



Instituto Superior de  
Engenharia de Coimbra

Departamento  
de Engenharia Civil

---

## **Estudo comparativo de soluções em alvenaria estrutural e betão armado**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
especialidade de Construção Urbana.

**Autor:**

**Paulo Jorge Rodrigues Saraiva**  
[paulosarayva@gmail.com](mailto:paulosarayva@gmail.com)

**Orientador:**

**João Paulo Martins Gouveia**  
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra  
[jopamago@isec.pt](mailto:jopamago@isec.pt)

**Coimbra, dezembro, 2013**



## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa Elisabete, pela paciência demonstrada, sabendo suportar minha ausência, concedendo-me a grandeza do seu amor e seu inestimável apoio nas horas mais difíceis.

Aos meus filhos Tatiana e Rafael, dádivas divinas que se encontram ao nosso lado e a quem esperamos passar o nosso exemplo de perseverança e dedicação ao trabalho.

Aos meus pais, irmão e irmã, restante família e amigos, por toda a força que me deram ao longo de todo o trabalho.

Um agradecimento muito especial ao Professor João Paulo Martins Gouveia, orientador científico da presente dissertação que, com a sua reconhecida experiência e conhecimentos, acompanhou, analisou e corrigiu o desenvolvimento deste trabalho final de mestrado, sempre com uma nota muito relevante de simpatia e pragmatismo clarividente.

Agradeço à Professora Margarida da Costa Saraiva, pela leitura atenta deste trabalho.

Ao amigo Dr. Paulo Marques pelo apoio facultado nos momentos mais difíceis.

A todas as pessoas que, direta e indiretamente, me ajudaram de uma forma ou outra, na realização deste trabalho, em particular aos colegas de curso Pedro Bernardino e Carlos Moreira pelo apoio e constante troca de conhecimentos.

Às empresas Costa e Almeida, Lda, Construções Marvoense, Lda, que, se prontificaram a me receber, colaborar e disponibilizar informações úteis.

Ao Projeto 5456 Alvest - Desenvolvimento de soluções de Paredes em Alvenaria Estrutural, pela oportunidade que possibilitou um enriquecimento de conhecimentos em alvenaria estrutural, bem como pela oportunidade dada para realização do projeto de conceção modular da moradia caso de estudo realizado no decorrer desta dissertação.



## RESUMO

No setor da construção, a principal prioridade é a redução de custos relacionados com os processos construtivos e a sua execução. Devido à crise económica global e ao crescimento da competitividade do setor da construção, é necessário analisar outras opções que confirmam boas práticas de construção, cumprindo os requisitos definidos na regulamentação atual.

Este estudo aborda a temática de algumas das soluções construtivas normalmente utilizadas, focando aspetos de normalização, custos, vantagens e desvantagens. É também apresentada uma avaliação comparativa entre dois sistemas construtivos, alvenaria estrutural *vs.* betão armado, de uma moradia construída ao abrigo de um projeto de investigação. Nessa avaliação é feita a apresentação do processo de conceção modular e conceção estrutural para ambas as soluções em fase de projeto. Este estudo também apresenta uma comparação de custos entre dois sistemas construtivos, nomeadamente a construção em alvenaria estrutura *vs.* construção em betão armado.

Com o estudo realizado constatou-se que no projeto é notória a complexidade da alvenaria estrutural em detrimento do betão armado. A alvenaria estrutural também apresenta limitações a eventuais alterações executadas durante a vida útil do edifício. Relativamente à comparação de custos efetuada, os resultados mostram que a construção em alvenaria estrutural é um processo tecnológico apropriado e a redução de custos é significativa.

### Palavras-Chave:

alvenaria estrutural, betão armado, conceção estrutural e custos.



**ABSTRACT**

One of the top priorities in the building sector is the reduction of costs related to the constructive processes and its execution in construction. Due to the global economic crisis and the growth of competition on the building sector, it is necessary to evaluate other options which provide the good construction practices and the fulfilment of requirements defined in the actual design regulations.

This study addresses the subject of some constructive solutions normally used, focusing on aspects of standardization, costs, advantages and disadvantages. It's also presented a comparative evaluation between two construction systems, structural masonry vs. reinforced concrete, of a dwelling built under a research project. In this evaluation, presentation of the modular design and structural design process for both solutions is taken in the design phase. This study presents the case study of building to comparison of costs related to the resistant structure of building in structural masonry and reinforced concrete.

With this study it was found that in the project is visible the complexity of structural masonry instead of reinforced concrete. The structural masonry is also limited to any changes made during the lifetime of the building. Concerning the costs comparison, the results show that masonry is an appropriate technologic process and the reduction of costs is significant.

**Keywords:**

structural masonry, reinforced concrete, structural design and costs.



**ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Introdução . . . . .	1
1.2	Objetivos e enquadramento do trabalho . . . . .	1
1.3	Estrutura de apresentação da dissertação . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Soluções construtivas, processos e princípios de execução</b>	<b>3</b>
2.1	Introdução . . . . .	3
2.2	Soluções construtivas e estruturais para edifícios de pequeno e médio porte . . . . .	3
2.2.1	Betão armado . . . . .	4
2.2.2	Alvenaria estrutural . . . . .	7
2.2.3	Outras soluções . . . . .	10
2.3	Processos de execução de estruturas de AE . . . . .	17
2.3.1	Processo construtivo em AE . . . . .	17
2.3.2	Equipamentos . . . . .	19
2.3.3	Ferramentas de utilização manual . . . . .	20
2.4	Princípios comuns de qualidade, higiene e segurança na construção . . . . .	22
2.4.1	Recomendações de segurança no manuseamento de materiais . . . . .	22
2.4.2	Acondicionamento e transporte de Materiais . . . . .	24
2.4.3	Equipamentos de proteção individual . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Caso de estudo em AE: conceção, materiais e construção</b>	<b>29</b>
3.1	Introdução . . . . .	29
3.2	Conceção . . . . .	29
3.3	Projetos prévios: soluções construtivas em betão armado e alvenaria estrutural . . . . .	32
3.4	Projeto para a solução em betão armado . . . . .	32
3.4.1	Conceção estrutural da solução em BA . . . . .	33
3.5	Projeto para a solução em alvenaria estrutural . . . . .	37
3.5.1	Conceitos de modulação estrutural e arquitetural . . . . .	37
3.5.2	Modulação estrutural . . . . .	40
3.5.3	Conceção estrutural da solução em AE . . . . .	44
3.6	Fase de construção e definição dos materiais de construção . . . . .	48

3.6.1	Betão . . . . .	48
3.6.2	Armaduras . . . . .	49
3.6.3	Argamassa . . . . .	54
3.6.4	Sistema de alvenaria com unidades de betão . . . . .	56
3.6.5	Unidades de laje aligeirada . . . . .	57
3.6.6	Caixas de estore . . . . .	60
3.7	Sugestões Pessoais em conceção modular do caso de estudo . . . . .	61
<b>4</b>	<b>Análise comparativa de soluções construtivas em BA e AE</b>	<b>65</b>
4.1	Introdução . . . . .	65
4.2	Medições . . . . .	65
4.3	Comparação das tecnologias de construção vs. benefícios económicos . . . . .	66
4.4	Análise comparativa . . . . .	67
4.5	Conclusão . . . . .	69
<b>5</b>	<b>Conclusões finais e desenvolvimentos futuros</b>	<b>71</b>
5.1	Conclusões finais . . . . .	71
5.2	Desenvolvimentos futuros . . . . .	71
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>73</b>
<b>A</b>	<b>Soluções construtivas</b>	<b>A1</b>
A.1	Projeto de estabilidade em BA . . . . .	A1
A.2	Projeto e pormenores do sistema LSF . . . . .	A6
A.3	Exemplo de projeto de moradia em madeira . . . . .	A12
A.4	Pormenores construtivos do sistema SISMO <sup>®</sup> . . . . .	A13
<b>B</b>	<b>Projeto de modulação em alvenaria estrutural</b>	<b>B1</b>
<b>C</b>	<b>Análise comparativa</b>	<b>C1</b>
C.1	Medições . . . . .	C1
C.1.1	Solução em BA . . . . .	C1
C.1.2	Solução em AE . . . . .	C6
C.2	Mapas de quantidades . . . . .	C9

C.2.1	Articulado da solução em BA	.....	C9
C.2.2	Articulado da solução em AE	.....	C11



## ÍNDICE DE FIGURAS

### 2 Soluções construtivas, processos e princípios de execução

Figura 2.1	Modelos de Estruturas 3D (Fonte, Yting, 2013) . . . . .	3
Figura 2.2	Estruturas porticadas em BA . . . . .	5
Figura 2.3	Exemplo de edifício em alvenaria cerâmica estrutural construída na Alemanha (Lourenço, 2007) . . . . .	7
Figura 2.4	Exemplo de moradia em Ílhavo construída em alvenaria confinada (Lourenço, 2007) . . . . .	8
Figura 2.5	Exemplo de edifício em alvenaria confinada (Isolbloco) construído no Algarve (Gouveia <i>et al.</i> , 2006) . . . . .	8
Figura 2.6	Exemplo de estrutura em LSF, construída em Loulé (Fonte, Futureng, 2013) . . . . .	10
Figura 2.7	Perfis utilizados em LSF (Fonte, Futureng, 2013) . . . . .	11
Figura 2.8	Exemplo de projeto de arquitetura de moradia de dois pisos em LSF (Fonte, Futureng, 2013) . . . . .	12
Figura 2.9	Revestimentos utilizados em LSF (Fonte, Futureng, 2013) . . . . .	12
Figura 2.10	Estrutura em Madeira (Fonte, Villas, 2009) . . . . .	14
Figura 2.11	Pormenor em corte do painel SISMO <sup>®</sup> (Fonte, Technology, 2013) . . . . .	15
Figura 2.12	Etapas de construção do sistema SISMO <sup>®</sup> de uma moradia construída em Portugal (Fonte, Technology, 2013) . . . . .	16
Figura 2.13	Equipamentos . . . . .	20
Figura 2.14	Ferramentas de utilização manual . . . . .	22
Figura 2.15	Palete de argamassa . . . . .	24
Figura 2.16	Acondicionamento em paletes . . . . .	25
Figura 2.17	Empilhamento de vigas pré-fabricadas . . . . .	25
Figura 2.18	Equipamentos de proteção individual (Fonte, Protek, 2013) . . . . .	27
Figura 2.19	Continuação dos equipamentos de proteção individual (Fonte, Protek, 2013) . . . . .	28

### 3 Caso de estudo em AE: conceção, materiais e construção

Figura 3.1	Localização . . . . .	29
Figura 3.2	Alçados e cortes do projeto de arquitetura inicial . . . . .	30
Figura 3.3	Plantas do projeto de arquitetura inicial . . . . .	31
Figura 3.4	Corte C - D, com representação de duas soluções construtivas . . . . .	32

Figura 3.5	Alçados do projeto de arquitetura da moradia em BA (versão final) . . . . .	33
Figura 3.6	Cortes do projeto de arquitetura da moradia em BA (versão final) . . . . .	33
Figura 3.7	Plantas do projeto de arquitetura da moradia em BA (versão final) . . . . .	34
Figura 3.8	Projeto de estabilidade de BA . . . . .	34
Figura 3.9	Continuação do projeto de estabilidade de BA . . . . .	35
Figura 3.10	Pormenores de sapata e muros em BA . . . . .	35
Figura 3.11	Pormenores de lajes de escada e varanda em BA . . . . .	36
Figura 3.12	Pormenor do pórtico 3 de viga em BA . . . . .	36
Figura 3.13	Pormenores de isolamento térmico pelo exterior . . . . .	36
Figura 3.14	Alçado principal da solução em AE . . . . .	37
Figura 3.15	Regras de desenvolvimento em planta para a conceção estrutural de edifícios. (Adaptado, Vasconcelos <i>et al.</i> , 2007) . . . . .	38
Figura 3.16	Regras para os planos horizontal e vertical. (Adaptado, Vasconcelos <i>et al.</i> , 2007) . . . . .	39
Figura 3.17	Regras de desenvolvimento em altura para a conceção estrutural de edifícios. (Adaptado, Vasconcelos <i>et al.</i> , 2007) . . . . .	39
Figura 3.18	Regras de análise do comprimento mínimo de uma parede de contraventamento com aberturas. (Adaptado, EN 1996-1-1+A1, 2013) . . . . .	40
Figura 3.19	Malha quadriculada ( $0.20 \times 0.20 m$ ) . . . . .	41
Figura 3.20	Esquema de fiadas . . . . .	41
Figura 3.21	Índice de folhas . . . . .	42
Figura 3.22	Perfil identificativo de fiada . . . . .	42
Figura 3.23	Pormenores de entrega das lajes . . . . .	42
Figura 3.24	Eixos X e Y . . . . .	43
Figura 3.25	Representação da parede em alçado com posicionamento da armadura (esq.), perfil (dir.) . . . . .	43
Figura 3.26	Pormenor estruturais da solução em AE . . . . .	44
Figura 3.27	Pormenor de laje de escada da solução em AE . . . . .	44
Figura 3.28	Pormenores de vigas de lintel VL da solução em AE . . . . .	44
Figura 3.29	Pormenores de vigas cinta VC da solução em AE . . . . .	45
Figura 3.30	Processo de execução de Fundações contínuas da solução em AE . . . . .	45
Figura 3.31	Processo de assentamento de alvenaria da solução em AE . . . . .	46
Figura 3.32	Processo de execução da laje de escada da solução em AE . . . . .	46

Figura 3.33	Processo de execução das lajes aligeiradas da solução em AE . . . . .	47
Figura 3.34	Betão pronto . . . . .	48
Figura 3.35	Betonagem . . . . .	49
Figura 3.36	Aço (Chagas, 2011) . . . . .	50
Figura 3.37	Amarração das armaduras . . . . .	51
Figura 3.38	Reforço das armaduras . . . . .	51
Figura 3.39	Armadura Murfor®RNDZ 5/175 . . . . .	51
Figura 3.40	Armadura . . . . .	52
Figura 3.41	Processos de aplicação da armadura de junta (Adaptado, Murfor, 2013) . . . . .	53
Figura 3.42	Armadura de distribuição “malha-sol” CQ36 . . . . .	54
Figura 3.43	Argamassa M10 Secil® (Fonte, Argamassas, 2013) e equipamento de mistura (Fonte, João, 2013) . . . . .	55
Figura 3.44	Elementos do sistema bloco BEST® . . . . .	56
Figura 3.45	Assentamento de alvenaria com o sistema BEST® . . . . .	57
Figura 3.46	Vigotas de laje aligeirada . . . . .	58
Figura 3.47	Pormenor do tipo de laje . . . . .	58
Figura 3.48	Blocos de cofragem . . . . .	59
Figura 3.49	Representação do tarugo . . . . .	59
Figura 3.50	Pormenores da caixa de estores . . . . .	60
Figura 3.51	Caixa de estore tipo Sotecnisol . . . . .	61
Figura 3.52	Pormenor em alçado de travamento de parede contraventada . . . . .	62
Figura 3.53	Pormenor em planta da 1ª fiada . . . . .	62
Figura 3.54	Pormenor em planta da 2ª fiada . . . . .	62
Figura 3.55	Fotografia representativa do travamento da parede contraventada (caso de estudo) . . . . .	63
<b>4</b>	<b>Análise comparativa de soluções construtivas em BA e AE</b>	
Figura 4.1	Moradias submetidas à análise comparativa das soluções construtivas em BA e AE . . . . .	65
Figura 4.2	Gráfico comparativo de custos entre artigos das duas estruturas ( moradias A e B) . . . . .	67
Figura 4.3	Gráfico comparativo de percentagens de custos das estruturas de BA e AE . . . . .	68
<b>A</b>	<b>Soluções construtivas</b>	
Figura A.1	Pormenor de um pórtico da solução em BA . . . . .	A1

Figura A.2	Planta de fundações da solução em BA . . . . .	A2
Figura A.3	Planta de arquitetura/estrutural do Rés-do-chão da solução em BA . . . . .	A3
Figura A.4	Planta de arquitetura/estrutural do piso 1 da solução em BA . . . . .	A4
Figura A.5	Planta de arquitetura/estrutural de cobertura e pormenores da solução em BA . . . . .	A5
Figura A.6	Pormenor de travamento da asna da solução em LSF . . . . .	A6
Figura A.7	Pormenor de asna da solução em LSF . . . . .	A6
Figura A.8	Planta estrutural de fundações com pormenores da solução em LSF . . . . .	A7
Figura A.9	Planta estrutural do rés do chão da solução em LSF . . . . .	A8
Figura A.10	Planta estrutural do piso 1 da solução em LSF . . . . .	A9
Figura A.11	Planta estrutural da cobertura da solução em LSF . . . . .	A10
Figura A.12	Alçado de empena da solução em LSF . . . . .	A11
Figura A.13	Planta de arquitetura de moradia em madeira (obtida no site, Madeira, 2013) . . . . .	A12
Figura A.14	Perspetiva representativa da moradia em madeira (obtida no site, Madeira, 2013) . . . . .	A12
Figura A.15	Pormenores estruturais SISMO®(Fonte, Technology, 2013) . . . . .	A13
Figura A.16	Pormenores estruturais SISMO®(Fonte, Technology, 2013) . . . . .	A14
Figura A.17	Pormenores estruturais SISMO®(Fonte, Technology, 2013) . . . . .	A15

## **B Projeto de modulação em alvenaria estrutural**

Figura B.1	Planta de fundações com a incorporação da 1ª fiada da solução em AE . . . . .	B1
Figura B.2	Fiada de lintel da solução em AE . . . . .	B2
Figura B.3	Alçado de paredes dos eixos <i>X</i> e <i>Y</i> do desvão, da solução em AE . . . . .	B3
Figura B.4	Planta da laje do pavimento do R/C da solução em AE . . . . .	B4
Figura B.5	Planta das fiadas 1, 3 e 5 do R/C da solução em AE . . . . .	B5
Figura B.6	Planta da fiada n. 13 (fiada de lintel na torça dos vãos VL) da solução em AE . . . . .	B6
Figura B.7	Alçado de paredes do eixo <i>X</i> do rés-do-chão da solução em AE . . . . .	B7
Figura B.8	Planta da laje do teto do R/C da solução em AE . . . . .	B8
Figura B.9	Planta das fiadas 1, 3 e 5 do 1º piso da solução em AE . . . . .	B9
Figura B.10	Alçado de paredes do eixo <i>Y</i> do 1º piso e pormenor em corte, da solução em AE . . . . .	B10
Figura B.11	Planta da laje do teto do 1º piso da solução em AE . . . . .	B11
Figura B.12	Planta da laje da cobertura da solução em AE . . . . .	B12
Figura B.13	Alçados principal e posterior da solução em AE . . . . .	B13

