro 2015].
- [31] “Proof2000,” [Online]. Disponível em:
<http://www.prof2000.pt/users/secjeste/arkidigi/adimneto/Cambambe01.htm>. [Acedido em Outubro 2015].
- [32] “Proof2000,” [Online]. Disponível em:
<http://www.prof2000.pt/users/secjeste/arkidigi/massan01.htm>. [Acedido em Outubro 2015].
- [33] “Destino Angola,” [Online]. Disponível em: <http://www.destinoangola.com/locais-visitar/bengo/fortaleza-muxima.html>. [Acedido em Outubro 2015].
- [34] H. D. S. Azevedo, *Reforço de Estruturas de Alvenaria de Pedra, Taipa e Adobe com elementos de madeira maciça* - Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. F.E.U.P., Porto, 2010.
- [35] “Carvalho e Maia - Materiais de Construção e Decoração,” [Online]. Disponível em:
http://carvalhoemaia.pt/index.php?route=product/product&product_id=3097. [Acedido em Abril 2016].
- [36] “Trabalhos de Casa,” [Online]. Disponível em:
<http://trabalhosdecasa.pt/manutencao/telhados/>. [Acedido em Abril 2016].

- [37] “Cerâmica Torreense - Suporte técnico,” [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicatorreense.pt/pt/suporte-tecnico/aplicacao/telha-lusa/aplicacao-de-acessorios-e-casos-particulares/telhao-ou-cume/>. [Acedido em Abril 2016].
- [38] “Cerâmica Torreense - Suporte Técnico,” [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicatorreense.pt/pt/suporte-tecnico/aplicacao/telha-lusa/aplicacao-de-acessorios-e-casos-particulares/telhas-de-ventilacao-passadeira-ou-nao/>. [Acedido em Abril 2016].
- [39] “Cerâmica Torreense - Suporte técnico,” [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicatorreense.pt/pt/suporte-tecnico/aplicacao/telha-lusa/aplicacao-de-acessorios-e-casos-particulares/beiral-simples-beirado-com-telha/>. [Acedido em Abril 2016].
- [40] “Orçamentos e Orçamentação,” [Online]. Disponível em: http://orcamentos.eu/fichas-de-rendimento/?fwp_fichas_de_rendimento=painel-sandwich-madeira-fichas-de-coberturas-fichas-de-rendimento&fwp_paged=3. [Acedido em Abril 2016].
- [41] Z. M. Chamberlain e Z. M. C. Pravia, *Cálculo de Ligações em Estrutura Metálica*, 2012.
- [42] “Top Informática,” [Online]. Disponível em: <http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=100&item=31716>. [Acedido em Maio 2016].
- [43] “Cobert,” [Online]. Disponível em: <http://www.telhascobert.com/docs/recomendacoes/recomendacoes-basicas-de-aplicacao-de-telha-ceramica#.VyoH6lQrLIU>. [Acedido em Abril 2016].
- [44] *Cambambe*, Arquivo da Biblioteca Nacional de Portugal.
- [45] *Fortaleza de Cambambe*, Arquivo Histórico Ultramarino.
- [46] J. R. F. Roseiro, *Causas, anomalias e soluções de reabilitação estrutural de edifícios antigos*, Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

ANEXOS

Anexo A – Levantamento Fotográfico

Anexo B – Pré-Dimensionamento da Estrutura de Suporte da Cobertura

Anexo C – Peças Desenhadas

Anexo A – Levantamento Fotográfico



Fachada principal e fachada lateral esquerda.



Parede do altar.



Fachada principal e fachada lateral esquerda.



Sala da ante-câmara.



Parede na região da porta principal.



Parede interior da sala da ante-câmara.



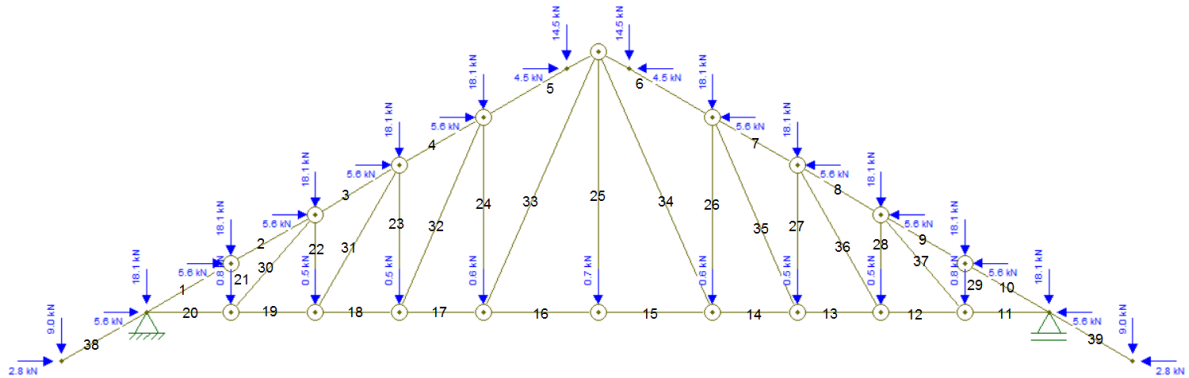
Fachada lateral direita e tardoz.



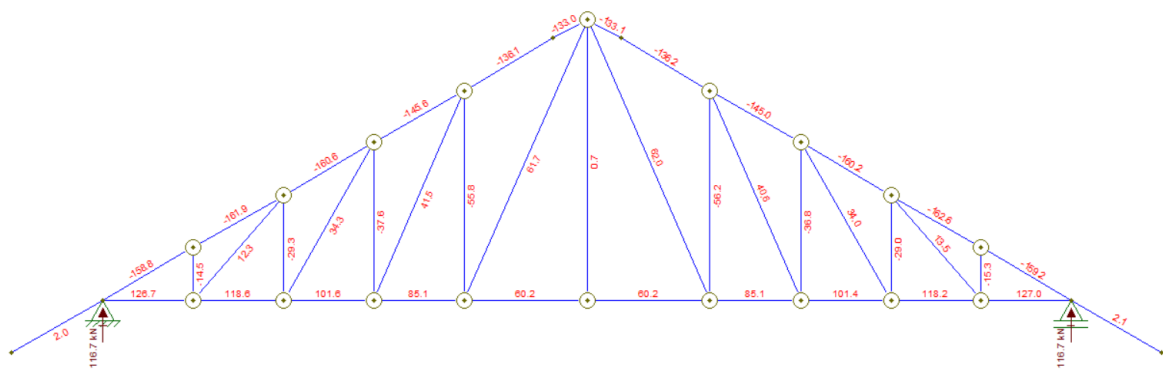
Fachada tardoz.