Figura B.14	Alçados laterais da solução em AE . . . . .	B14
Figura B.15	Corte <i>A – B</i> da solução em AE . . . . .	B15
Figura B.16	Corte <i>C – D</i> da solução em AE . . . . .	B16
Figura B.17	Plantas de fundações e 1 <sup>a</sup> fiada do anexo da solução em AE . . . . .	B17
Figura B.18	Planta da laje da cobertura do anexo da solução em AE . . . . .	B18
<b>C Análise comparativa</b>		
Figura C.1	Medições de vigas de fundação, muro e pilares, da solução em BA . . . . .	C1
Figura C.2	Medições de sapatas e lajes de varanda e escada da solução em BA . . . . .	C2
Figura C.3	Folha 1 das medições das vigas da solução em BA . . . . .	C3
Figura C.4	Folha 2 das medições das vigas da solução em BA . . . . .	C4
Figura C.5	Folha 3 das medições das vigas e movimentação de terras, da solução em BA . . . . .	C5
Figura C.6	Medições da vigas lintel e movimentação de terras da solução em AE . . . . .	C6
Figura C.7	Medições da vigas cinta da solução em AE . . . . .	C7
Figura C.8	Medições das sapatas e lajes de varanda e escada da solução em AE . . . . .	C8
Figura C.9	Folha 1 do articulado da solução em BA . . . . .	C9
Figura C.10	Folha 2 do articulado da solução em BA . . . . .	C10
Figura C.11	Folha 1 do articulado da solução em AE . . . . .	C11
Figura C.12	Folha 2 do articulado da solução em AE . . . . .	C12



## ÍNDICE DE QUADROS

### 3 Caso de estudo em **AE**: conceção, materiais e construção

Quadro 3.1 Características da argamassa . . . . . 55

Quadro 3.2 Parâmetros físicos e mecânicos do bloco BEST® . . . . . 56

### 4 Análise comparativa de soluções construtivas em **BA** e **AE**

Quadro 4.1 Quadro resumo do articulado das soluções em BA e AE, com percentagem de economia da solução em AE . . . . . 68



**ABREVIATURAS**

<b>AE</b>	<i>Alvenaria Estrutural</i>
<b>Alvest</b>	<i>Desenvolvimento de Soluções de Paredes em Alvenaria Estrutural</i>
<b>BA</b>	<i>Betão Armado</i>
<b>ISEC</b>	<i>Instituto Superior de Engenharia de Coimbra</i>
<b>EC0</b>	<i>Eurocódigo 0</i>
<b>EC1</b>	<i>Eurocódigo 1</i>
<b>EC2</b>	<i>Eurocódigo 2</i>
<b>EC5</b>	<i>Eurocódigo 5</i>
<b>EC6</b>	<i>Eurocódigo 6</i>
<b>EC7</b>	<i>Eurocódigo 7</i>
<b>EC8</b>	<i>Eurocódigo 8</i>
<b>RGEU</b>	<i>Regulamento Geral das Edificações Urbanas</i>
<b>E</b>	<i>Módulo de elasticidade</i>
<b>ETICS</b>	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
<b>EPI</b>	<i>Equipamento de Proteção Individual</i>
<b>EPS</b>	<i>Poliestireno Expandido</i>
<b>RCD</b>	<i>Resíduos de Construção e Demolição</i>
<b>PVC</b>	<i>Policloreto de Vinilo</i>
<b>LSF</b>	<i>Light Steel Framing</i>
<b>OSB</b>	<i>Oriented Strand Board</i>



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Introdução

O tema proposto, *Estudo Comparativo de Soluções em Alvenaria Estrutural e Betão Armado*, é considerado de interesse atual no mercado da construção que ainda está muito focado na opção estrutural em betão armado. Perante o atual panorama interessa promover melhores soluções construtivas que confiram maiores economias na fase de construção e na fase de utilização. Estas devem refletir poupanças energéticas quer no aquecimento, quer no arrefecimento dos ambientes interiores, promovendo uma redução significativa na pegada ecológica, sendo cada vez mais urgente ter preocupações com as questões ambientais.

Em Portugal, existe a necessidade de realização de estudos de avaliação e investigação, nomeadamente estudos comparativos que refram os vários pontos de análise entre as seguintes soluções: alvenaria estrutural e estrutura porticada de betão armado. E que deem especial importância aos seguintes aspetos:

- A conceção arquitetónica (compatibilizando as funções estruturais, com as funções de distribuição e compartimentação);
- A conceção do projetos de execução (torna-se necessário a realização de pormenores suficientes que esclareçam possíveis dúvidas durante a execução estrutural, por forma a minimizar possíveis erros de construção);
- A regulamentação imposta à conceção estrutural;
- Ao mapa de materiais aplicados na conceção;
- A avaliação económica de comparação.

Este tema teve como motivação o facto de possibilitar o acompanhamento de um caso de estudo, com a execução da obra em tempo real, permitindo a obtenção de custos reais de mercado.

### 1.2 Objetivos e enquadramento do trabalho

O objetivo do trabalho é proporcionar uma oportunidade para demonstrar, tanto quanto possível, as diferenças de duas técnicas construtivas, quer relativamente ao processo de conceção e dimensionamento, quer quanto à sua execução em obra: estruturas em alvenaria resistente e estruturas resistentes porticadas em betão armado. Por outro lado pretende-se avaliar uma solução estrutural alternativa ao *Betão Armado (BA)* que seja viável e que reduza significativamente os custos, promovendo simultaneamente boas condições de funcionalidade habitacional e que assegure as exigências em termos de eficiência energética, térmica e acústica.

### 1.3 Estrutura de apresentação da dissertação

Esta dissertação apresenta-se dividida em cinco capítulos e três anexos. Neste primeiro capítulo apresentam-se os aspetos relativos à motivação da escolha do tema da dissertação, bem como os objetivos e estrutura deste trabalho.

O capítulo 2 aborda a temática de algumas das soluções construtivas utilizadas no mercado da construção de edifícios de pequeno e médio porte, focando aspetos de normalização, custos, vantagens e desvantagens. Para cada solução construtiva são apresentados detalhes do processo construtivo e os princípios comuns em obra, referindo os vários equipamentos e ferramentas utilizados na construção, assim como as boas práticas de trabalho e as recomendações de utilização de equipamentos de proteção individual.

O capítulo 3 apresenta uma avaliação comparativa entre duas técnicas construtivas, as estruturas resistentes em alvenaria e as estruturas resistentes porticadas em betão armado. Nesta avaliação é feita a apresentação do processo de conceção modular e conceção estrutural para ambas as soluções em fase de projeto. Tendo em conta o tema de base da tese, são referidos os principais requisitos previstos na regulamentação para a solução em *Alvenaria Estrutural (AE)*. Assim, referem-se exigências em termos de áreas brutas e compartimentação, espessuras e alturas de paredes, apresentando pormenores construtivos de maior relevância. Neste capítulo, é ainda apresentado o caso de estudo, materiais preconizados em projeto e as fases de construção e aplicação dos materiais.

O capítulo 4 descreve o processo de análise de custos inerentes às duas soluções construtivas avaliadas neste trabalho, fazendo o levantamento de medições com base nos seus projetos de estabilidade e execução, comparando-as entre os aspetos de caráter estrutural e económico.

Por fim, o capítulo 5 conclui a dissertação relatando as conclusões obtidas em todo o trabalho e apresenta propostas futuras de complementação dos resultados obtidos na análise comparativa.

Os anexos integram um conjunto de pormenores e esquemas construtivos, bem como tabelas com registo de cálculo que complementam e justificam o trabalho apresentado nos vários capítulos.

## Capítulo 2

### Soluções construtivas, processos e princípios de execução

#### 2.1 Introdução

Neste capítulo, enumeram-se alguns tipos de soluções estruturais utilizadas em edifícios de pequeno e médio porte, fazendo uma sucinta caracterização dos elementos constituintes de cada uma delas e referindo as principais vantagens e desvantagens, bem como a normalização preconizada a cada tipo de solução construtiva.

Referem-se os processos e princípios de execução destas soluções estruturais, tais como: recomendações de conceção, aplicação e construção.

Apresentam-se ainda os aspetos relacionados com o manuseamento de equipamentos e ferramentas utilizados na construção de edifícios, complementando com as condições de higiene e segurança no trabalho referindo a utilização de *Equipamento de Proteção Individual (EPI)*.

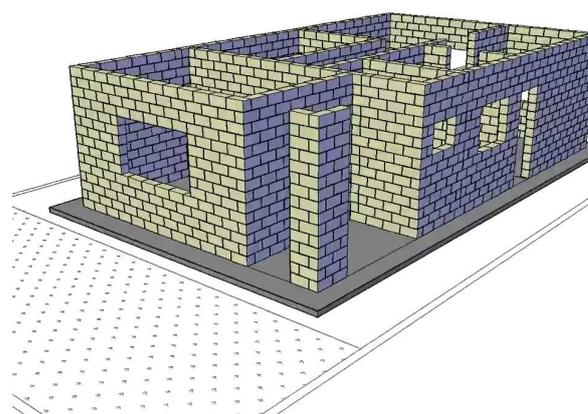
#### 2.2 Soluções construtivas e estruturais para edifícios de pequeno e médio porte

De forma geral, a conceção estrutural de edifícios de pequeno e médio porte é concebida para atender a determinadas finalidades, em que a habitação é predominante. A sua execução define-se com a utilização de vários materiais: betão armado (betão e aço), aço (em variadas formas e perfis), alvenarias (blocos e tijolos), madeiras (estrutural e decorativa), revestimentos (telhas e cerâmicas), outros materiais (específicos de aplicação em paredes de fachadas) e outros elementos.

Seja qual for o material escolhido para a construção, terão de ser considerados vários aspetos relacionados com as suas aplicações, devidamente apresentados e referidos nos projetos de arquitetura, estrutural e especialidades (redes de águas e esgotos, eletricidade e telecomunicações, térmica, acústica e gás).



(a) Estrutura em BA, imagem cedida pela autora do projeto  
*Eng.ª Silvia*



(b) Estrutura em AE

Figura 2.1: Modelos de Estruturas 3D (Fonte, [Yting, 2013](#))

### 2.2.1 Betão armado

As estruturas em betão armado são essencialmente constituídas por duas partes: parte resistente com função estrutural (figura 2.2 (a)), e a parte não resistente com função de preenchimento e compartimentação (figura 2.2 (b)).

Em seguida apresentam-se os elementos que compõem a parte estrutural:

- Sapata (figura 2.2 (c)) - Elemento estrutural tridimensional constituído por betão e armadura de aço, que tem a função de distribuir a carga do pilar ou muro de suporte pelo solo, sendo necessário garantir o disposto na secção 9.8.2 da norma (NP EN 1992-1-1+AC, 2012) e na norma (NP EN 1997-1-1, 2010), bem como as recomendações da secção 3 (Materiais) do *Eurocódigo 2 (EC2)*, para o seu dimensionamento;
- Pilar (figura 2.2 (d)) - Elemento estrutural linear, geralmente vertical, que garante o vão vertical (pé direito) e estabelece o apoio a vigas. Este elemento é predominantemente solicitado a esforços de compressão simples ou combinados com esforços de flexão, sendo necessário garantir o disposto na secção 9.5 da norma (NP EN 1992-1-1+AC, 2012), bem como as recomendações da secção 3 (Materiais) da mesma norma, para o seu dimensionamento;
- Viga (figura 2.2 (e)) - Elemento estrutural linear, geralmente de definição ou conceção horizontal, com exceção das vigas de cobertura inclinada, que permite a execução de vãos entre pilares, dando desta forma apoio às lajes. Estas são solicitadas predominantemente à flexão, sendo necessário garantir o disposto na secção 9.2 da norma (NP EN 1992-1-1+AC, 2012), bem como as recomendações da secção 3 (Materiais) da mesma norma, para o seu dimensionamento;
- Laje (figuras 2.2 (f) a (i)) - Elemento estrutural bidimensional, geralmente de definição horizontal, com exceção das lajes de cobertura inclinada. Esta constitui o pisos dos edifícios e são predominantemente solicitadas à flexão, sendo necessário garantir o disposto na secção 9.3 da norma (NP EN 1992-1-1+AC, 2012), bem como as recomendações da secção 3 (Materiais) da mesma norma, para o seu dimensionamento. Na figura 2.2, apresentam-se os vários tipos de lajes correntemente utilizadas na construção de edifícios de pequeno e médio porte.

Estes elementos quando interligados entre si, formam a uma estrutura reticulada do tipo apresentado na figura 2.2 (a), tendo a seguinte sequência de desempenho, as cargas das lajes são conduzidas para as vigas, bem como os esforços daí originados somando ainda os carregamentos específicos de pesos próprios e outros (ações provenientes das paredes de alvenaria e eventuais reações de vigas secundárias). As ações introduzidas às vigas são transferidas para os pilares de forma pontual, que as conduzem para as sapatas. Tendo as sapatas que assegurar a distribuição de esforços para o solo.

A parte não estrutural (preenchimento) é composta por paredes de alvenaria do tipo apresentado na figura 2.2 (b), podendo ser concebidas por panos simples ou duplos de acordo com os materiais definidos. Com a crescente exigência das características térmicas, as paredes duplas têm dado lugar a paredes de pano simples em bloco térmico/acústico. Sendo feita a colocação do isolamento térmico pelo exterior, que lhe garante uma eficiente eliminação das pontes térmicas.

As paredes interiores de compartimentação são normalmente definidas em pano simples de alvenaria de tijolo, sendo em alguns casos aplicadas paredes em gesso cartonado, que têm as seguintes vantagens: reduzido peso, rapidez de execução, fácil processo de acabamento, facilidade de passagem das tubagens (instalações) e facilidade de remoção (no caso de alterações de compartimentação).

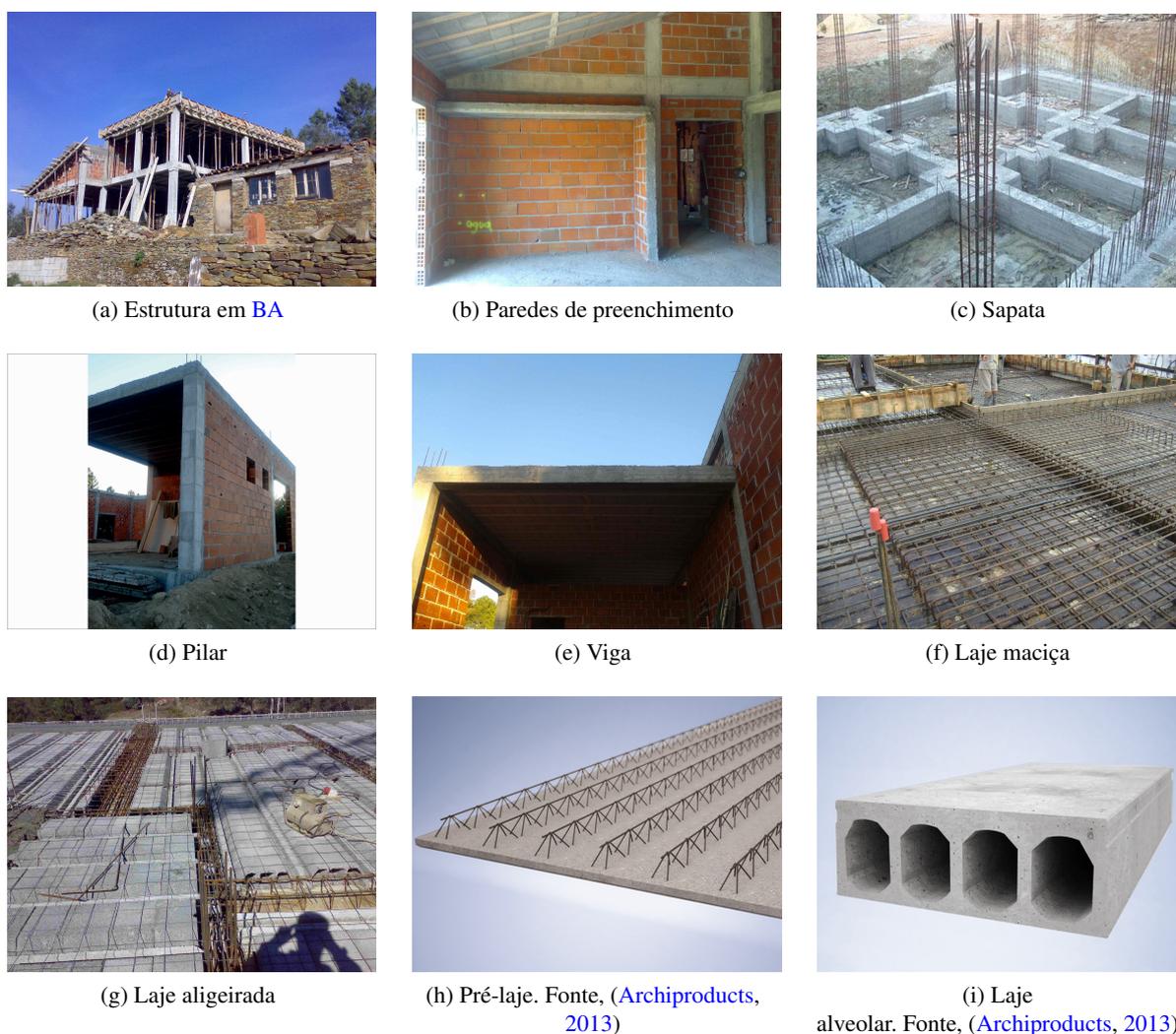


Figura 2.2: Estruturas porticadas em BA

A título de exemplo, apresenta-se uma moradia em estrutura porticada de BA (figura 2.1 (a)) construída em Vila Nova de Oliveirinha. Sendo apresentado no anexo A.1 parte do seu projeto de estabilidade e alguns pormenores construtivos que integram o projeto de execução.

### 2.2.1.1 Normalização preconizada ao sistema em BA

- Norma (NP EN 1990, 2009) - Definição de bases para o projeto de estruturas;
- Norma (NP EN 1991-1-1+AC, 2009) - Ações em estruturas - Determinação de ações, pesos próprios e sobrecargas em edifícios:
  - Parte 1 – 2 - Ações em estruturas expostas ao fogo;

- Parte 1 – 3 - Ações da neve;
  - Parte 1 – 4 - Ações do vento;
  - Parte 1 – 5 - Ações térmicas;
  - Parte 1 – 6 - Ações durante a execução;
  - Parte 1 – 7 - Ações acidentais.
- Norma ([NP EN 1992-1-1+AC, 2012](#)) - Projeto de dimensionamento de estruturas de betão:
    - Parte 1 – 2 - Verificação da resistência ao fogo.
  - Norma ([NP EN 1997-1-1, 2010](#)) - Projeto de geotécnico regras gerais;
  - Norma ([NP EN 1998-1+A1, 2013](#)) - Projeto de estruturas para resistência aos sismos;
  - Norma ([NP EN 13670, 2011](#)) - Recomendações para a execução de estruturas em betão;
  - Norma ([EN 10080, 2005](#)) - Definição dos aços para armaduras de betão armado;
  - Norma ([NP EN 206-1, 2010](#)) - Especificação, desempenho, produção e conformidade do betão.

#### 2.2.1.2 Vantagens e desvantagens da solução em BA

- Algumas vantagens do sistema estrutural em BA:
  - Solução robusta e mais resistente às condições climáticas extremas;
  - Manutenções mais prolongadas no tempo (dependente dos materiais utilizados);
  - Versatilidade na possibilidade de alteração da compartimentação no período de construção;
  - Solução de durabilidade considerável sem recurso a grandes necessidades de intervenção de reabilitação ou restauro;
  - Esta solução tem a vantagem de estar referenciada na mentalidade da população portuguesa como a melhor solução.
- Algumas desvantagens do sistema estrutural em BA:
  - Prazo de construção mais elevado e imprevisível (económico);
  - Dificuldade de passagem de tubagens das instalações, sendo necessário abrir roços nas paredes;
  - Requer o uso de equipamentos dispendiosos (grua) (figura 2.13 (e)), por períodos longos o que vai encarecer o custo de estaleiro;
  - Solução pouco ecológica;
  - Custo de mão-de-obra especializada para cofragens e armadores de aço;
  - Existência de pontes térmicas.

### 2.2.2 Alvenaria estrutural

A estrutura em AE (figura 2.1 (b)) é um tipo de estrutura que as paredes de delimitação do espaço edificado desempenham as funções de estabilidade e suporte do edifício, suportando o peso próprio da estrutura e todas as ações que lhe são solicitadas, passando-as diretamente para as fundações. Estas estruturas consideram-se de valor economicamente competitivo e sustentável. Uma vez que as próprias paredes estruturais podem ser previstas e concebidas como elementos com boas propriedades térmicas, acústicas e de resistência ao fogo.

O processo construtivo inicia-se pela execução das fundações, sendo estas definidas por sapatas contínuas. Em outros países nomeadamente na Suíça é frequente adotar a solução de ensoleiramento geral. Após a execução das fundações inicia-se a elevação das paredes com o assentamento dos blocos até ao nível da primeira laje, sendo repetido o ciclo para os pisos superiores.

As lajes poderão ser quais quer uma das referidas no ponto 2.2.1, sendo habitual a utilização das lajes aligeiradas ou maciças. No Brasil é usual verificar a aplicação de lajes alveolares em edifícios de pequeno e médio porte (figura 2.2 (i)). Este tipo de lajes têm as características de facilidade e rapidez na aplicação. Características essas que se traduzem no aumento da produtividade e na redução do prazo de conclusão do edifício. Estes aspetos são refletidos na redução do preço final.

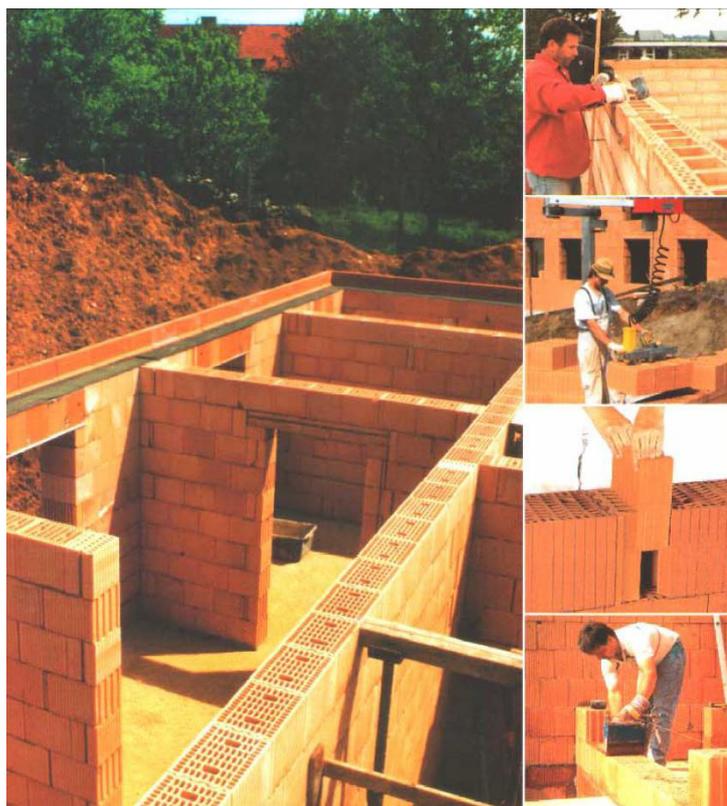


Figura 2.3: Exemplo de edifício em alvenaria cerâmica estrutural construída na Alemanha (Lourengo, 2007)

As unidades de alvenaria utilizadas na conceção estrutural e na elevação de paredes em fase de construção podem ser de vários tipos: cerâmicos, sílico-calciários, betão corrente ou com agregados leves (argila expandida) e pedra.

Existem diversos estudos de avaliação de materiais de caracterização mecânica e sua aplicação, como é o caso do sistema modular Isolbloco fabricados com betão leve (figura 2.5) (Gouveia *et al.*, 2006).

O sistema cBloco é um processo composto por unidades de origem Cerâmica (Lourenço *et al.*, 2008). Como exemplo de aplicação deste tipo de solução cerâmica, refere-se a construção de uma moradia em Ílhavo (figura 2.4) (Lourenço, 2007). A nível internacional, poderiam ser apresentados inúmeros casos de aplicação, bem como uma extensa lista de estudos de investigação realizados por um vasto número de investigadores. Como exemplo, apenas se documenta neste trabalho a figura 2.3 que apresenta uma fase de construção de uma moradia em alvenaria cerâmica na Alemanha (Lourenço, 2007).



Figura 2.4: Exemplo de moradia em Ílhavo construída em alvenaria confinada (Lourenço, 2007)



Figura 2.5: Exemplo de edifício em alvenaria confinada (Isolbloco) construído no Algarve (Gouveia *et al.*, 2006)

#### 2.2.2.1 Normalização preconizada à AE

- Normas referidas no ponto 2.2.1.1 - Para definição de regras de dimensionamento de estruturas de betão, tais como: sapatas (geralmente contínuas), lajes maciças e lajes de escadas, ou seja, todos os elementos estruturais de BA, necessários para a construção do sistema em AE;
- Norma (EN 1996-1-1+A1, 2013) - Projeto de dimensionamento e reforço de estruturas em AE:
  - Parte 1 – 2 - Verificação da resistência ao fogo;

- Parte 2 - Considerações de projeto, características de materiais e execução.
- Norma (NP EN 771-3, 2012) - Especificações para unidades de alvenaria de betão de agregados (correntes e leves);
- Norma (EN 845-3+A1, 2009) - Especificações de armaduras, componentes e acessórios de reforço para juntas horizontais em malha de aço;
- Norma (NP EN 998-2, 2013) - Especificações de argamassas para alvenaria.

A Norma (NP EN 1998-1+A1, 2013) preconiza um conjunto de princípios básicos a ter na conceção do projeto de estruturas, por forma a melhorar o seu comportamento relativamente a ações sísmicas, tais como: simplicidade estrutural, uniformidade, simetria, redundância, resistência, rigidez bidirecionais, torção, ação de diafragma (ao nível dos pisos), fundação adequada e regularidade estrutural (regularidade em planta e regularidade em altura).

O Eurocódigo 8 (EC8) e o Eurocódigo 6 (EC6), referem exigências relativas à conceção geométrica de paredes com os seguintes requisitos: espessura, esbelteza e largura de elementos resistentes (entre vãos aconselhados em construção de AE).

A norma (EN 1996-1-1+A1, 2013), preconiza premissas relativamente à modulação estrutural de edifícios de pequeno e médio porte em AE, que se traduzem em:

- Exigências de durabilidade pelo período de vida útil dos edifícios (quer do ponto de vista dos materiais e das estruturas);
- Garantia de propriedades mecânicas dos materiais e exigências para os componentes usados nas paredes estruturais;
- Os vãos dos pavimentos suportados pelas paredes resistentes não deve exceder os 7 m;
- A altura entre pisos “pé direito” não deve exceder os 3.2 m.

#### 2.2.2.2 Vantagens e desvantagens

- Algumas vantagens do sistema estrutural em AE:
  - Período de construção mais reduzido;
  - Redução substancial da utilização de aço;
  - Facilidade de organização do processo construtivo;
  - Redução de desperdícios;
  - Viabilidade de aplicação de unidades de alvenaria com boas características: térmicas, acústicas e resistência ao fogo, e que simultaneamente asseguram as características mecânicas exigidas para as paredes;
  - Menor diversidade de mão-de-obra e materiais;
  - Facilidade na passagem de tubagens das instalações pelos septos verticais do bloco;

- Diminui espessuras do reboco das paredes devido à regularidade de planeza obtida nas mesmas;
  - Aspeto final do edifício semelhante à construção tradicional.
- Algumas desvantagens do sistema estrutural em **AE**:
    - Carece de pessoal profissional capaz de fazer uma leitura adequada do projeto;
    - Solução muito estática no sentido de não se poder redefinir novos alinhamentos das paredes nos pisos superiores, tendo estas que ficar alinhadas pelas do piso inferior;
    - Não permite a construção de grandes vãos livres;
    - Apesar do sistema ser economicamente vantajoso, não é muito utilizado por falta de informação ou desconfiança do setor;
    - Impossibilidade de alterações de compartimentação no futuro, está comprometida devido ao posicionamento das paredes estruturais, que não podem ser demolidas.

### 2.2.3 Outras soluções

#### 2.2.3.1 Estrutura ligeira em aço enformado a frio em **LSF**

O sistema construtivo *Light Steel Framing* (**LSF**) tem sido muito utilizado em diversos países, principalmente nos Estados Unidos e na Inglaterra. Durante muito tempo os norte-americanos utilizaram a madeira como principal material de construção para os edifícios residenciais. Entretanto, houve a necessidade de procura de novos materiais que substituíssem a madeira e que conferissem uma maior resistência e durabilidade a intempéries e condições climáticas adversas e que, ao mesmo tempo, desse garantias de economia e sustentabilidade ao edificado durante o seu período de vida útil ([Futureng, 2013](#)).



(a) Em fase de construção



(b) Em fase de conclusão

Figura 2.6: Exemplo de estrutura em **LSF**, construída em Loulé (Fonte, [Futureng, 2013](#))

Em Portugal, este conceito de construção tem vindo a ser adotado, e a moradia apresentada na figura 2.6 é exemplo disso ([Futureng, 2013](#)).

O **LSF** é um sistema construtivo que utiliza perfis em aço galvanizado moldado a frio como principais elementos da estrutura. Estes elementos podem ser encontrados com diferentes secções *C*, *U* e *L*, perfis

montantes, normalmente com larguras de  $90\text{mm}$  e  $150\text{mm}$  e com comprimento variável de acordo com o pé direito definido.

As secções  $U$  apresentadas na figura 2.7 (a), designados de canais ou raiais, servem exclusivamente para ligação das extremidades dos perfis  $C$  apresentados na figura 2.7 (b), permitindo unir os montantes pela base e pelo topo formulando painéis rígidos para a definição de parede.

As vigas de secção  $C$  são executadas com perfis de larguras de  $200\text{mm}$  e  $250\text{mm}$ , com comprimentos adequados a vencer o vão a que se destinam. Os perfis de secção em  $L$ , servem exclusivamente como elemento de reforço pontual na união dos diversos perfis, variando as suas espessuras de acordo com os esforços a que estão sujeitos. A junção de todos os elementos é feita através de parafusos auto perfurantes e auto roscantes.

Estas estruturas têm varias possibilidades de implantação. Referem-se três possíveis soluções: cravamento de perfis no solo, ensoleiramento geral em betão armado e execução de sapatas contínuas com laje maciça. Sendo esta ultima solução apresentada na figura 2.8, na construção de uma moradia de dois pisos, na Moita.

No anexo A.2 apresentam-se parte do projeto de estabilidade e alguns pormenores construtivos para aplicação do sistema LSF.

O revestimento estrutural pode fazer-se recorrendo a vários tipos de materiais, tais como: contraplacado marítimo, placas cimentícias ou placas *Oriented Strand Board* (OSB). As placas OSB (figura 2.9 (a)), são as mais utilizadas pelos construtores por razões económicas, e pela versatilidade, pelas características térmicas e acústicas e pela facilidade e rapidez de aplicação. Após a conclusão da fixação das placas OSB procede-se ao seu revestimento com *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS). Seguidamente, a execução da cobertura é feita de forma semelhante à das habitações tradicionais, aplicando sobre as placas de revestimento a subtelha, o ripado metálico e a telha. Este processo exige-se de forma recomendada de modo a assegurar um adequado isolamento térmico e de infiltração de águas.

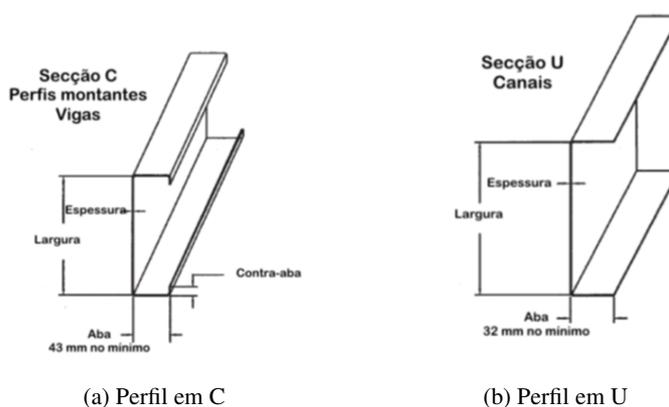


Figura 2.7: Perfis utilizados em LSF (Fonte, Futureng, 2013)

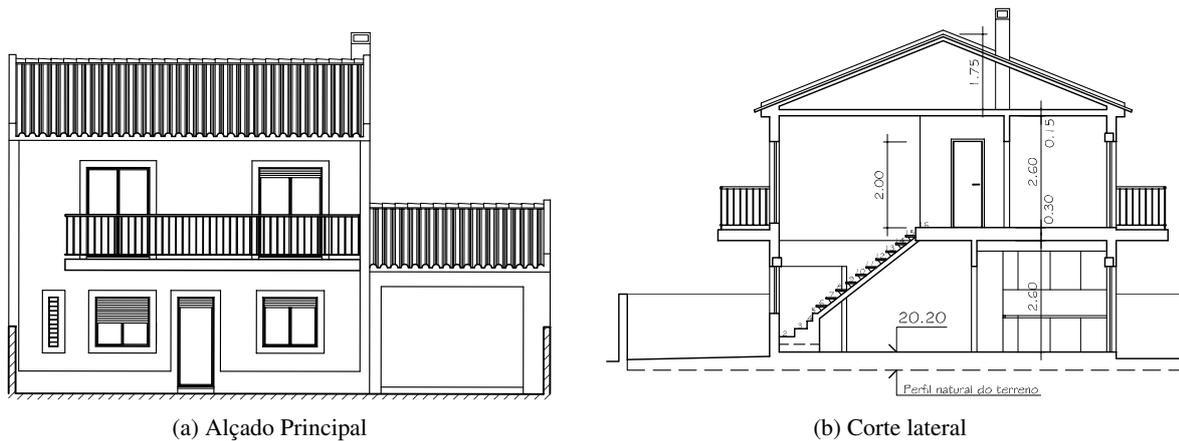


Figura 2.8: Exemplo de projeto de arquitetura de moradia de dois pisos em LSF (Fonte, Futureng, 2013)

Como revestimento interior, em geral, são utilizadas placas de gesso cartonado do tipo *BA 15* e *WA 15*, conforme o documentado na figura 2.9 (c). Na compartimentação em geral são utilizadas placas normais, enquanto que as placas hidrófugas são aplicadas em áreas de cozinha, lavanderia e casas de banho. As placas de gesso cartonado são aparafusadas a uma estrutura de aço galvanizado, previamente fixada à estrutura de LSF, sendo seguidas as recomendações de boa aplicação desta solução de revestimento ou compartimentação. O barramento das juntas é executado com argamassa de junta, com a colocação prévia de uma fita de junta destinada a evitar possíveis fissurações.



Figura 2.9: Revestimentos utilizados em LSF (Fonte, Futureng, 2013)

#### 2.2.3.1.1 Normalização preconizada ao sistema em LSF

- Normas referidas no ponto 2.2.1 - Para definição de regras para o dimensionamento de estruturas de betão, nomeadamente o ensoleiramento geral (base de arranque da construção do sistema LSF) se for o caso ;
- Norma (NP EN 1993-1-1, 2010) - Projeto de estruturas em aço, regras gerais para edifícios:
  - Parte 1 – 2 - Verificação da resistência ao fogo;
  - Parte 1 – 3 - Projeto de dimensionamento de estruturas em aço moldado a frio.
- Norma (CEN EN 10327, 2004) - Regulamentação de perfis de aço moldado a frio;

- Norma (NP EN 1995-1-1, 2004) - Para o dimensionamento do revestimento em placas OSB ou outro derivados da madeira;
- Norma (NP EN 300, 2012) - Para obter os valores limites para as propriedades mecânicas do OSB;
- Norma (NP EN 310, 2002) - Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão de placas de derivados de madeira.

#### 2.2.3.1.2 Vantagens e desvantagens

- Algumas vantagens do sistema construtivo em LSF:
  - Boa relação custo/benefício;
  - Boa relação resistência/peso próprio (resistente ao sismo em edifícios de pequeno e médio porte);
  - Prazo de construção reduzido e garantia de maior rigor na execução financeira dos custos previsto em projeto;
  - Materiais utilizados na construção provenientes de reciclagem (ecológico);
  - Materiais resultantes da demolição 100% recicláveis (ecológico);
  - Facilidade na passagem de tubagens das instalações e inexistência de roços;
  - Preços competitivos 750 euros por  $m^2$  de superfície construída em moradias com acabamentos de média qualidade;
  - Aspeto final do edifício semelhante à construção tradicional;
  - Permite desmontagem e transporte para outro local, de parte da estrutura, não sendo possível reutilizar todos os componentes;
  - Sistema adequado para ser construído em zonas sísmicas.
- Algumas desvantagens do sistema construtivo em LSF:
  - Baixo valor imobiliário (ainda não tem uma implantação assegurada, comprovada técnica e culturalmente em Portugal);
  - Dificil aceitação na cultura da construção.

#### 2.2.3.2 Estrutura em Madeira

A construção de casas de madeira tem vindo a ganhar algum mercado em Portugal. Além dos benefícios ambientais, estas casas apresentam boas características de conforto devido à textura e cor da madeira. São, por isso, consideradas uma solução esteticamente agradável. Por outro lado, a grande liberdade de escolha de formas permite aos arquitetos adotar uma enorme variedade de tipologias.

Estruturalmente a madeira apresenta elevada resistência à compressão e flexão. O peso da estrutura de madeira permite reduzir o tamanho das fundações e contribui para minimizar o efeito da ação sísmica.

As estruturas de madeira são caracterizadas pela elevada durabilidade, isolamento térmico e acústico, especialmente quando são cumpridas as boas práticas de manutenção. De acordo com as recomendações

normativas (NP 2080, 1985), estas construções devem seguir alguns preconceitos de utilização como um bom arejamento e um tratamento adequado e frequente dos materiais.

O autor (Morgado *et al.*, 2007) recomenda que a periodicidade das ações de manutenção preventiva das casas de madeira seja realizada em ciclos iguais ou inferiores a 5 *anos* e afirma que, desta forma, a durabilidade das casas de madeira poderá ser superior a 100 *anos*.

Em Portugal já existem casos de sucesso com as construções de madeira, nomeadamente no setor do turismo que está a conquistar mais apoiantes deste tipo de edifícios, como é o caso das *Furnas Lake Villas* nos Açores apresentado na figura 2.10.



(a) Moradia em madeira (exterior)



(b) Moradia em Madeira (interior)

Figura 2.10: Estrutura em Madeira (Fonte, Villas, 2009)

No anexo A.3 apresenta-se um exemplo de uma pequena habitação em madeira.

#### 2.2.3.2.1 Normalização preconizada ao sistema estrutural em Madeira

- Norma (NP EN 1990, 2009) - Estabelece regras de base de projeto que articulam com os restantes Eurocódigos, nomeadamente o *Eurocódigo 5 (EC5)*;
- Norma (NP EN 1995-1-1, 2004) - Projeto de estruturas em madeira, regras gerais para edifícios;
- Norma (NP EN 1912, 2013) - Estabelece classes de resistência e qualidade das espécies de madeira para estruturas.