Anexo B – Pré-Dimensionamento da Estrutura de Suporte da Cobertura

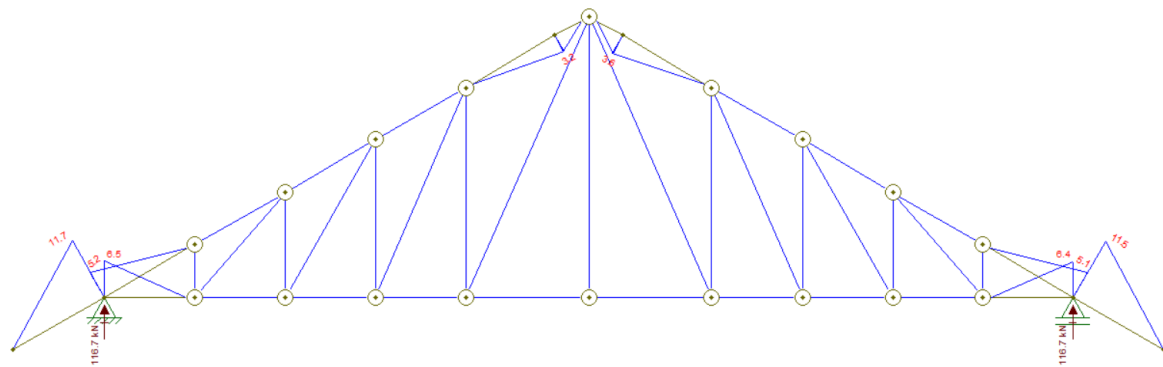
DIMENSIONAMENTO DAS TRELIÇAS METÁLICAS



Modelo estrutural e cargas aplicadas (combinação 1)

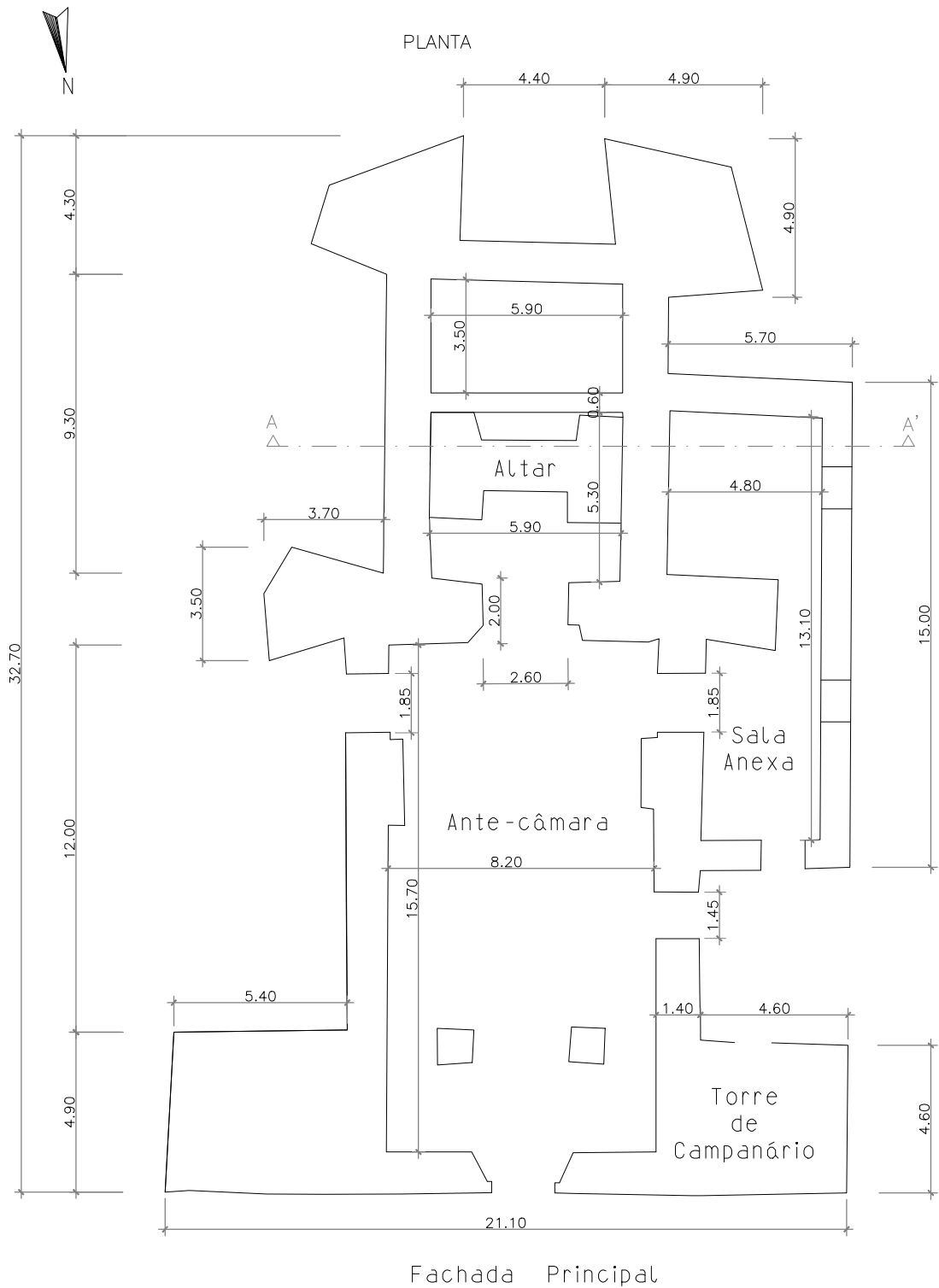


Esforços axiais nos elementos da treliça (kN)