#### 2.2.3.2.2 Vantagens e desvantagens

- Algumas vantagens do sistema construtivo em madeira (Morgado *et al.*, 2007):
  - As casas de madeira retêm extremamente bem o calor e irradiam o mesmo de forma uniforme por toda a casa (económico);
  - Prazo de construção reduzido (económico);
  - Baixo custo (o estudo acima referido concluiu que as empresas inquiridas praticavam preço por metro quadrado de construção de 500 *euros* a 750 *euros*, em moradias com acabamentos de média qualidade);

- As casas de madeira pelas suas características naturais de purificador de ar, controlador de humidade, agradável aos sentidos de visão, toque e olfato, ajudam na prevenção e combate de doenças respiratórias e reumáticas e na redução de níveis de stress, ansiedade e depressão (saúde);
  - Materiais 100% recicláveis garantindo condições de sustentabilidade ecológica;
  - A construção em madeira liberta menos  $CO_2$  do que qualquer outro sistema construtivo, ou seja, é mais ecológico;
  - Boa integração na natureza (ecológico).
- Algumas desvantagens do sistema construtivo em madeira (Morgado *et al.*, 2007):
    - Uma das grandes desvantagens da utilização de madeira estrutural, reside nas ligações metálicas utilizadas, nomeadamente nos parafusos, pregos e placas de ligação, que têm um mau comportamento e que tendem a tornar-se o elo mais fraco no comportamento estrutural;
    - Requer necessidades especiais de manutenção;
    - Ruídos incómodos, originados pela retração da madeira e sistemas de fixação.

### 2.2.3.3 Sistema SISMO® *Building technology*

Este tipo de estrutura tem vindo a tentar ganhar mercado em Portugal existindo já algumas edificações construídas.

Segundo (Braz César *et al.*, 2007), o processo construtivo SISMO® baseia-se na associação de módulos pré-fabricados (painéis de parede e painéis laje). Estes são compostos por duas malhas duplas de aço colocadas em cada face (ver figura 2.11), contendo o interior das destas placas de *Poliestireno Expandido* (EPS) ou outros materiais disponíveis no sistema.



Figura 2.11: Pormenor em corte do painel SISMO® (Fonte, Technology, 2013)

Estas placas conferem duas funções aos painéis: cofragem perdida durante o processo de betonagem dos mesmos e de isolamento (térmico e acústico).

Portanto cada módulo é composto por três componentes diferentes: malha de aço, placas de isolamento e o enchimento estrutural em betão armado. A definição de módulos construtivos e de construção por

painéis permite uma grande variedade de geometrias (paredes curvas, geometrias complexas), sendo a qualidade daqueles elementos assegurada pela pré-fabricação dos painéis em condições controladas.

Desta forma consegue-se uma redução da mão-de-obra e do tempo de execução em fase de construção que associado ao exigente processo de pré-fabricação, faz com que esta solução seja economicamente competitiva.

Os acabamentos exteriores poderão ser de variadíssimos materiais e formas: painéis de madeira, placas, pedra, rebocos e alvenarias decorativas. Os acabamentos interiores estão restringidos ao reboco com argamassas projetadas mecanicamente, podendo ser acabadas a areado fino ou estanhadas.

Este sistema construtivo é regido por pormenores do tipo apresentado no anexo A.4, sendo considerado adequado à construção de edifícios de pequeno e médio porte.

Na figura 2.12, relatam-se as etapas de implementação mais relevantes do sistema construtivo SISMO®.



(a) Transporte dos módulos



(b) Montagem dos módulos



(c) Betonagem dos módulos parede



(d) Betonagem dos módulos da cobertura



(e) Estrutura em tosc



(f) Moradia em fase de conclusão

Figura 2.12: Etapas de construção do sistema SISMO® de uma moradia construída em Portugal (Fonte, Technology, 2013)

#### 2.2.3.3.1 Normalização preconizada ao sistema SISMO®

- Este sistema construtivo rege-se pela base normativa referenciada no item 2.2.1.1 sobre estruturas de betão armado.

#### 2.2.3.3.2 Vantagens e desvantagens

- Algumas vantagens do sistema SISMO®:
  - Método de construção eficiente em termos de custos para todas as partes envolvidas neste

processo;

- Tem boa relação resistência/peso próprio (sismo), em edifícios de pequeno e médio porte;
  - Materiais utilizados provenientes de reciclagem (ecológico);
  - Facilidade na passagem de tubagens das instalações (roços são abertos com recurso a um pequeno maçarico que derrete o EPS fazendo uma cavidade necessária para colocação do tubagem);
  - Apresenta facilidade de manuseamento, transporte e montagem devido ao seu reduzido peso, (a sua aplicação poderá assegurada em quaisquer condições, podendo a montagem e o manuseamento ser feita manualmente, por um ou dois trabalhadores);
  - Possibilidade de desenvolvimento do processo construtivo com apenas três trabalhadores especializados;
  - Bom isolamento térmico sem pontes térmicas;
  - Aspeto final do edifício semelhante à construção tradicional.
- Algumas desvantagens do sistema SISMO®:
    - Entrega dos módulos depende da disponibilidade da fábrica, o que pode causar atrasos significativos ao início dos trabalhos;
    - Módulos fabricados exclusivamente para cada edifício;
    - Elevado custo de construção que se situa nos 800 euros por metro quadrado de construção em moradias com acabamentos de média qualidade ( valores facultadas pela empresa Gucilarte, lda, representante desta solução construtiva em Portugal);
    - Unidade de fabricação fora do território nacional, o que influencia os custos de transporte;
    - Necessidade inicial de mão-de-obra especializada.

## 2.3 Processos de execução de estruturas de AE

Neste ponto são apresentados aspetos sobre técnicas utilizadas para a construção de edifícios de pequeno e médio porte, bem como os equipamentos e ferramentas a utilizar durante o processo de construção. Assim, apresenta-se de forma sucinta, as fases mais importantes na construção de alvenaria estrutural.

### 2.3.1 Processo construtivo em AE

Neste ponto descreve-se o processo estrutural de uma moradia composta por um piso térreo e cobertura, construída em alvenaria estrutural com blocos de betão.

Referem-se as seguintes fases:

- Fase 1 - Desmatação, limpeza e nivelamento da área de implantação do edifício;
- Fase 2 - Colocação de estacas no solo para servirem de apoio (firme e nivelado) à colocação de tábuas em todo o perímetro exterior do edifício, onde estrategicamente são colocados pregos que servem de base aos fios que definem as esquadrias e alinhamentos das fundações;

- Fase 3 - Escavação da abertura das fundações, seguindo-se a colocação do betão de limpeza. Posteriormente é feita a colocação das armaduras, seguindo-se a betonagem, que deve assegurar uma superfície devidamente nivelada;
- Fase 4 - Recorrendo à estrutura de marcação referida na fase 2 são definidos todos os alinhamentos das paredes com recurso a fios. De seguida inicia-se o assentamento dos blocos em todos os cunhais;
- Fase 5 - Procede-se à fixação do fio nos cunhais, o que confere o alinhamento para o assentamento da primeira fiada (ímpar). Concluída a primeira fiada, dá-se início à segunda (par). Terminada a segunda, sucede-se a aplicação das armaduras de fiada que deverão ficar embebidas na argamassa. Esta armadura será aplicada de duas em duas ou de três em três fiadas, conforme o projeto e de acordo com o cálculo estrutural;
- Fase 6 - Repete-se o ciclo da fase anterior até ao nível de 20 *cm* antes da laje, sucedendo-se o assentamento da fiada de lintel que tem funções de cofragem da viga cinto e base de suporte para a laje;
- Fase 7 - Inicia-se a aplicação das armaduras da viga de cinto com posterior aplicação das vigas pré-fabricadas e respetivas abobadilhas. Em seguida são aplicadas as armaduras de reforço e distribuição, seguindo-se a betonagem da laje;
- Fase 8 - Inicia-se a colocação da estrutura de suporte da telha que poderá ser dos seguintes tipos: laje aligeirada, sistema vigota ripa ou estrutura leve em LSF. Finalmente procede-se à aplicação da telha.

Para garantir um eficiente decorrer dos trabalhos é recomendável a montagem de uma grua do tipo apresentado na figura 2.13 (e), para movimentar todo tipo de materiais necessários à obra, os quais são apresentados no ponto 2.4.2.

Deve ser garantido um estaleiro de obra de acordo com o decreto-lei (DL 273, 2003), com espaço plano e nivelado reservado para stock de materiais, bem como uma área para armazenamento do aço e moldagem das armaduras.

É necessário uma área reservada à colocação de uma betoneira (figura 2.13 (c)), com espaço para armazenamento de agregados para produção de betão e argamassa.

### 2.3.2 Equipamentos

O uso de equipamentos apropriados a cada tipo de tarefa aumenta a produtividade e diminuem a probabilidade de erros, quando utilizados de acordo com recomendações do fabricante e a legislação.

Seguidamente, referem-se os equipamentos necessários para garantir a precisão a rapidez no desenvolvimento dos trabalhos, a redução de carga de mão-de-obra, a eficiência e a melhoria da qualidade dos trabalhos. Estes equipamentos são usados para as seguintes fases de execução: terraplanagem e abertura de caboucos das fundações, marcação, nivelamento das fiadas, movimentação e elevação de materiais, corte, amassadura e vibração do betão.

- Retro-escavadora - Na fase inicial, logo após a marcação do edifício, inicia-se a fase de escavação dos caboucos para execução das fundações com recurso a uma retro-escavadora (2.13 (a));
- Nível laser - O nível laser, representado na figura 2.13 (b), é um equipamento importante que tem como função o nivelamento dos cunhais do edifício na fase execução das fundações, bem como o nivelamento de cada fiada de blocos;
- Betoneira - Equipamento necessário para o processo de amassadura/mistura da argamassa utilizada no assentamento da alvenaria (figura 2.13 (c)). Em alternativa a este equipamento pode ser utilizado uma misturadora;
- Berbequim com broca craniana diamantada - Equipamento utilizado na abertura de orifícios nos blocos para passagem de tubos das instalações (elétricas, telecomunicações, águas e aquecimento central) (figura 2.13 (d));
- Grua - Equipamento com grande impacto na produção, a grua (figura 2.13 (e)) é utilizada nas seguintes funções: descarga de materiais para o estaleiro e elevação e transporte de todos os materiais necessários em obra;
- Rebarbadora com disco diamantado - Equipamento portátil utilizado no corte de blocos, vigotas e abobadilhas, representado na figura 2.13 (f);
- Vibrador de betão - Equipamento utilizado na vibração do betão de elementos estruturais. Um exemplo deste equipamento é o apresentado na figura 2.13 (g).



(a) Retro escavadora



(b) Nível laser



(c) Betoneira



(d) Berbequim com broca craniana.  
Fonte, (Bosch, 2013)



(e) Grua



(f) Rebarbadora com disco diamantado



(g) Vibrador de betão

Figura 2.13: Equipamentos

### 2.3.3 Ferramentas de utilização manual

Neste ponto são referidas as principais ferramentas utilizadas nas construções de edifícios em geral com as seguintes funções: assentamento de alvenaria, nivelamento, verticalidade ou aprumo, corte e moldagem de armaduras e cofragens.

- Colher de pedreiro - Uma das ferramentas mais utilizadas na alvenaria é a colher de pedreiro (2.14 (a));
- Nível de bolha - Ferramenta utilizada para garantir o nivelamento de: blocos, torças, cofragens e outros (figura 2.14 (b));
- Fio-de-prumo - Ferramenta necessária para aprumar as fiadas alvenaria (2.14 (c));
- Tesoura de corte de varão - Ferramenta utilizada no corte das armaduras (2.14 (d));

- Pincel (broxa) - O pincel, apresentado na figura 2.14 (e), para além da sua função de pintar, desempenha com eficiência o processo de molhagem das fiadas de blocos antes da aplicação da argamassa;
- Martelo de pedreiro (faz-tudo) - O martelo de pedreiro (figura 2.14 (f)) é uma ferramenta necessária para o acerto dos blocos após o assentamento sobre a argamassa, através de umas pancadas consegue levar o bloco à linha;
- Castanha de mola para cofragem - O dispositivo (figura 2.14 (g)) é uma ferramenta muito utilizada para a fixação de sistemas de cofragem, sendo formado por uma garra que fixa um varão de aço tensionado por um macaco que confere o aperto necessário à fixação das cofragens, evitando assim o seu afastamento na fase de betonagem e vibração;
- Viradeira de varão - É uma ferramenta necessária para a moldagem do aço na conceção dos estribos;
- Desempenadeira (talocha) - Ferramenta utilizada pelo pedreiro quando executa trabalhos de assentamento de alvenarias e rebocos;
- Estância (gamela) - Utensílio utilizado para colocação da argamassa no processo de assentamento de alvenaria e rebocos;
- Balde - Utensílio utilizado como recipiente para água e também para o transporte de argamassa para a estância;
- Carro de mão - Ferramenta utilizada pelo servente para o transporte dos materiais necessários às tarefas desenvolvidas na construção;
- Esquadro de pedreiro: Ferramenta necessária para garantir a esquadria das paredes;
- Fio de alinhamento - Este fio é necessário para definir alinhamentos do edifício na fase inicial de marcação, mas também é utilizado para alinhamento das alvenarias durante o processo de assentamento;
- Fita métrica - Ferramenta utilizada para executar medições;
- Pá de bico - Ferramenta necessária para o processo de amassadura da argamassa e também para enchimento dos baldes e estâncias com argamassa.

Em seguida apresentam-se algumas das ferramentas utilizadas na construção de estruturas em [AE](#) (caso de estudo).



(a) Colher de pedreiro



(b) Nível de bolha



(c) Fio-de-prumo



(d) Tesoura de corte de varão



(e) Pincel (broxa)



(f) Martelo de pedreiro (faz-tudo)



(g) Castanha de mola para cofragem

Figura 2.14: Ferramentas de utilização manual

## 2.4 Princípios comuns de qualidade, higiene e segurança na construção

Neste ponto, referem-se aspetos relacionados com regras de higiene e segurança, sistemas de proteção individual, referindo aspetos relacionados com manuseamento de alguns materiais e equipamentos cuja utilização incorreta poderá causar acidentes graves.

### 2.4.1 Recomendações de segurança no manuseamento de materiais

O setor da construção civil tem um conjunto de características específicas que o distingue de outros setores de atividade. Os riscos elevados deste setor transformam-no num setor de atividade de maior risco de ocorrência de acidentes de trabalho. No entanto, é possível contrariar esta tendência seguindo o mais possível as recomendações de higiene e segurança.

É importante referir que ao circular dentro do espaço confinado à obra e estaleiro é obrigatório o uso dos seguintes **EPI**: colete refletor, capacete e botas de proteção. Sendo também necessários outros **EPI** quando são executado trabalhos específicos.

Referem-se em seguida recomendações de segurança no manuseamento de materiais e equipamentos:

- **Betão:**
  - No manuseamento do betão deve-se utilizar **EPI** adequados, já referidos no ponto 2.4.3, para evitar que o betão fresco entre em contacto com a pele, olhos e boca. No caso de o betão entrar em contacto com estes órgãos, deve proceder-se à sua lavagem imediatamente com água limpa.
  
- **Armaduras em geral:**
  - Devido ao corte das armaduras com a tesoura, esta deixa o varão pontiagudo ficando mais suscetível de provocar ferimentos. Deste modo as armaduras devem ser manuseadas com precaução e com recurso a **EPI** referidos no ponto 2.4.3 adequados, designadamente luvas e óculos de proteção.
  
- **Argamassas:**
  - Devem tomar-se precauções para evitar que a argamassa entre em contacto com olhos recorrendo à utilização de óculos de proteção;
  - Deve evitar-se inalação das poeiras produzidas no processo de amassadura, aconselhando-se a utilização de máscara de proteção;
  - No seu manuseamento deve evitar-se o contacto com a pele, sendo necessário a utilização de luvas de proteção;
  - Devem evitar-se posturas incorretas no manuseamento dos sacos de argamassa, ou seja, ao elevar-se o saco devem manter-se as costas direitas, dobrar o joelhos e fazer força nas pernas aquando da elevação, seguindo as recomendações impostas pelo decreto-lei (DL 330, 1993).
  
- **Unidades de alvenaria (blocos) e abobadilhas:**
  - No manuseamento destes materiais deve-se utilizar luvas de proteção;
  - Durante o processo de corte dos blocos, com recurso a rebarbadora, deve evitar-se a inalação das poeiras produzidas, sendo necessário a utilização de **EPI**, nomeadamente máscara, óculos e luvas de proteção;
  - No processo de assentamento, movimentar os blocos de forma a evitar-se possíveis ferimentos.
  
- **Vigas pré-esforçadas:**
  - Estes elementos, devido ao seu elevado peso, devem ser manuseados com recurso a meios mecânicos (grua) com a máxima precaução, de modo a prevenir acidentes;
  - Devem evitar-se posturas incorretas quando manuseadas.

## 2.4.2 Acondicionamento e transporte de Materiais

No perímetro da obra deve ser prevista uma área específica, designada de estaleiro temporário. Este deve ser organizado segundo as prescrições dos decreto-lei (DL 273, 2003) e (DL 330, 1993), com zonas específicas para os seguintes materiais: aços, paletes de blocos e abobadilhas, viga pré-fabricadas e agregados. Além destas, é necessária uma zona coberta para armazenar os sacos de argamassa e de cimento.

### 2.4.2.1 Varões nervurados

Estes varões são normalmente comercializados com 12 m de comprimento. A sua colocação em espaço de estaleiro deverá ser feita sobre vigas de madeira ou outros apoios, afim de evitar o contacto dos varões com o solo, lamas e outros resíduos. Os varões devem estar separados por diâmetros, por forma a facilitar o processo de corte, para posterior moldagem e armação das armaduras.

### 2.4.2.2 Armadura pré-fabricada Murfor®

Esta armadura é fornecida em paletes de 40 *atados*, cada atado tem 25 *peas*, cada peça tem 3,05 m de comprimento. Esta deverá ser armazenada no estaleiro, colocada sobre uma paleta para evitar o contacto com o solo, lamas e outros resíduos.

### 2.4.2.3 Argamassas pré-doseadas

A argamassa pré-doseada tem produção industrial em fábrica sendo apresentada em sacos de 30 kg. O seu fornecimento pode ser feito de forma individual ou em paletes de 54 *sacos*. O seu armazenamento deve ser feito no estaleiro, em local coberto nas proximidades da betoneira, afim de evitar transporte manual em grandes distâncias.



Figura 2.15: Paleta de argamassa

### 2.4.2.4 Unidades de alvenaria e abobadilhas

As unidades de alvenaria são acondicionadas em paletes com o objetivo de facilitar o transporte e armazenamento, otimizando desta forma tempos de carga e descarga. As paletes de Bloco BEST® contêm 72 *unidades* (figura 2.16 (a)). Em relação às paletes de lintel apresentadas na figura 2.16 (b) contêm 60 *unidades*.



Figura 2.16: Acondicionamento em paletes

#### 2.4.2.5 Vigas pré-esforçadas

O armazenamento destes elementos deverá ser feito no estaleiro numa superfície plana de forma a poderem ser empilhados sobre barrote de madeira. Esta disposição possibilita a colocação dos meios de amarração necessários para a sua movimentação, com uma grua até ao posicionamento final em obra.



Figura 2.17: Empilhamento de vigas pré-fabricadas

### 2.4.3 Equipamentos de proteção individual

Atualmente verifica-se nas pequenas e médias empresas de construção alguma negligência na utilização de EPI, nomeadamente no uso do capacete. O risco de ocorrência de acidentes está presente no setor de construção e, independentemente das consequências, considera-se imprescindível o uso de EPI. Em seguida referem-se os principais EPI utilizados em obra segundo as prescrições da portaria (Port.988, 1993) e do decreto-lei (DL 348, 1993):

- Capacete - O capacete de proteção (figura 2.18 (a)) tem como principal objetivo proteger a cabeça dum eventual queda de objetos;
- Calçado de proteção - As botas de proteção (figura 2.18 (b)) são concebidas com biqueira e palmilha de aço com o objetivo de proteger os pés contra o esmagamento provocado por queda de objetos, bem como a perfuração através de pregos;
- Colete refletor - Apresenta-se na figura 2.18 (c) o colete refletor que serve para aumentar a probabilidade de ser visto pelos manobreadores de máquinas em movimento (gruas, retro-escavadoras, cilindros, etc.) no local de trabalho;
- Auriculares - Na figura 2.18 (d) apresenta-se uma imagem de um dos tipos de auriculares que têm a função de proteger os ouvidos dos ruídos produzidos por alguns equipamentos referidos no ponto 2.3.2, nomeadamente os usados no corte de materiais como a rebarbadora na mistura de agregados na betoneira e nas demolições;
- Luvas de proteção - As luvas (figura 2.19 (a)) têm a função de proteger as mãos contra cortes e no manuseamento de alguns materiais referidos no ponto 3.6.1;
- Óculos de proteção - A figura 2.19 (b), refere um tipo de meio de proteção ocular recomendado para trabalhos com equipamentos referidos no ponto 2.3.2, nomeadamente rebarbadoras e vibradores de betão;
- Máscara de proteção - Na figura 2.19 (c) apresenta-se um tipo de máscara de proteção de vias respiratórias utilizada em ambientes com partículas no ar, como exemplo no processo de corte de unidades de alvenaria, na mistura de agregados na betoneira e durante demolições;
- Arnês de proteção - O arnês (figura 2.18 (d)) tem como finalidade evitar quedas em altura devendo ser utilizado em zonas suscetíveis de quedas em altura sem dispositivos físicos de proteção conta as mesmas (guardas).



Figura 2.18: Equipamentos de proteção individual (Fonte, [Protek, 2013](#))



(a) Luvas de proteção



(b) óculos de proteção



(c) Mascara de proteção



(d) Arnês de proteção

Figura 2.19: Continuação dos equipamentos de proteção individual (Fonte, [Protek, 2013](#))

## Capítulo 3

### Caso de estudo em AE: conceção, materiais e construção

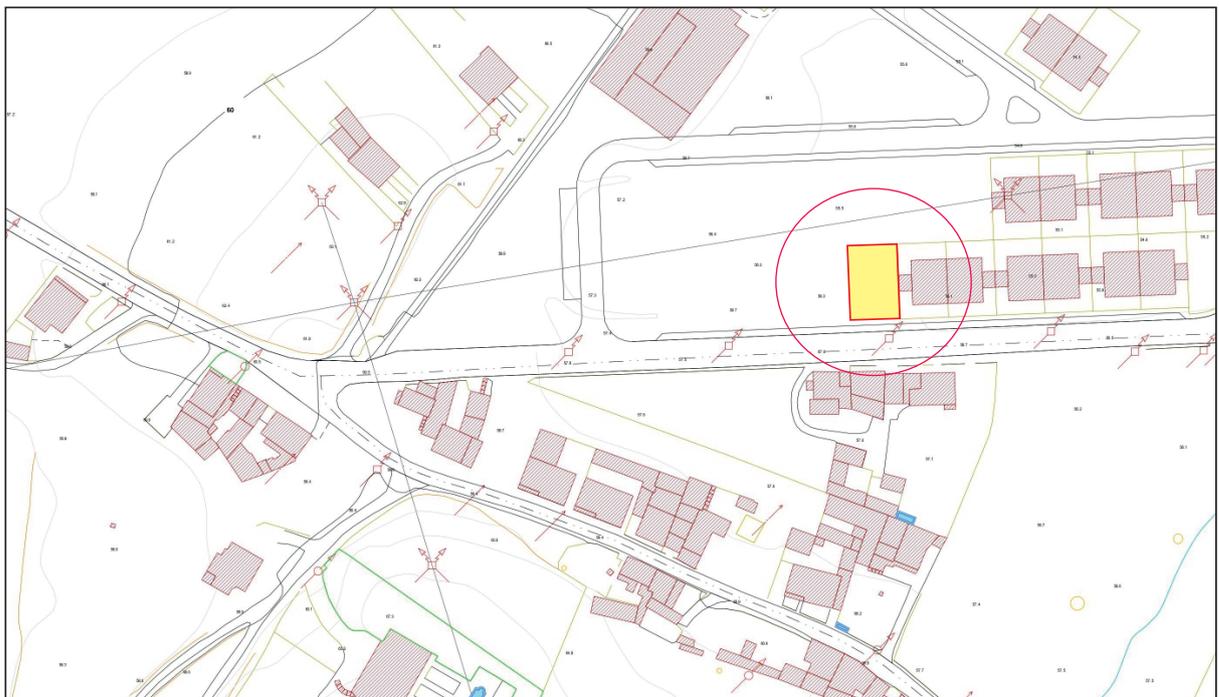
#### 3.1 Introdução

Neste capítulo é feita a descrição do processo de modulação do projeto de um edifício, como caso de estudo, e a definição do seu projeto de execução. Tendo em conta as necessidades para a construção real do caso de estudo são apresentados os projetos, o processo de conceção, os materiais utilizados e preconizados em projeto. Sendo, por fim, referido todo o processo de construção.

#### 3.2 Conceção

O edifício de estudo corresponde a duas moradias unifamiliares geminadas integradas nos lotes  $n^{\circ}$  6 e 7 do loteamento habitacional *Qt. da Lomba*, localizado na freguesia de Casal Comba no concelho da Mealhada (figura 3.1). Estas moradias são constituídas por dois pisos rés-do-chão e 1<sup>o</sup> andar, e a arquitetura é apresentada nas figuras 4.1 e 3.3.

O projeto de arquitetura é definido com uma conceção tradicional em termos de compartimentação apresentando no rés-do-chão a sala de jantar e estar comuns, o escritório, o wc e a cozinha. Sendo o 1<sup>o</sup> piso destinado integralmente a dormitório composto por três quartos e dois wc's. A sua cobertura foi prevista em três águas revestida com telha lusa. O anexo (garagem) é formado por um único piso de cobertura plana.

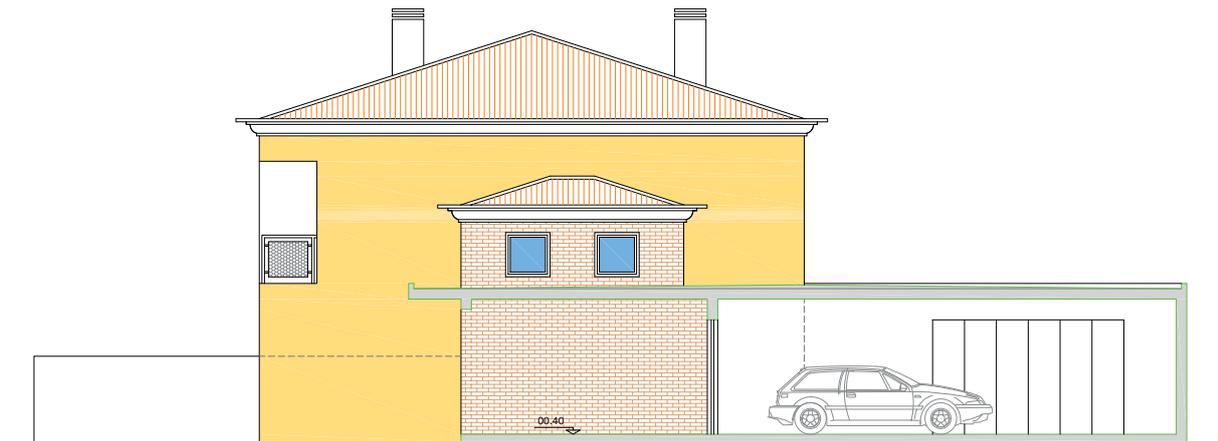


(a) Planta de topográfica

Figura 3.1: Localização



(a) Alçado principal



(b) Alçado lateral



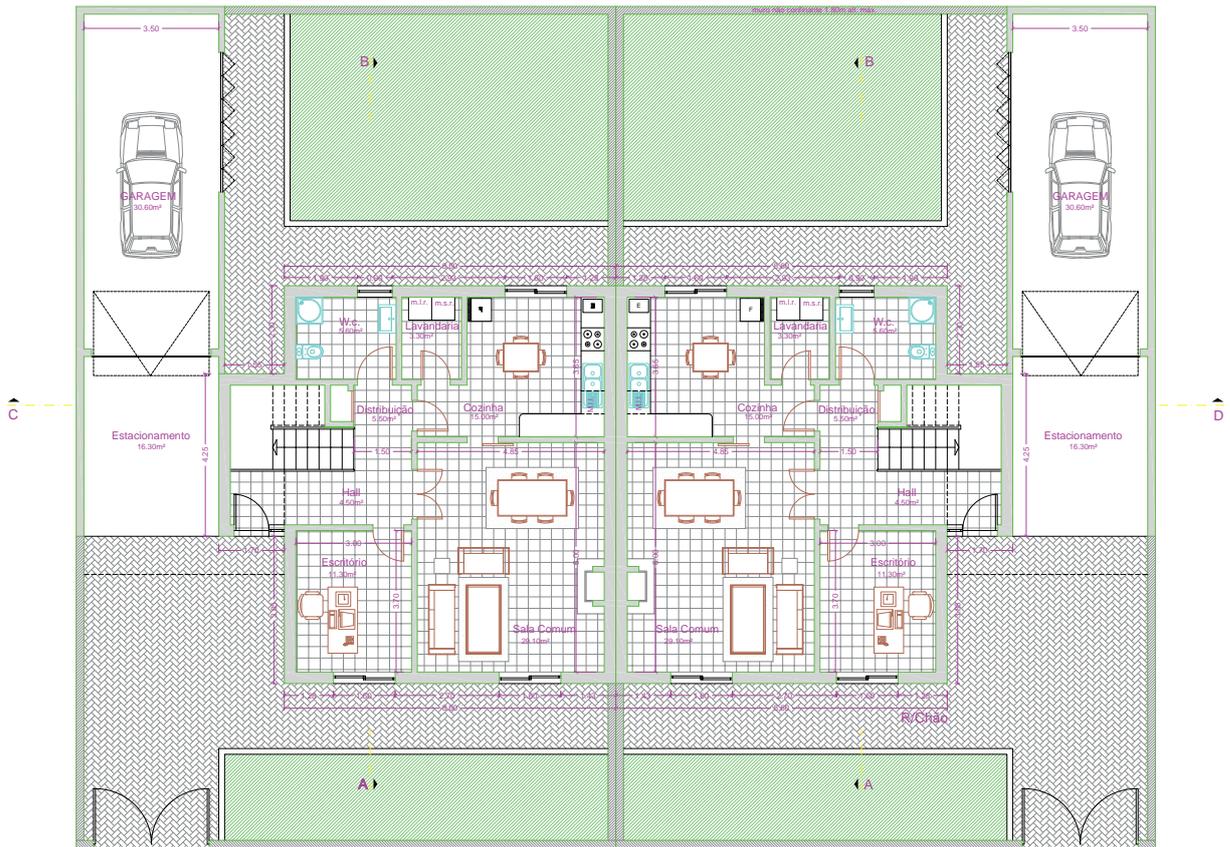
(c) Corte A B



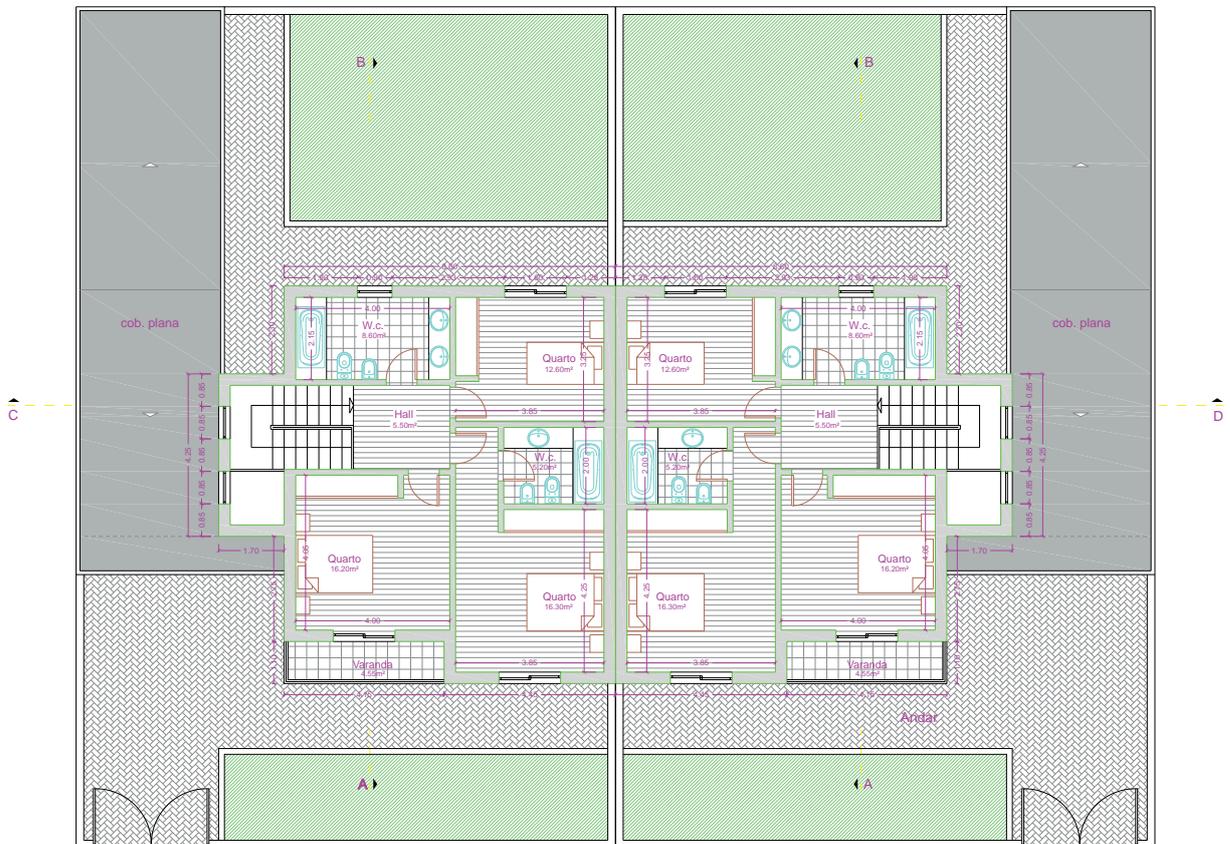
(d) Corte C D

corte c-d

Figura 3.2: Alçados e cortes do projeto de arquitetura inicial



(a) Planta do rés-do-chão



(b) Planta do 1.º piso

Figura 3.3: Plantas do projeto de arquitetura inicial

O âmbito deste projeto de investigação procurou adaptar a arquitetura inicial concebida para **BA** para uma estrutura em **AE**. Assim, pretende-se efetuar a implementação em caso de estudo aplicado no processo construtivo preconizado pela investigação realizada. No seguimento desta aplicação, procurou-se efetuar uma comparação de custos em fase de projeto, das duas opções construtivas e estruturais.

### 3.3 Projetos prévios: soluções construtivas em betão armado e alvenaria estrutural

Foram feitas adequações ao projeto de arquitetura inicial procurando assegurar um adequado comportamento estrutural tendo, por isso, sido necessário ajustar a distribuição de espaços interiores, garantindo sempre as exigências funcionais e regulamentares do decreto-lei (**DL 50, 2008**), e os critérios de modulação estrutural (**Gouveia et al., 2007**).

Estas duas soluções construtivas são a base do estudo comparativo apresentado no capítulo 4, tendo-se comparado apenas a parte estrutural, ou seja, a construção integral de toda a estrutura, excluindo os acabamentos que serão iguais para ambos os casos.

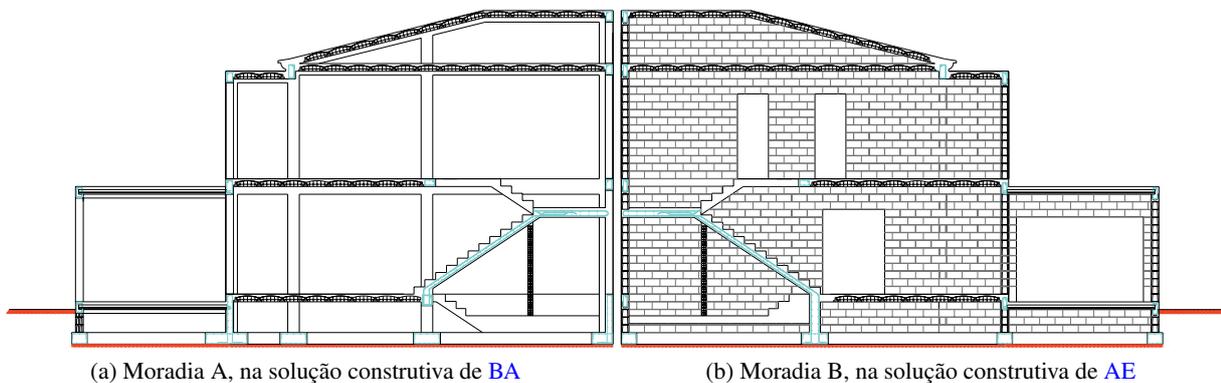


Figura 3.4: Corte C - D, com representação de duas soluções construtivas

### 3.4 Projeto para a solução em betão armado

A moradia geminada selecionada para o estudo da solução construtiva **BA**, é a moradia **A** (figura 3.4 (a)). Este projeto foi sujeito a alterações relativamente à sua versão inicial (figuras 4.1 e 3.3). A sua geometria, ao nível do rés-do-chão passou por uma nova redistribuição da compartimentação, na qual a escada de acesso ao piso superior foi deslocalizada para o extremo oposto, obrigando a uma alteração da zona de circulação e conseqüente eliminação do escritório. A restante compartimentação foi reajustada ao espaço. Em relação ao primeiro piso este manteve-se o mesmo número de compartimentos, apenas reajustados devido à deslocalização da escada.

Apresentam-se, em seguida, o projeto de arquitetura (figuras 3.5, 3.6 e 3.7), bem como as plantas do projeto de estabilidade (figura 3.8 e 3.9).