Momentos fletores nos elementos da treliça (kN.m)

Anexo C – Peças Desenhadas



NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

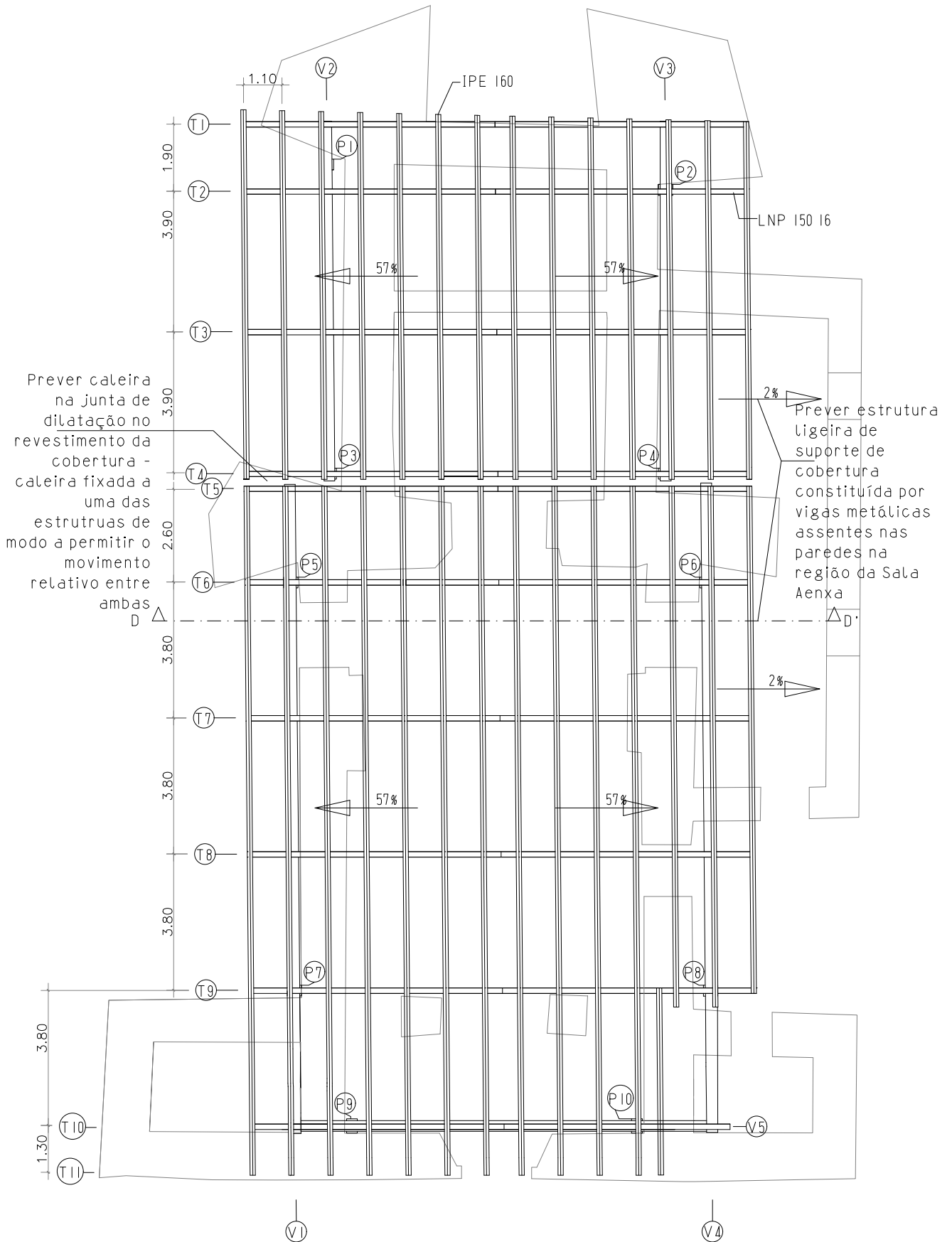
Levantamento das dimensões - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 1 - Planta da estrutura existente



Discente: Luís Santos nº 67452	Data: 03/05/2016
---	----------------------------

ESCALA : 1/200 Medidas em [m]



NOTAS: 1 - Aplicar esquema de pintura:
 -preparação da superfície grau Sa2 1/2;
 -primário: pintura bicomponente espess. 60 µm;
 -sub-capa: pintura bicomponente espess 80 µm;
 -acabamento: espess. 60 µm.
 De acordo com as especific. dos fabricantes.

2 - Aplicar argamassa de proteção ao fogo. (REI 60). De acordo com especific. dos fabricantes.

ESCALA : 1/150 Medidas em [m]

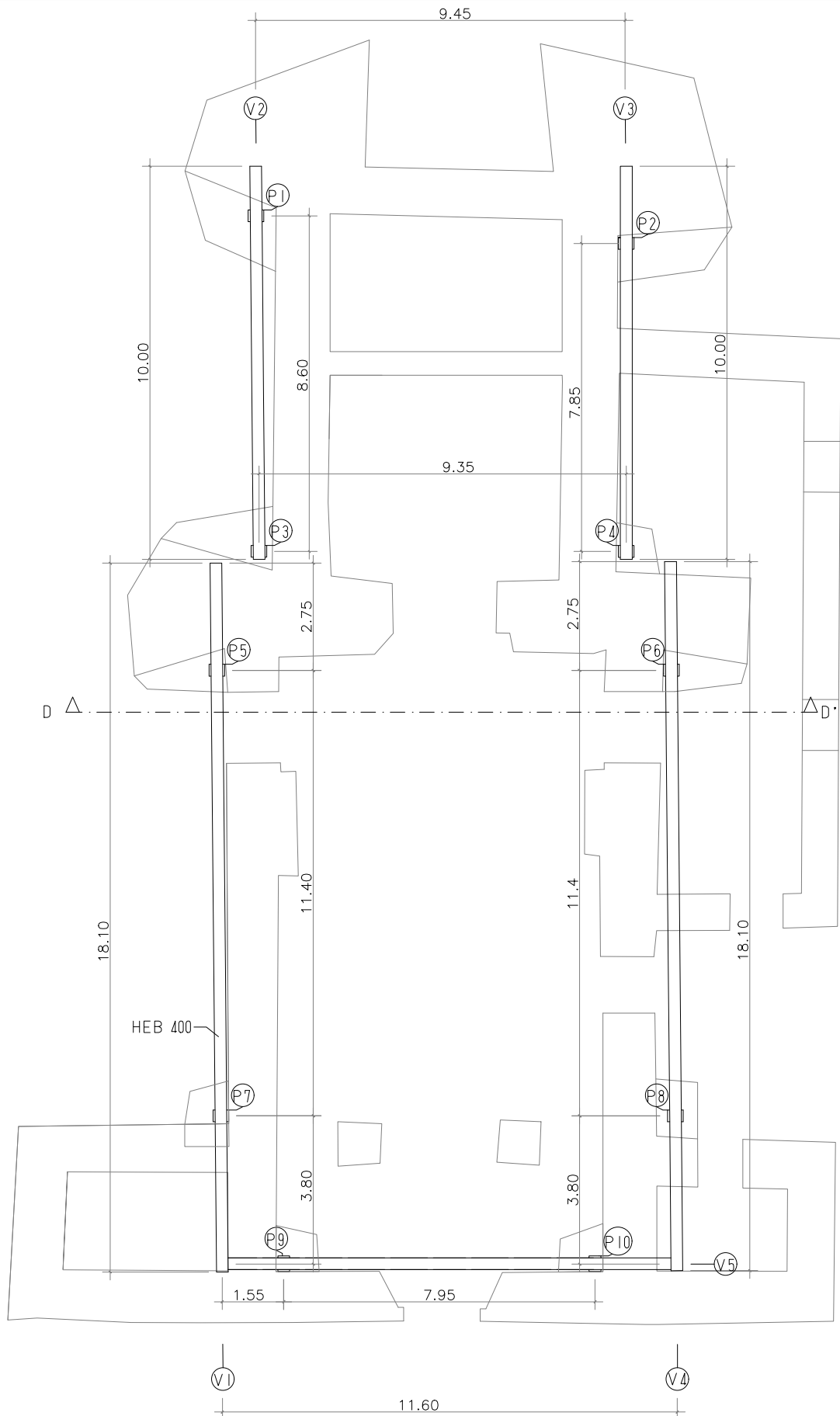
Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 2 - Planta da estrutura de suporte da cobertura



Discente: Luís Santos nº 67452
 Data: 03/05/2016



NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

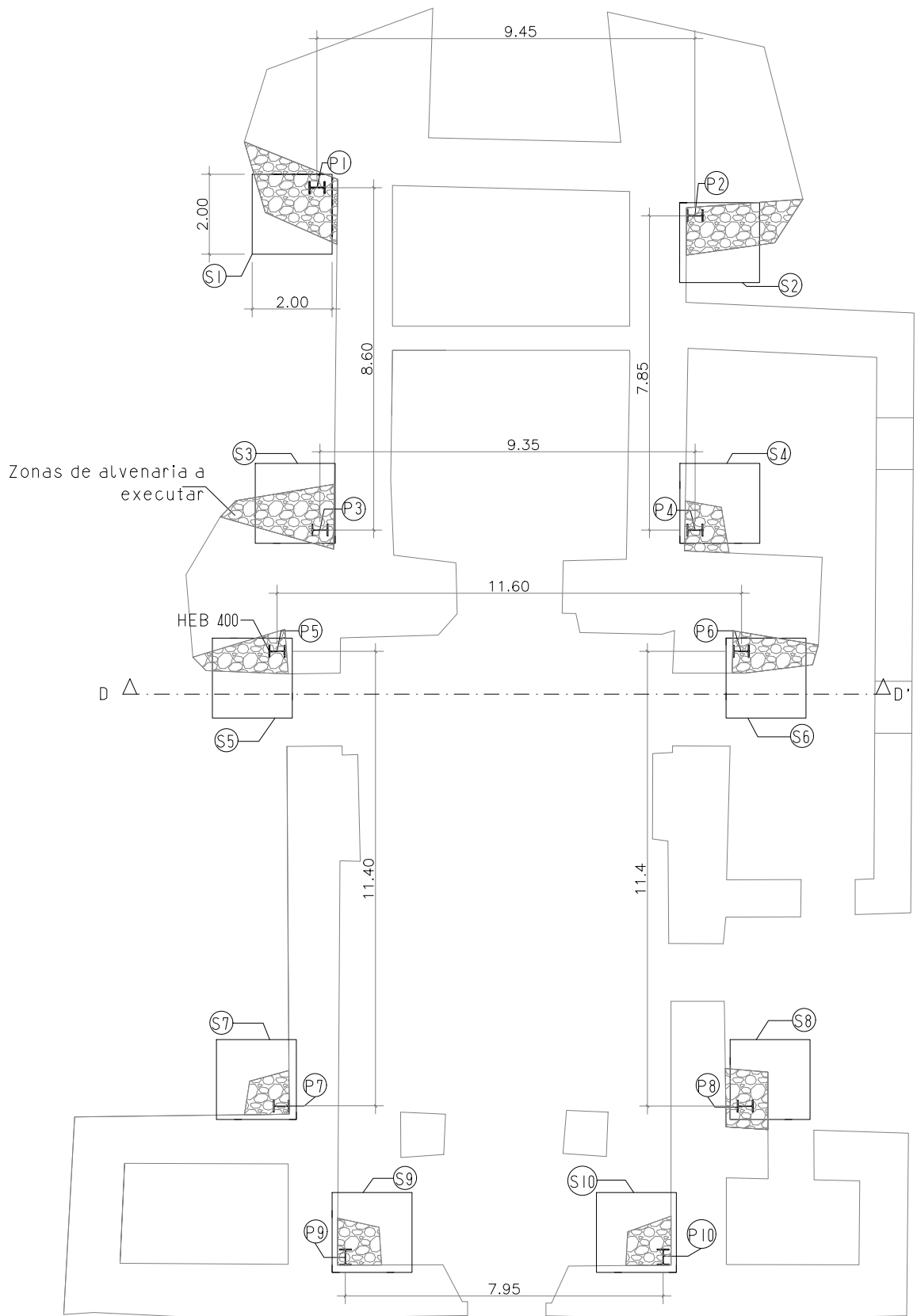
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 3 - Planta da estrutura de suporte da cobertura (vigas)