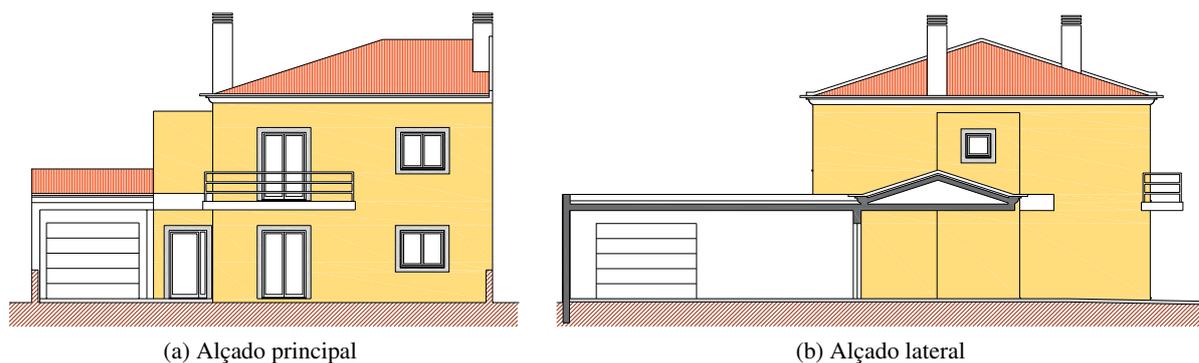


Figura 3.5: Alçados do projeto de arquitetura da moradia em **BA** (versão final)

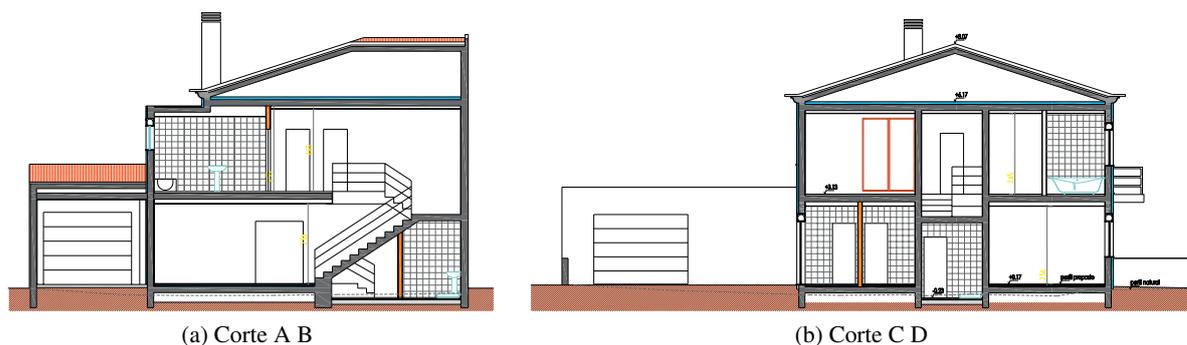


Figura 3.6: Cortes do projeto de arquitetura da moradia em **BA** (versão final)

### 3.4.1 Conceção estrutural da solução em **BA**

A conceção estrutural desta solução adotou uma configuração de sapatas contínuas em todo o seu perímetro, como pode ser constatado na figura 3.8 (a). Destinadas ao suporte dos muros de **BA** com altura suficiente para vencer a cota de soleira e que conferem apoio à primeira laje que é do tipo aligeirada. Segue-se a execução dos pilares, com uma altura aproximada de 2,70 m, que juntamente com as vigas formam os pórticos, os quais suportam a segunda laje do teto do rés-do-chão. A construção da escada em **BA** que confere o acesso ao piso superior é o passo seguinte. O processo do ciclo anteriormente referido, é repetido até ao nível da terceira laje do teto do 1º andar. Por fim, procede-se à execução da cobertura da moradia, adotando uma laje aligeirada composta por três águas.

Referem-se as principais premissas na conceção de projeto em **BA**:

- Distribuição de pilares com geometria equivalente pela área total, por forma a criar uma distribuição de massas e de rigidez regular, em planta e altura;
- Distribuição de pilares evitando vãos de viga muito diferentes entre os vários tramos, por forma a que haja uma maior regularidade de armaduras quando são dimensionados;
- Revisão da localização dos pilares e vigas de modo a que seja possível executar o revestimento pelo exterior, para de evitar pontes térmicas;
- Sempre que possível, criar continuidade e alinhamento nos pilares desde a fundação até à cota

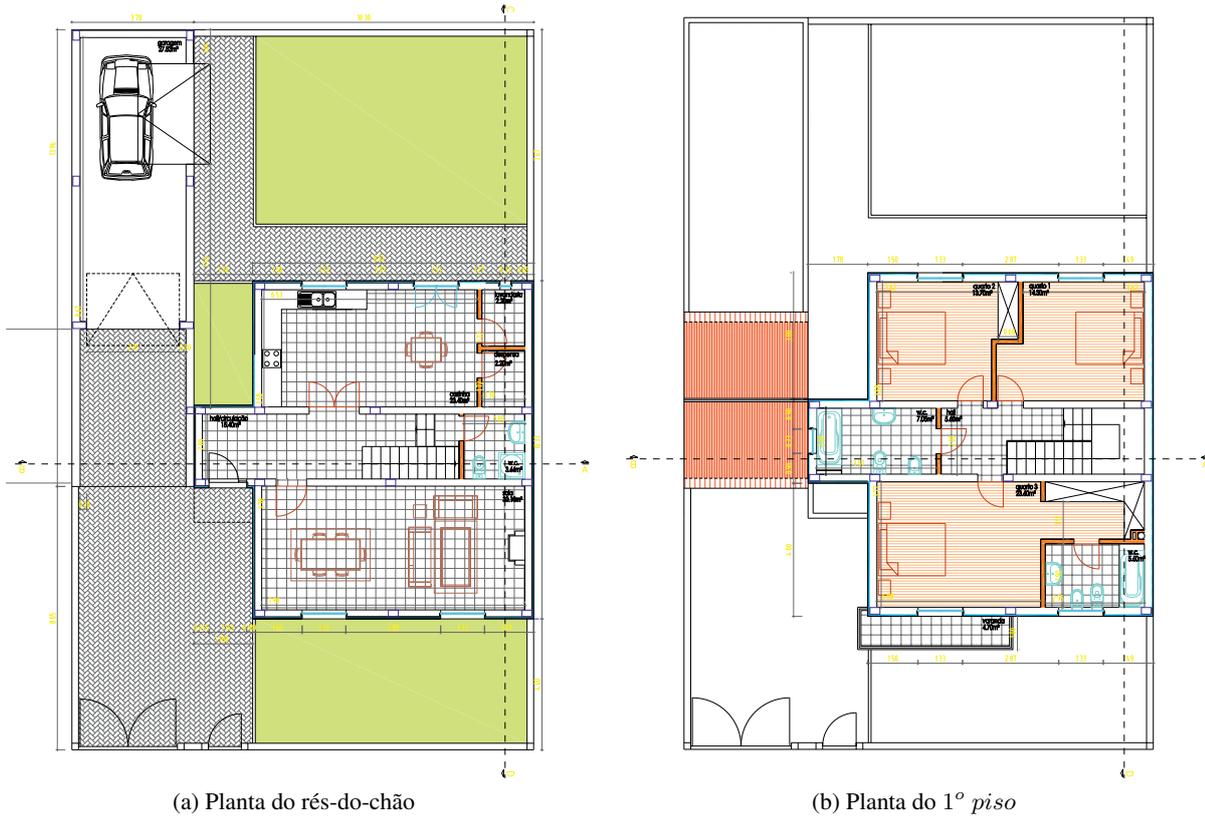


Figura 3.7: Plantas do projeto de arquitetura da moradia em BA (versão final)

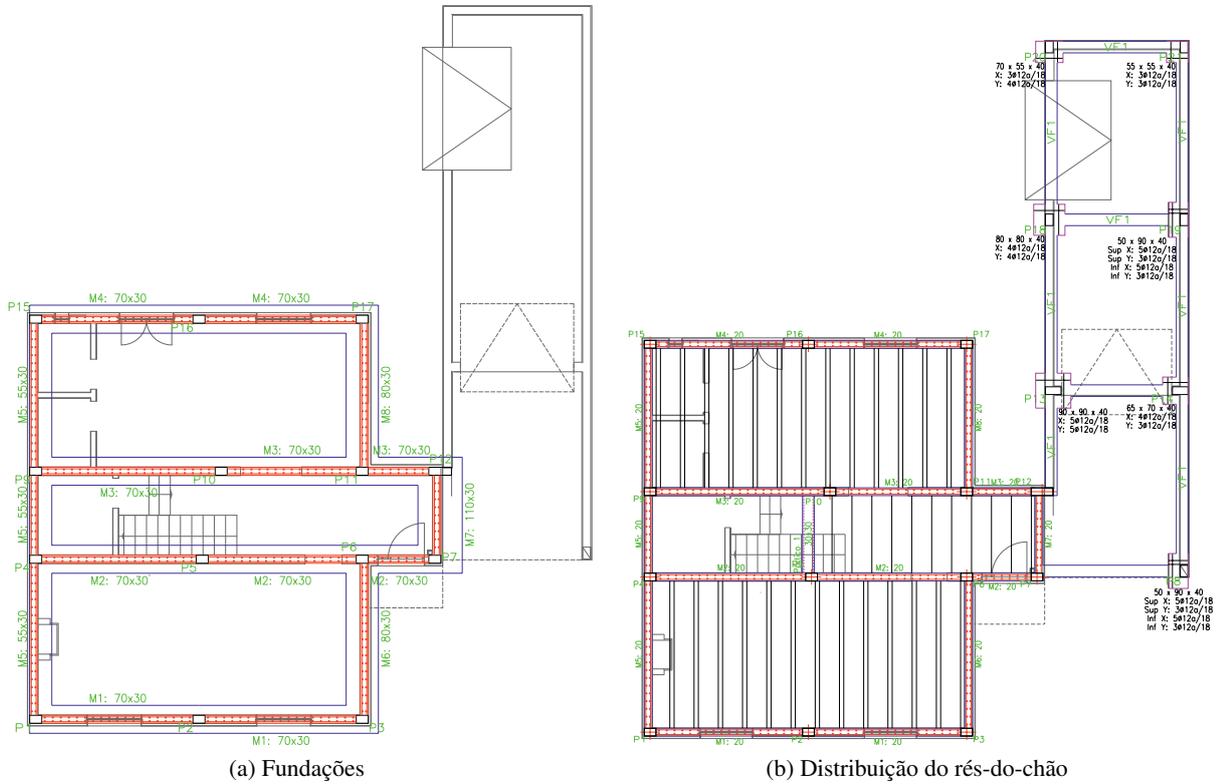


Figura 3.8: Projeto de estabilidade de BA



Figura 3.9: Continuação do projeto de estabilidade de **BA**

mais elevada (cobertura).

Apresentam-se nas figuras 3.10 , 3.11 e 3.12 pormenores de elementos estruturais que constituem este tipo de projeto.

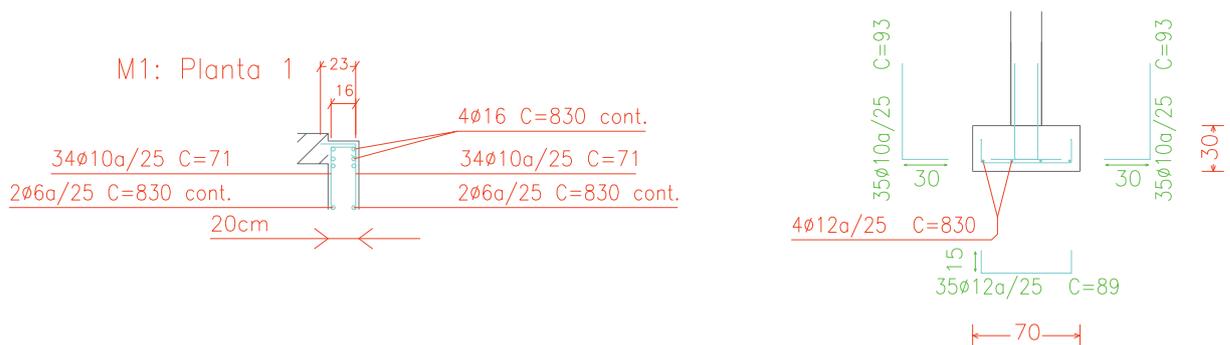


Figura 3.10: Pormenores de sapata e muros em **BA**

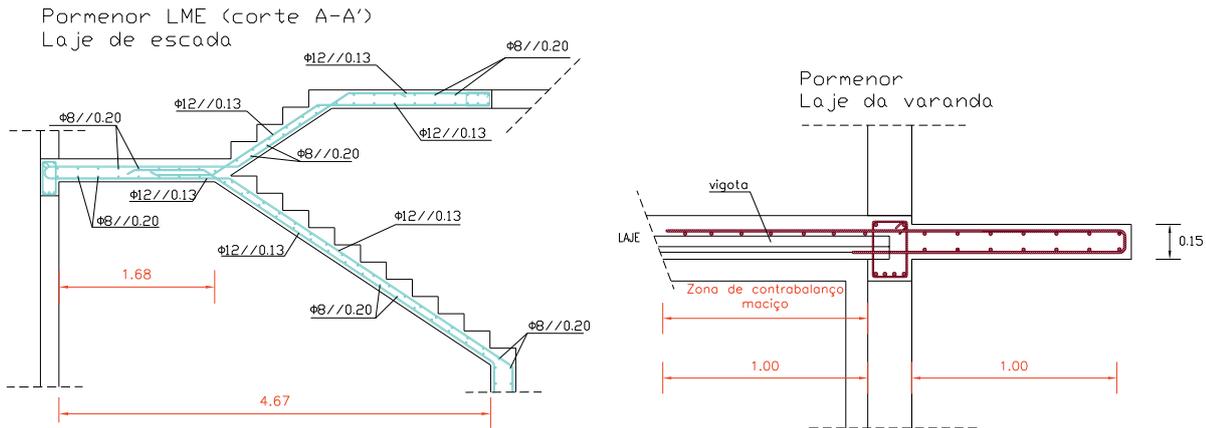


Figura 3.11: Pormenores de lajes de escada e varanda em **BA**

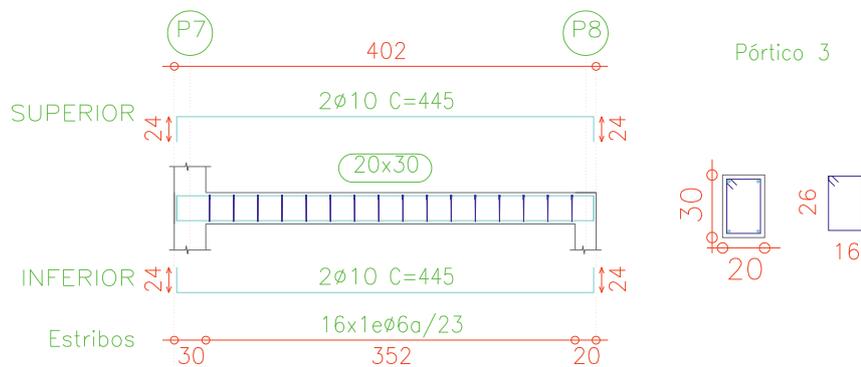


Figura 3.12: Pormenor do pórtico 3 de viga em **BA**

Para execução de paredes de preenchimento dos pórticos em **BA** foi considerado assentamento de bloco de betão  $50 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  em panos simples de todas as paredes exteriores.

Neste estudo não foi considerado qualquer tipo de acabamento, mas achou-se necessário apresentar um exemplo (figura 3.13) de revestimento exterior **ETICS** que cumpre o disposto nos decretos-lei (**DL 79, 2006**) e (**DL 80, 2006**). Este sistema preconiza a aplicação de isolamento térmico pelo exterior por forma a maximizar a sua eficiência em termos térmicos e acústicos, que evita pontes térmicas.

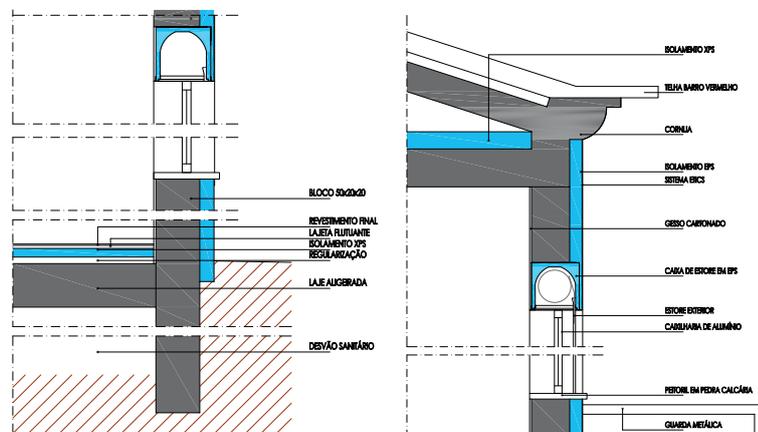


Figura 3.13: Pormenores de isolamento térmico pelo exterior

### 3.5 Projeto para a solução em alvenaria estrutural

A moradia geminada referenciada como moradia **B**, apresentada na figura 3.4 (b), tem uma definição similar à solução de **BA** em termos de disposição dos espaços interiores. O projeto estrutural foi desenvolvido recorrendo a um projeto de arquitetura formulado para uma estrutura em **BA** (figura 4.1). Este foi convertido numa solução em **AE** obedecendo às especificações das normas (eurocodigos) ([NP EN 1990, 2009](#)), ([NP EN 1991-1-1+AC, 2009](#)), ([EN 1996-1-1+A1, 2013](#)), ([NP EN 1998-1+A1, 2013](#)) e o decreto-lei ([DL 50, 2008](#)).

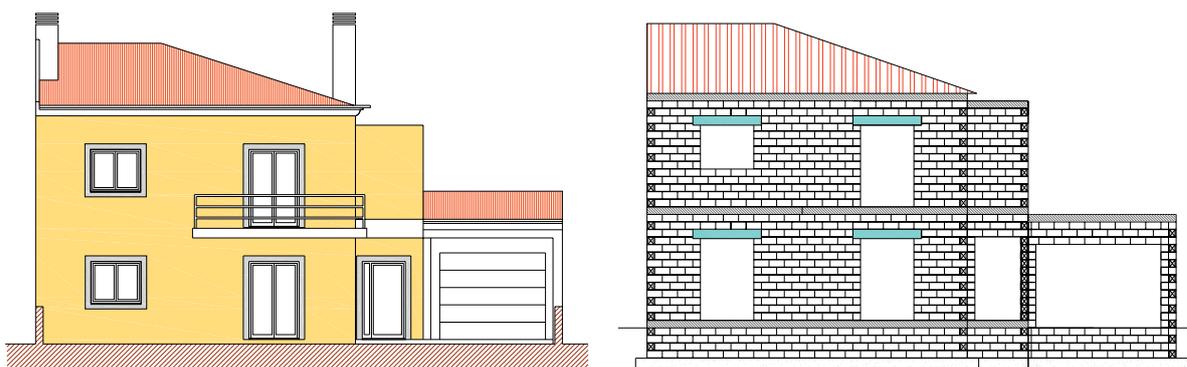


Figura 3.14: Alçado principal da solução em [AE](#)

#### 3.5.1 Conceitos de modulação estrutural e arquitetural

A modulação em [AE](#) contém especificidades ([Gouveia et al., 2007](#)) que condicionam a solução global, espacial e geométrica, e que deve assegurar as exigências regulamentares para a definição estrutural.

O decreto-lei ([DL 50, 2008](#)), preconiza um conjunto de regras importantes na caracterização dos espaços edificados, tais como:

- Área mínima (bruta) regulamentar das edificações consoante a sua tipologia;
- Áreas mínimas dos compartimentos, segundo a tipologia;
- Alturas mínimas de piso a piso em edificações destinadas à habitação, que são de 2.6 m, podendo ser reduzidas a 2.30 m nas zonas de vestíbulos, corredores, instalações sanitárias, despensas e arrecadações;
- Largura mínima dos corredores é de 1.10 m, podendo esta ser reduzida a 0.90 m em corredores secundários que não ultrapassem 1.5 m de comprimento.

As normas ([EN 1996-1-1+A1, 2013](#)) e ([NP EN 1998-1+A1, 2013](#)) estabelecem a organização geral da estrutura de modo a assegurar a estabilidade e robustez durante a sua construção e utilização. Estes princípios, apesar de estarem intrinsecamente ligados ao dimensionamento e à análise estrutural, deverão ser tidos em conta na definição da arquitetura e na definição da malha estrutural, ou seja, recomenda-se que sejam estudados em simultâneo.

É importante a definição das condições estruturais, por isso, seguidamente apresentam-se alguns princípios necessários à conceção estrutural de interesse na definição da arquitetura ([Alvest, 2013](#)):

- Garantir o desenvolvimento em planta e em altura o mais regular e simétrico possível, por forma a coincidir o mais possível o centro de gravidade com o centro de torção, tal como o representado nas figuras 3.15 e 3.17;
- Na definição da arquitetura do edifício deve garantir-se simplicidade de formas;
- Definição da malha de paredes resistentes em planta com capacidade de assegurar uma adequada distribuição de forças ao nível das ações verticais (permanentes e sobrecargas) e horizontais (vento e sismo);
- Definir paredes de contraventamento segundo as recomendações apresentadas na figura 3.18, tendo em atenção a abertura de vãos para evitar alterações na rigidez da estrutura;
- Garantir continuidade das paredes resistentes, tanto no plano horizontal (planta), como no plano vertical (em altura);
- O projeto deve ser apresentar detalhe e pormenor, por forma a não ser suscetível de dúvidas ou incertezas.

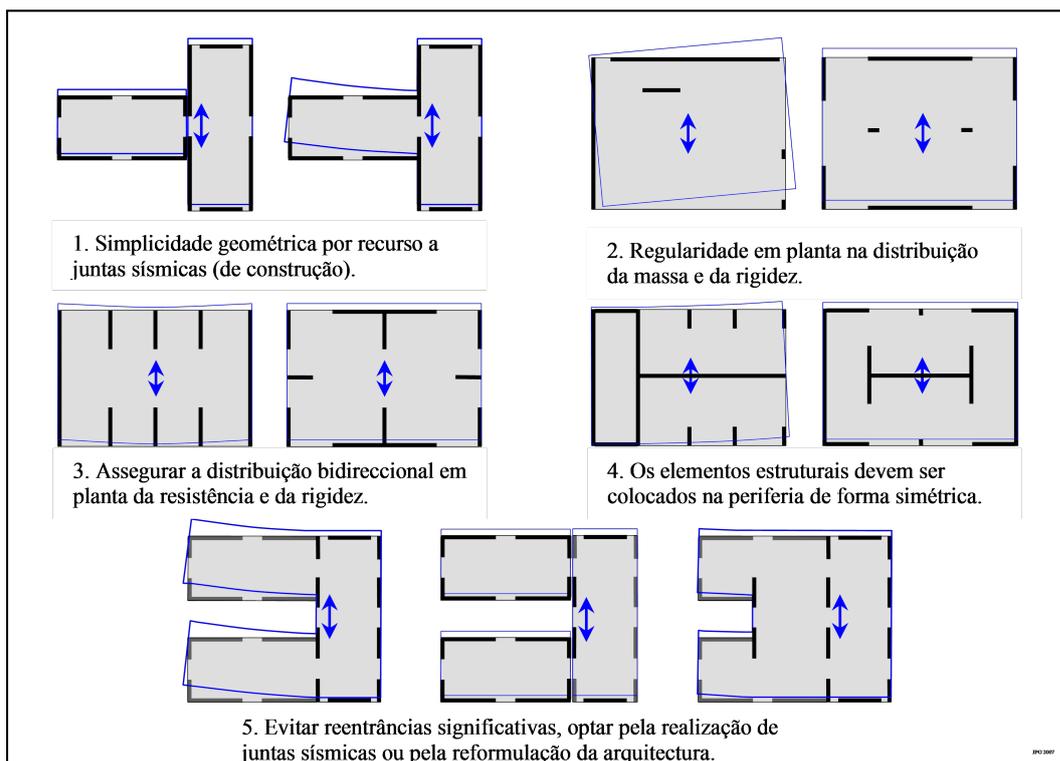


Figura 3.15: Regras de desenvolvimento em planta para a conceção estrutural de edifícios. (Adaptado, Vasconcelos *et al.*, 2007)

	Plano horizontal	Planta simples	Planta complexa
Plano Vertical			
Alçado simples			
Alçado complexo			

Figura 3.16: Regras para os planos horizontal e vertical. (Adaptado, Vasconcelos *et al.*, 2007)

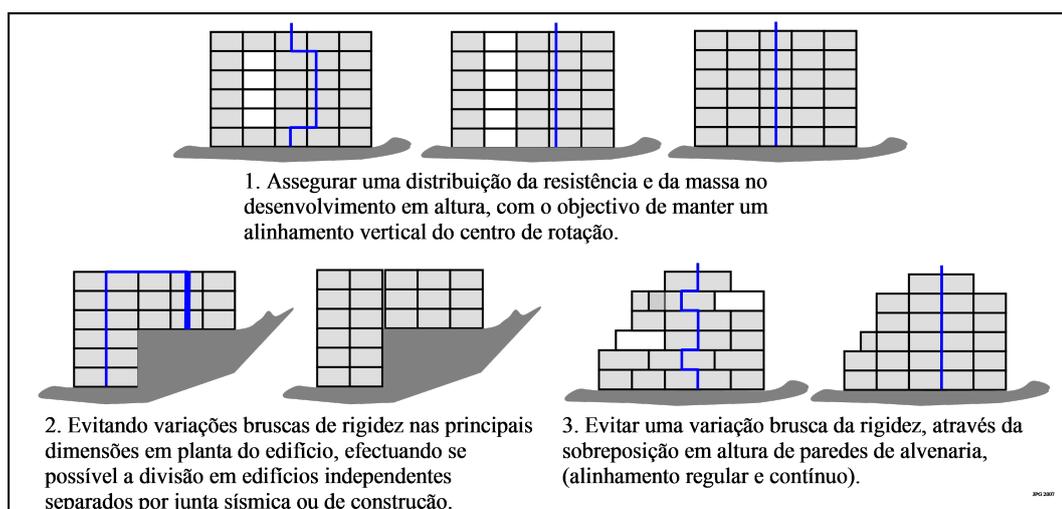


Figura 3.17: Regras de desenvolvimento em altura para a conceção estrutural de edifícios. (Adaptado, Vasconcelos *et al.*, 2007)

Segundo o EC6, a altura efetiva de uma parede resistente deve ser avaliada tendo em conta a rigidez relativa dos elementos estruturais ligados à parede, bem como à eficácia das ligações.

Uma parede deverá ser contraventada, não só por pavimentos e paredes transversais criteriosamente colocadas, mas também por quaisquer outros elementos de rigidez comparável, aos quais a parede esteja ligada.

As paredes poderão ser consideradas como contraventadas num bordo vertical, quando não se preveja fissuração entre a parede e o seu elemento de contraventamento. Este facto é assegurado pela construção simultânea dos dois panos de parede com materiais de características físicas e mecânicas equivalentes e sejam solicitadas de forma similar. Para um adequado comportamento do conjunto das duas paredes considera-se recomendável a não ocorrência de movimentos diferenciais, contribuindo para isso adotar medidas de reforço da ligação por meio de grampos, ligadores ou outros dispositivos similares. Para tal recomenda-se a realização do cálculo de esforços de tração e de compressão da ligação entre panos de parede.

De acordo com EC6, as paredes de contraventamento exigem um comprimento mínimo de  $1/5$  da sua altura livre, assim como uma espessura mínima não inferior a 0,3 vezes a espessura efetiva da parede a ser contraventada. Se estas paredes tiverem aberturas, o comprimento mínimo de parede entre aberturas, em torno da parede a contraventar, deverá ser obtido conforme o indicado na figura 3.18, e a parede de contraventamento deverá estender-se por uma distância não inferior a  $1/5$  da altura do pé direito do piso para além de cada abertura.

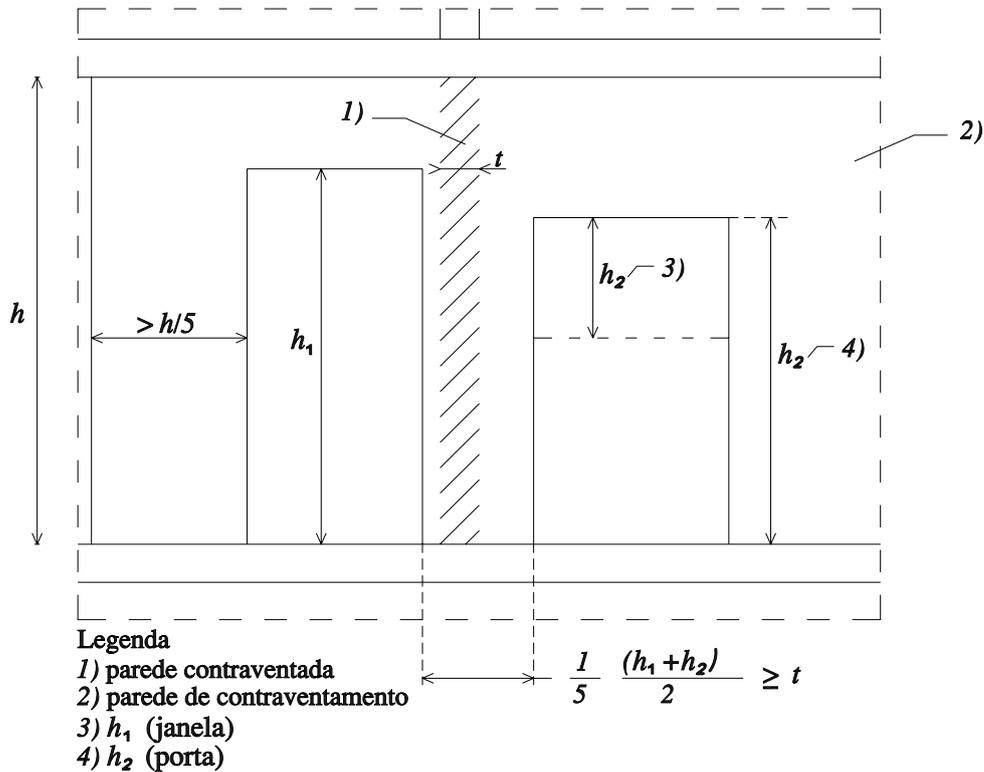


Figura 3.18: Regras de análise do comprimento mínimo de uma parede de contraventamento com aberturas. (Adaptado, EN 1996-1-1+A1, 2013)

### 3.5.2 Modulação estrutural

Para a elaboração da modulação estrutural foi considerada uma malha quadriculada (figura 3.19) de múltiplos de 20 cm. Este valor é definido pela espessura do bloco BEST<sup>®</sup> que corresponde à metade do seu comprimento. Assim, realiza-se o ajuste da planta estrutural com a planta de arquitetura, conciliando dimensões de paredes, vãos de janelas e portas, definindo procedimentos de travamento de blocos entre fiadas, conforme é apresentado na figura 3.20. Este sistema modular evita desperdícios e cortes nas unidades de alvenaria na fase de construção.

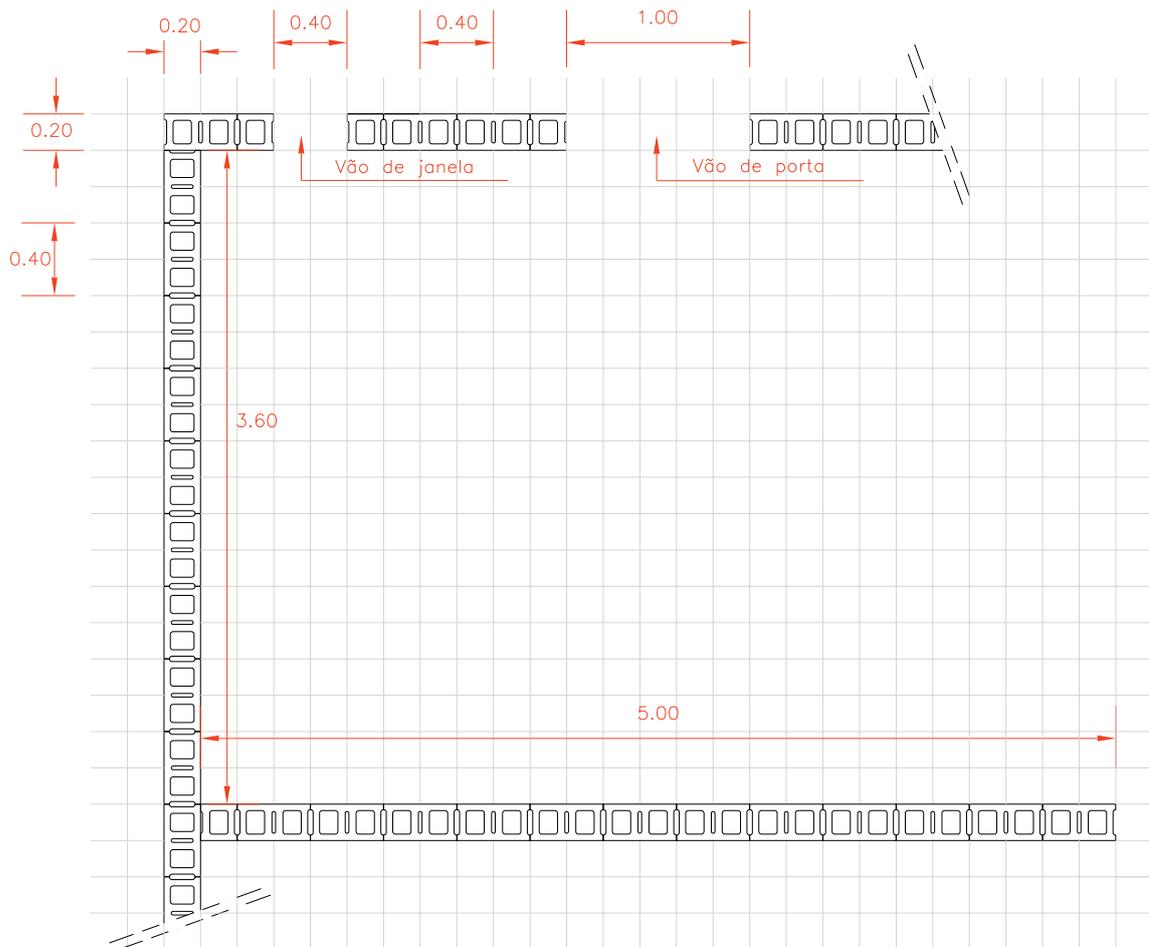
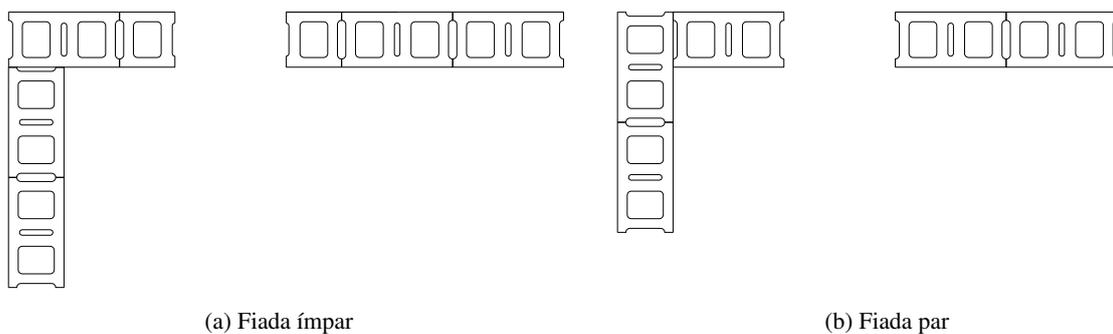


Figura 3.19: Malha quadriculada (0.20 × 0.20 m)



(a) Fiada ímpar

(b) Fiada par

Figura 3.20: Esquema de fiadas

O procedimento de modulação em alvenaria exige que o projeto de execução apresente pormenores das plantas de fiadas ímpar e par, sendo essas fiadas devidamente numeradas. Algumas fiadas repetem-se num mesmo piso, o que não impede que o projeto de execução seja composto por numerosas páginas.

Para tornar o projeto intuitivo e de fácil leitura deve ser apresentado um índice de folhas (figura 3.21) identificativas da seqüência construtiva a adotar e com esquemas de pormenorização a seguir, tais como: plantas de representação de fiadas, cortes de paredes com indicação da numeração das fiadas, disposições construtivas, pormenores de colocação de armaduras e alçados.

Índice de Folhas
Folha 0 a 8 - Fundações e pormenores até ao piso 0
Folha 9 a 20 - Paredes e pormenores do piso 0 ao piso 1
Folha 21 a 32 - Paredes e pormenores do piso 1 ao piso 2
Folha 33 a 41 - Paredes e pormenores do piso 2 até cobertura
Folha 42 a 45 - Alçados e pormenores em cortes transversais
Folha 46 a 56 - Paredes, alçados e pormenores da área da garagem

Figura 3.21: Índice de folhas

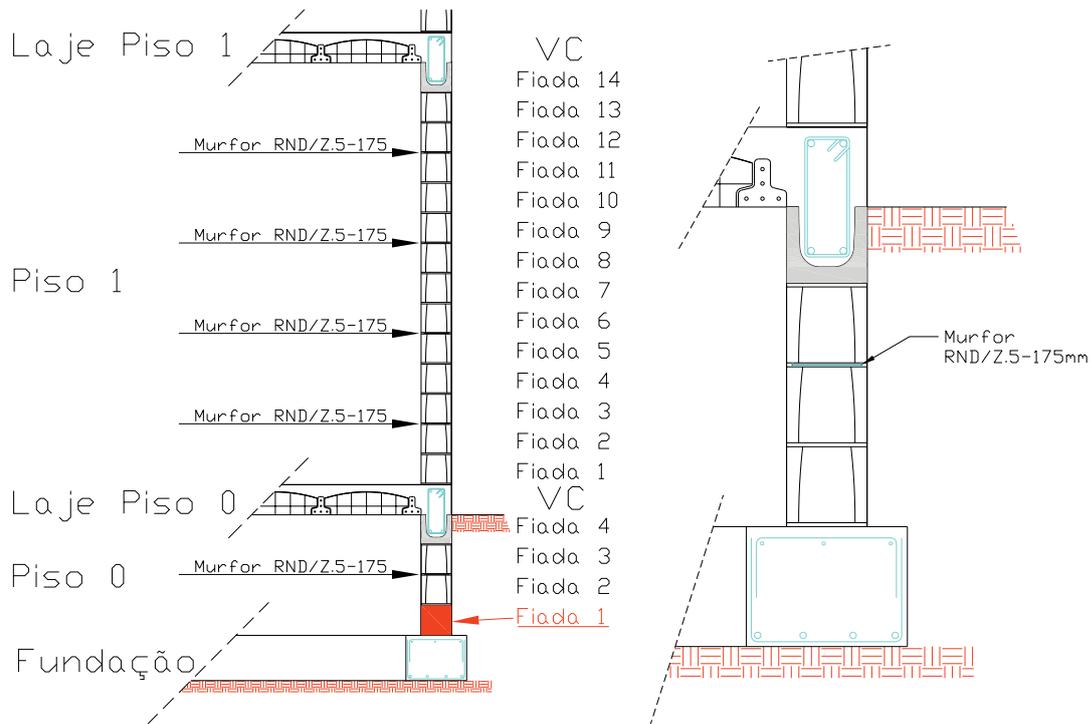


Figura 3.22: Perfil identificativo de fiada

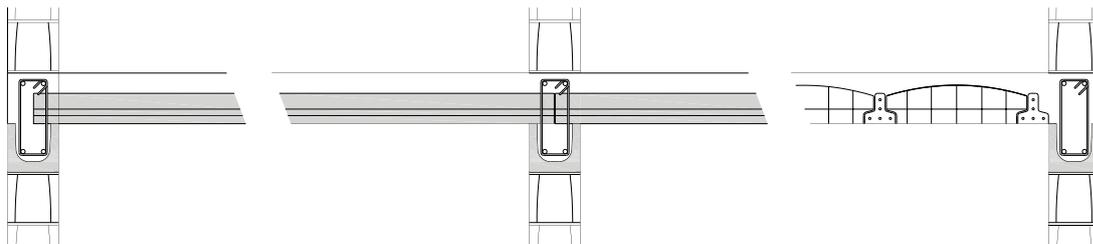


Figura 3.23: Pormenores de entrega das lajes

Houve a necessidade de criar um sistema de eixos, nas várias plantas de todas as paredes do edifício, como se apresenta na figura 3.24. Assim, desta forma é possível identificar as paredes em outros planos (alçados), como se apresenta na figura 3.25.