Discente: Luís Santos nº 67452
 Data: 03/05/2016

ESCALA : 1/150 Medidas em [m]



NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

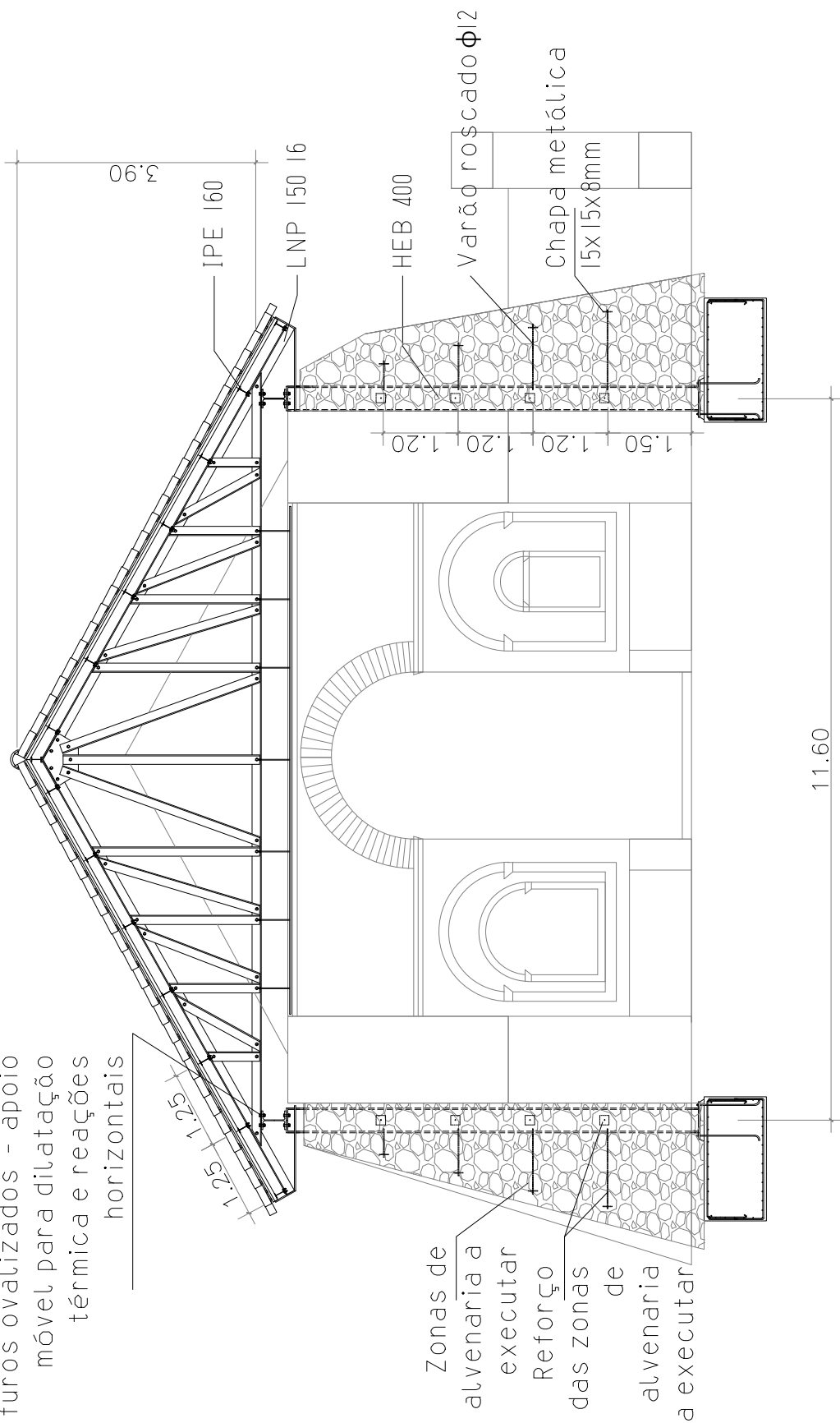
DESENHO Nº 4 - Planta da estrutura de suporte da cobertura (pilares e sapatas)



Discente: Luís Santos
 Data: 03/05/2016
 nº 67452

ESCALA : 1/150 Medidas em [m]

Ligações aparafusadas com furos ovalizados - apoio móvel para dilatação térmica e reações horizontais



NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

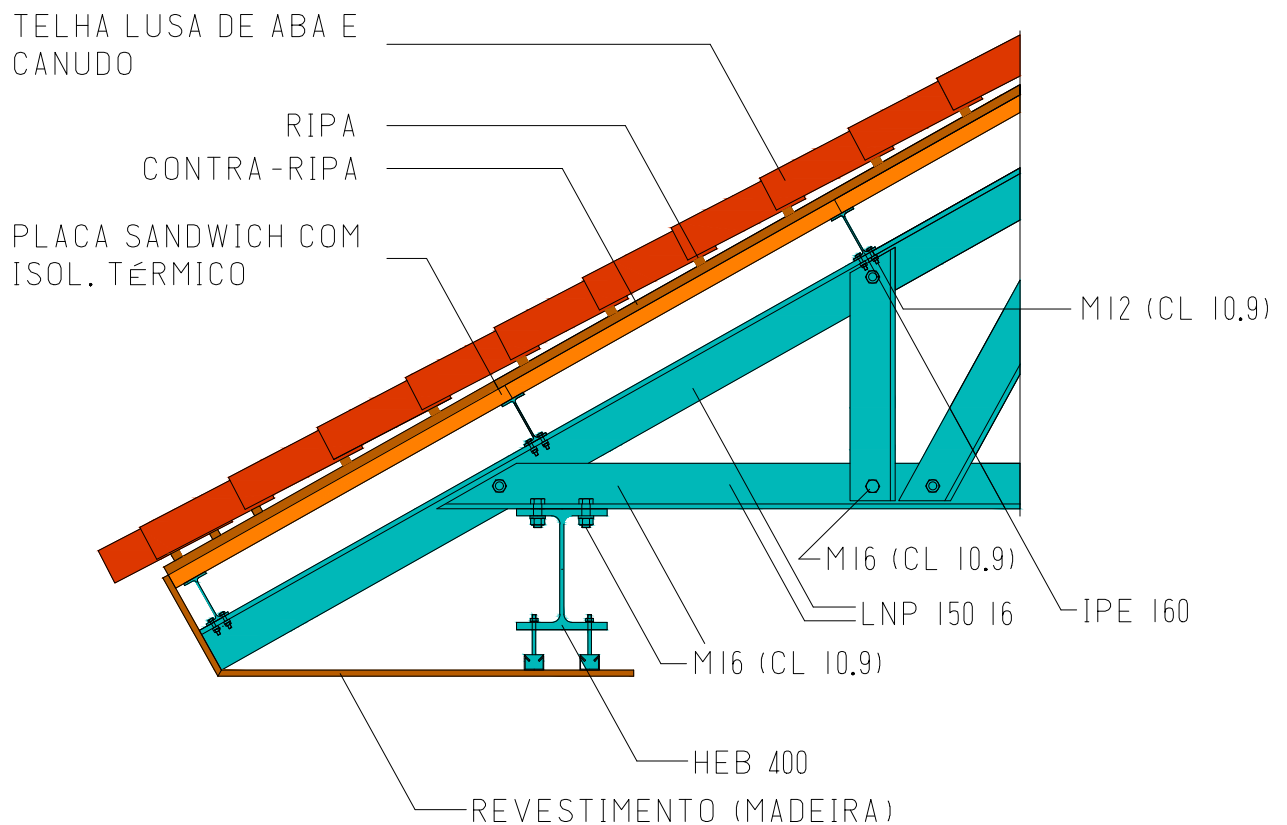
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 5 - Corte D - D'



Discente: Luís Santos nº 67452
Data: 03/05/2016

ESCALA : 1/100 Medidas em [m]



MATERIAIS:

AÇO PARA PERFIS: S 235 JR

RIPA E CONTRA-RIPA: MADEIRA

PAINEL SANDWICH: OSB+XPS+AGLOM.HIDRÓFUGO

NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

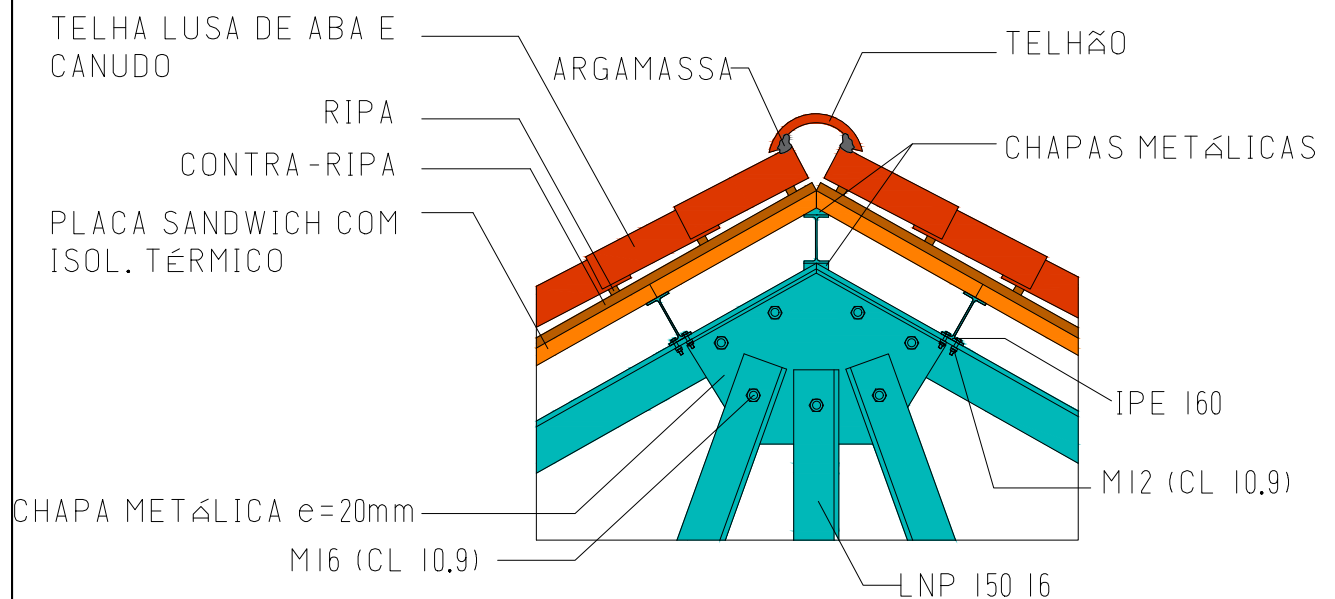
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 6 - Pormenor do beiral



Discente: Luís Santos nº 67452
Data: 03/05/2016

ESCALA : 1/25
 Medidas em [m]



NOTA: A Argamassa não deve ser aplicada de forma contínua, de forma a permitir espaços para a ventilação.

MATERIAIS:

AÇO PARA PERFIS: S 235 JR

RIPA E CONTRA-RIPA: MADEIRA

PAINEL SANDWICH: OSB+XPS+AGLOM.HIDRÓFUGO

NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

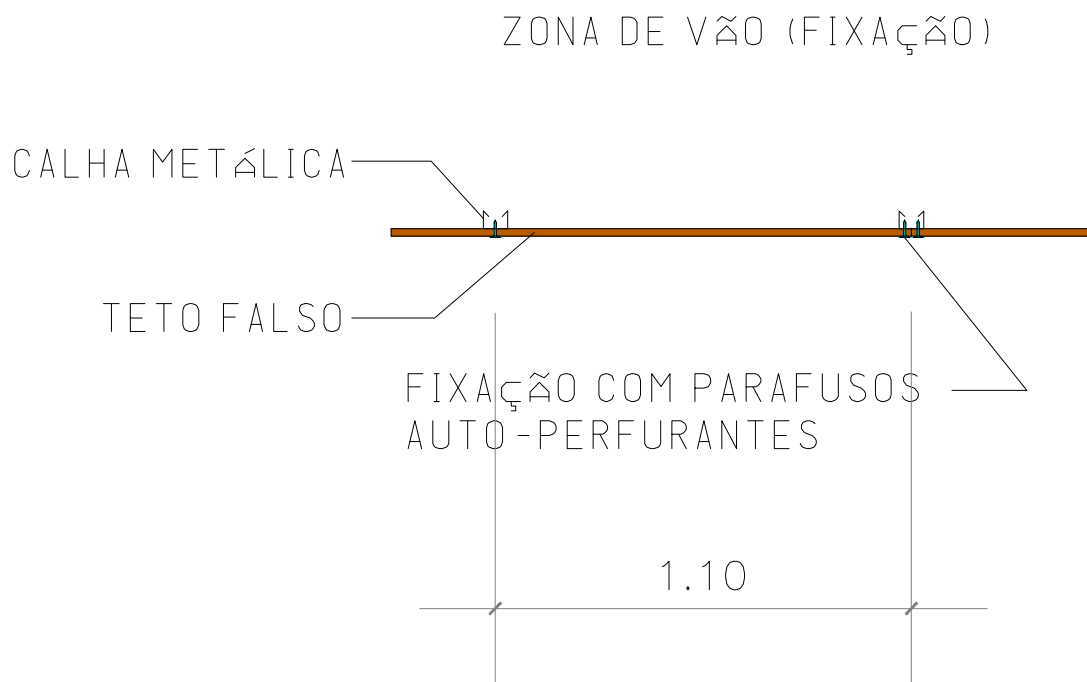
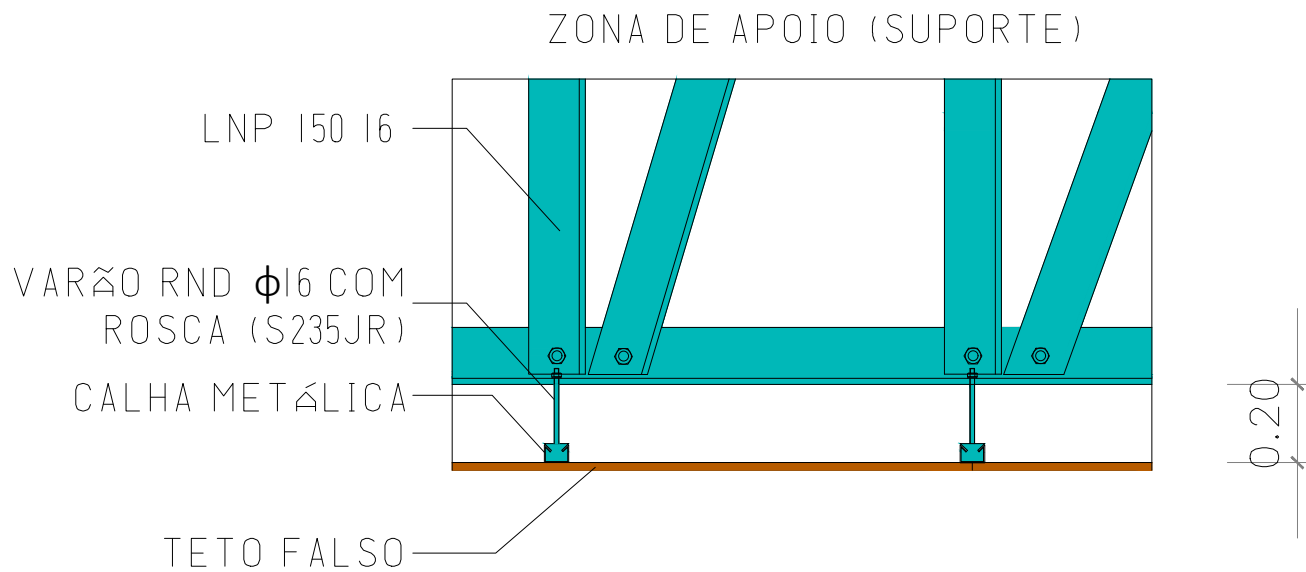
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 7 -Pormenor da cumeeira



Discente: Luís Santos nº 67452
Data: 03/05/2016

ESCALA : 1/25 Medidas em [m]



MATERIAIS:

AÇO PARA PERFIS: S 235 JR

TETO FALSO: MADEIRA

NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

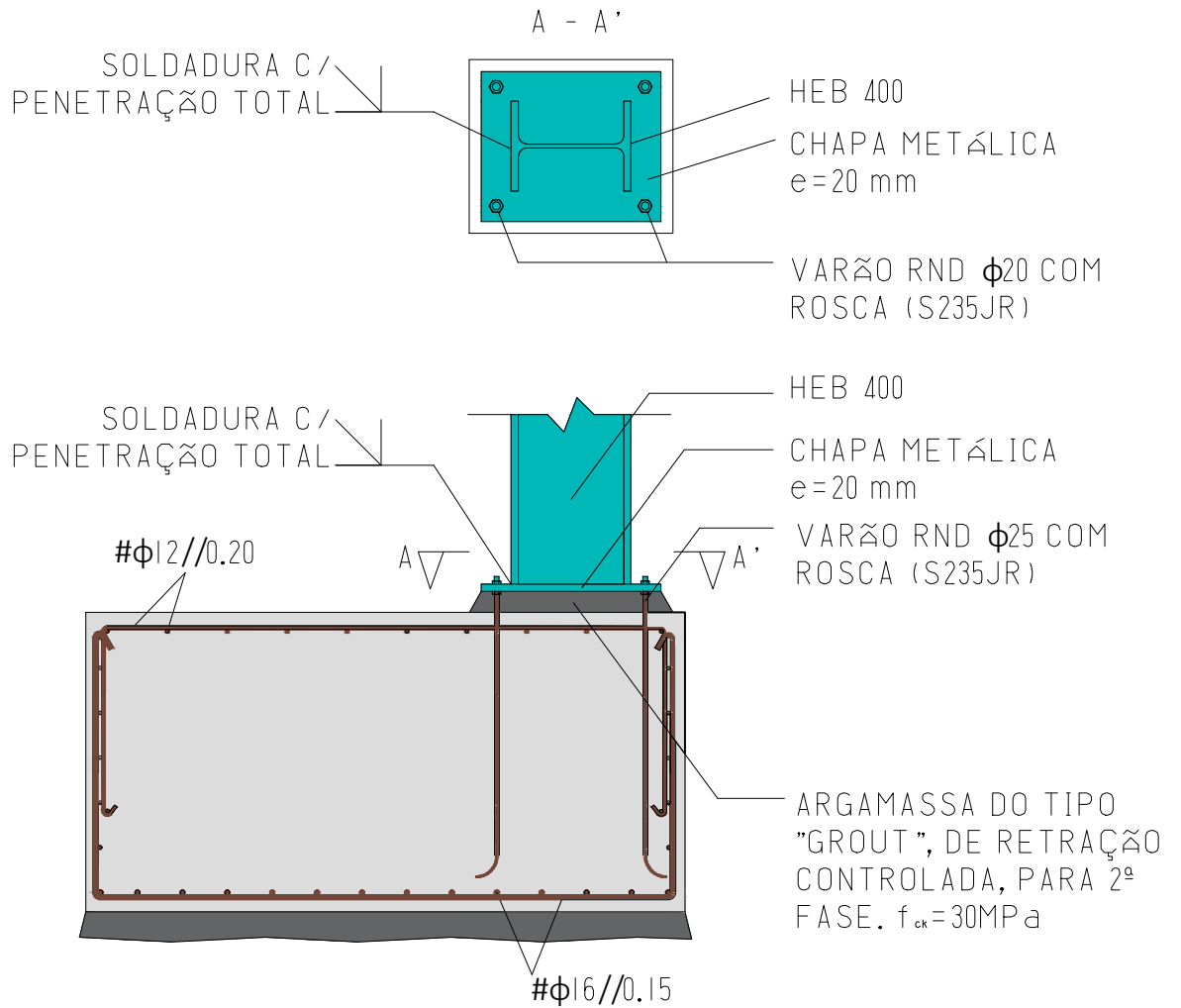
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 8 - Pormenor do teto falso



Discente: Luís Santos nº 67452
Data: 03/05/2016

ESCALA: 1/20 Medidas em [m]



MATERIAIS:

AÇO PARA PERFIS: S 235 JR
 AÇO PARA ARMADURAS: A 500 NR
 BETÃO: C 25/30-XC4-CL0,20-Dmax16-S3
 RECOBRIMENTO: 50 mm
 BETÃO LIMPEZA: 30mm

NOTAS:

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

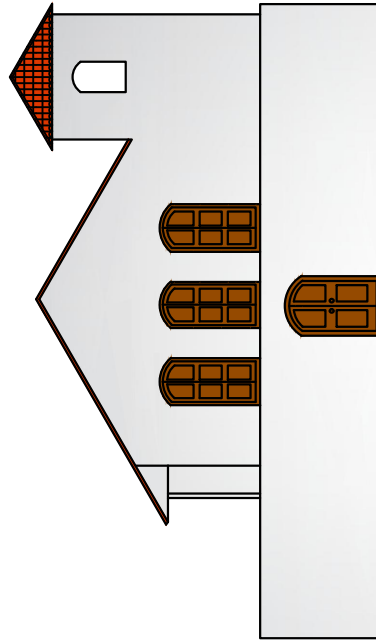
Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 9 - Pormenor de sapata-tipo

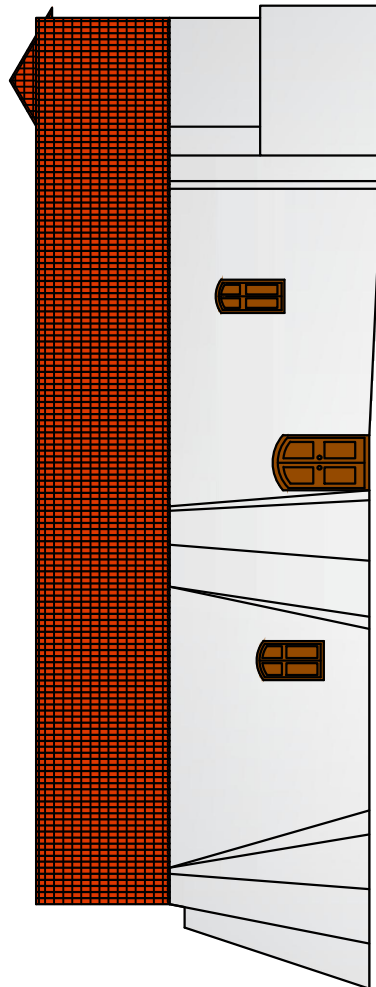


Discente: Luís Santos nº 67452	Data: 03/05/2016
---	----------------------------

ESCALA: 1/25 Medidas em [m]



ALÇADO PRINCIPAL (NORTE)



ALÇADO LATERAL ESQUERDO (NASCENTE)

NOTAS: Cobertura em telha lusa de aba e canudo;
Paredes reforçadas com reboco armado com argamassa de cal hidráulica natura (NHL) e acabamento com cor branca;

Instituto Superior Técnico - Mestrado em Engenharia Civil

Projeto de Reabilitação - Fortaleza de Cambambe

DESENHO Nº 10 - Alçado principal e lateral esquerdo



Discente: Luís Santos
Data: 03/05/2016
nº 67452

ESCALA : 1/250 Medidas em [m]