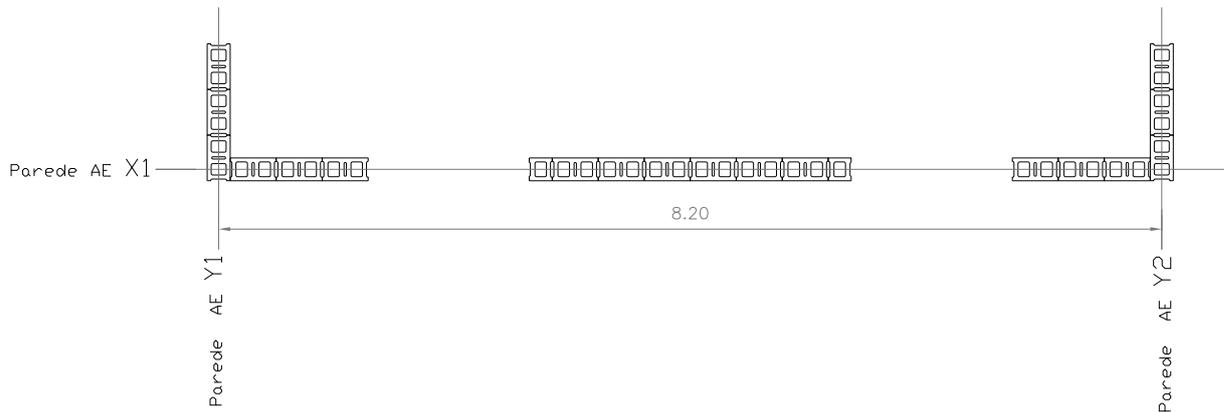


Figura 3.24: Eixos X e Y

Incluiu-se na figura 3.25 (dir.) um perfil representativo da configuração da parede na zona da caixa de estores, onde é evidente o posicionamento das vigas lintel (3.28 (b)) e vigas cinta (3.28 (d)), também representa a forma encontrada para colocação da caixa de estores com descrição detalhada no ponto 3.6.6.

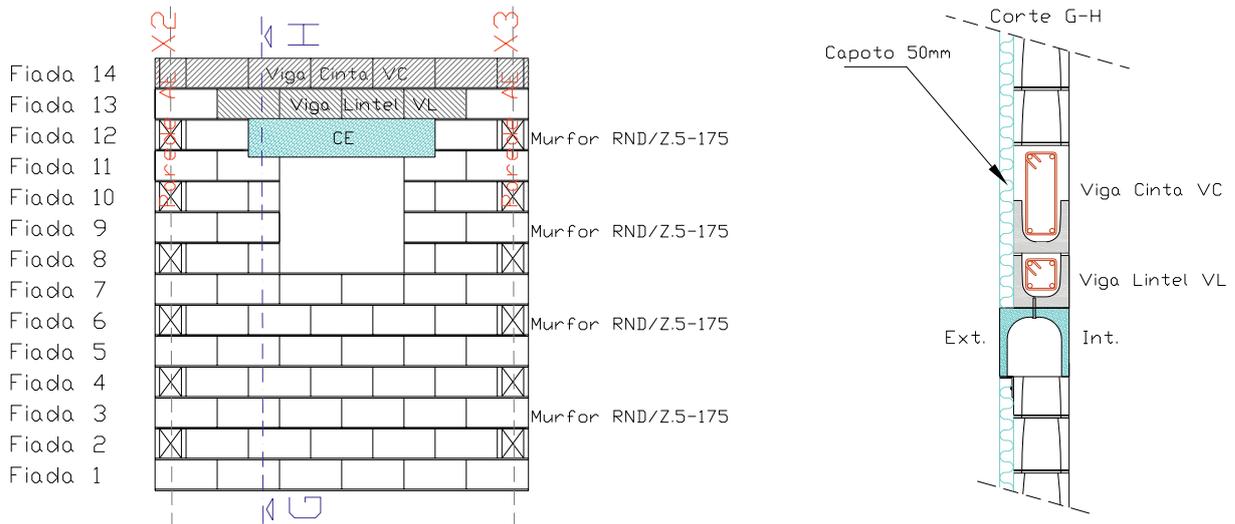


Figura 3.25: Representação da parede em alçado com posicionamento da armadura (esq.), perfil (dir.)

No anexo B apresenta-se uma sequência resumida da conceção modular do edifício, elaborada para o projeto de execução e para na fase de construção da moradia. O projeto contém 56 *folhas* de peças desenhadas, sendo apresentadas em anexo algumas dessas folhas de forma a demonstrar a pormenorização recomendada e a esquematização gráfica em projeto. Assim, apresenta-se a título de exemplo, a composição de peças desenhadas necessárias para um projeto de AE:

- Plantas de: fundações, fiadas pares, fiadas ímpares, fiadas de lintel e distribuição das lajes;
- Alçados das paredes e fachadas;
- Cortes.

### 3.5.3 Concepção estrutural da solução em AE

Na figuras seguintes apresentam-se vários tipos de elementos estruturais utilizados na construção em alvenaria estrutural, nomeadamente a sapata de fundação (figura 3.26 (a)), a laje da varanda (figura 3.26 (b)), a laje de escada (figura 3.27), as vigas de lintel (figura 3.28) e as vigas cinta (figura 3.29).

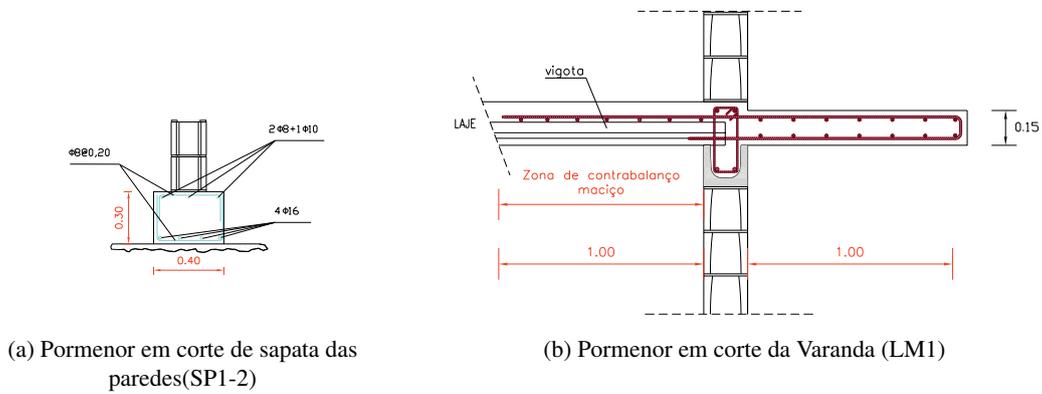


Figura 3.26: Pormenor estruturais da solução em AE

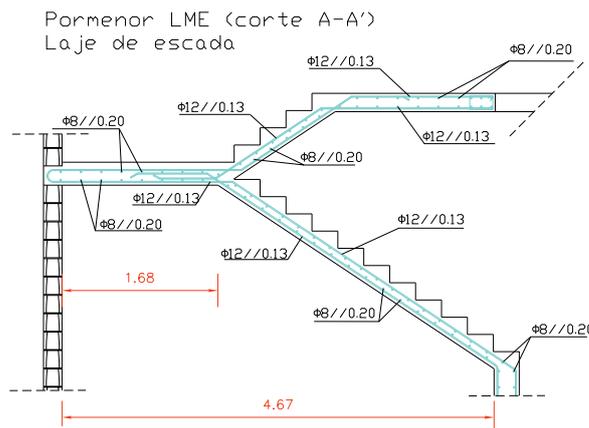


Figura 3.27: Pormenor de laje de escada da solução em AE

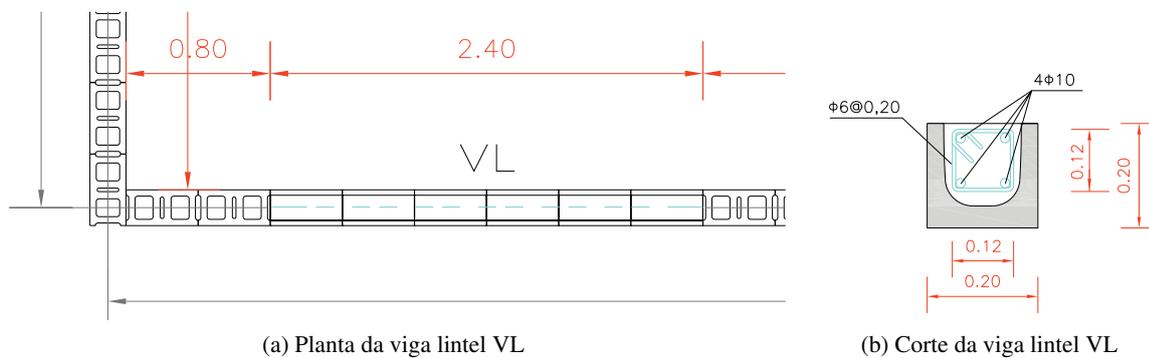


Figura 3.28: Pormenores de vigas de lintel VL da solução em AE

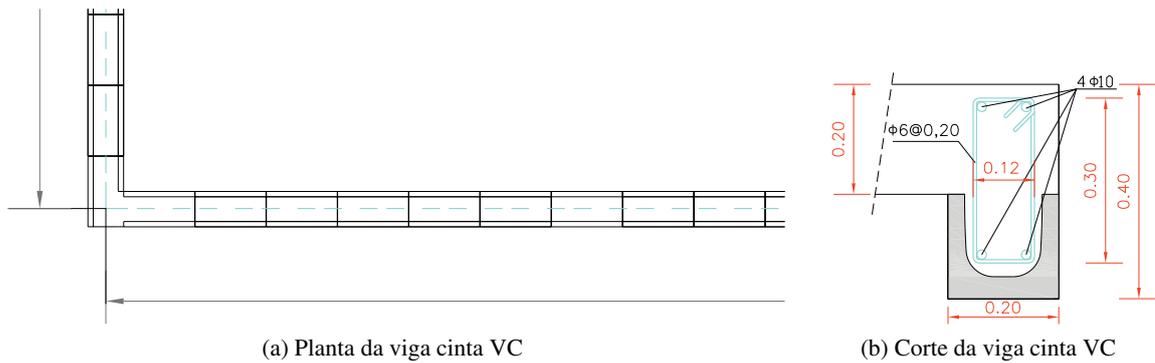


Figura 3.29: Pormenores de vigas cinto VC da solução em AE

De seguida, é apresentado o registo fotográfico obtido na fase de construção da moradia em alvenaria estrutural do caso de estudo. As imagens apresentam de forma sequencial de quatro processos de execução de trabalhos. Estes são: execução de fundações, assentamento de alvenarias, execução de laje de escadas e lajes aligeiradas.



(a) Implantação do edifício marcação das fundações



(b) Abertura de fundações



(c) Colocação de armaduras (canto)



(d) Colocação de armaduras (interceção)



(e) Armaduras



(f) Betonagem

Figura 3.30: Processo de execução de Fundações contínuas da solução em AE



(a) Assentamento da primeira fiada (ímpar)



(b) Assentamento da segunda fiada (par)



(c) Colocação da armadura pré-fabricada envolvida em argamassa



(d) Assentamento da fiada em bloco lintel



(e) Execução de vias lintel dos vãos



(f) Betonagem da viga lintel da torça

Figura 3.31: Processo de assentamento de alvenaria da solução em AE



(a) Armaduras de arranque da escada



(b) Distribuição das armaduras do lanço de escadas



(c) Distribuição das armaduras do patamar das escadas



(d) Escoramento da cofragem da escada



(e) Colocação da cofragem dos degraus



(f) Betonagem

Figura 3.32: Processo de execução da laje de escada da solução em AE



(a) Fiada de lintel em fase de receber armadura



(b) Colocação das armaduras na fiada de lintel



(c) colocação de vigotas e Abobadilhas



(d) Distribuição da armadura da varanda com amarração na laje



(e) Colocação da armadura de distribuição



(f) Humedecimento da área a betonar



(g) Betonagem de laje com recurso a equipamento de bombagem



(h) Betonagem de laje



(i) Hidratação do betão na fase de cura

Figura 3.33: Processo de execução das lajes aligeiradas da solução em **AE**

### 3.6 Fase de construção e definição dos materiais de construção

Neste ponto apresenta-se uma caracterização dos materiais mais relevantes utilizados na conceção do edifício que serviu de base para o caso de estudo, seguindo as recomendações impostas pela legislação vigente.

#### 3.6.1 Betão

O betão é um material formado pela mistura de cimento, agregados, água, adjuvantes e adições (ex. cinzas volantes).

O dimensionamento do betão armado regeu-se segundo as especificações preconizadas nas normas ([NP EN 1992-1-1+AC, 2012](#)), (secção 3.3 [EN 1996-1-1+A1, 2013](#)) e ([NP EN 13670, 2011](#)). Assim obteve-se um betão  $C20/25;XC 1(P);CL 0,20;D_{max} 22.S3$ , que está em conformidade com a norma ([NP EN 206-1, 2010](#)). Utilizou-se este tipo betão em todos os elementos estruturais, nomeadamente nas fundações, vigas de lintel, vigas cinta e lajes. No entanto, nas fundações houve a necessidade de utilizar um adjuvante hidrófugo, segundo as prescrições da norma ([NP EN 934-2+A1, 2012](#)), por forma a melhorar as características do betão.

As razões da escolha da classe de consistência  $S3$  deveram-se à possibilidade do betão ser bombeado (figura 3.34 (b)), e à recomendação citada na norma ([EN 1996-2+AC, 2009](#)), que refere a trabalhabilidade e preenchimento de todos os espaços internos definidos pelos materiais que compõem a laje e as vigas.



(a) Camião de transporte de Betão



(b) Equipamento de bombagem de betão

Figura 3.34: Betão pronto

- Recomendações de aplicação do betão:
  - Antes do início da betonagem deverá:
    - \* Garantir-se tanto quanto possível que as cofragens se encontrem isentas de detritos (seradura e pedaços de madeira);
    - \* Proceder-se à aplicação de óleo descofrante nas cofragens;
    - \* Garantir-se o recobrimento das armaduras, recorrendo a calços se for necessário conforme mostra a figura 3.35 (b);

- \* Promover-se uma eficiente molhagem das zonas de betonagem, para promover a aderência entre as superfícies a betonar e o betão pronto (ver figura 3.35 (a)).
- Durante a betonagem deverá:
  - \* Ser garantida uma eficiente vibração e compactação do betão;
  - \* Garantir-se um adequado espalhamento, nivelamento e alisamento das superfícies, conforme a figura 3.35 (c);
  - \* Ser verificado o comportamento das cofragens;
  - \* Promover-se rugosidade nas zonas de continuidade dos elementos estruturais, deixando a superfície do betão fresco irregular nessas zonas.
- Durante o processo de cura após a betonagem deverá:
  - \* Pulverizar-se a superfície recém-betonada com um produto tipo Antisol<sup>®</sup>, para proporcionar uma cura perfeita, protegendo contra a desidratação descontrolada e consequente fissuração do betão;
  - \* Garantir-se uma eficiente hidratação das superfícies betonadas, durante a fase de cura do betão.



(a) Molhagem das zonas a betonar



(b) Recobrimento das armaduras



(c) Espalhamento e regularização

Figura 3.35: Betonagem

## 3.6.2 Armaduras

### 3.6.2.1 Armadura em varões nervurados

Considerou-se a aplicação, em fase de projeto, do aço *A400 NR* com as características físicas e mecânicas referidas na figura 3.36 (a), em conformidade com a norma ([EN 10080, 2005](#)) e especificação ([LNEC E 449, 2010](#)).

AÇO PARA ARMADURAS	
Designação	A400 NR
Processo de Fabrico	LAMINADO QUENTE (N)
Superfície	RUGOSA (R)
Características	
ESPECIFICAÇÃO LNEC	E 449
VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DA TENSÃO DE CEDÊNCIA Re (Mpa)	400
EXTENÇÃO TOTAL NA FORÇA MÁXIMA Agt (%)	5
EXTENÇÃO APÓS ROTURA Agt (%)	-



(a) Características físicas e mecânicas do aço

(b) Varões de aço



(c) Armadura da viga cinta

Figura 3.36: Aço (Chagas, 2011)

### 3.6.2.1.1 Recomendações de concepção e aplicação

- Recomendações de concepção e aplicação das armaduras:
  - Respeitar os diâmetros das armaduras de projeto;
  - Aconselha-se a aplicação de ponto cruzado (figura 3.37 (a)) em detrimento do ponto simples (figura 3.37 (b)), uma vez que assegura uma maior resistência de ligação durante o transporte e na fase da aplicação, colocação e betonagem;
  - Garantir-se homogeneidade nos espaçamentos dos estribos das armaduras (ver figura 3.36 (c));
  - Realizar-se um reforço das armaduras de viga cinta na zona dos cantos e interseções entre vigas, conforme as figuras 3.38 (a), (b) e (c).

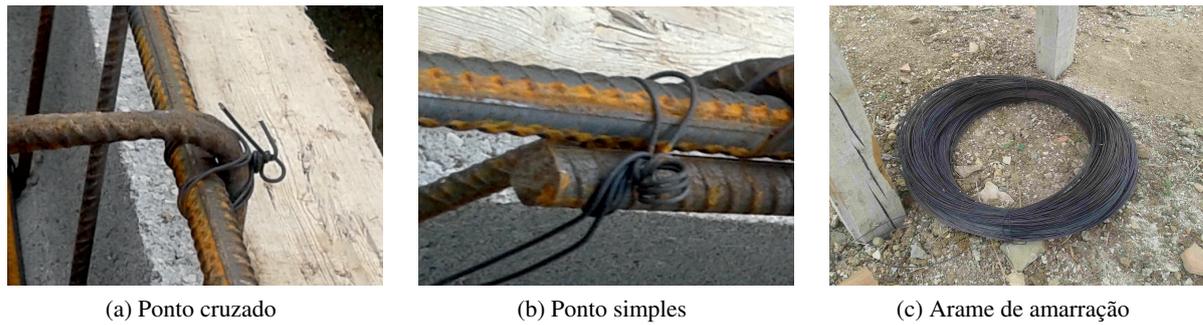


Figura 3.37: Amarração das armaduras

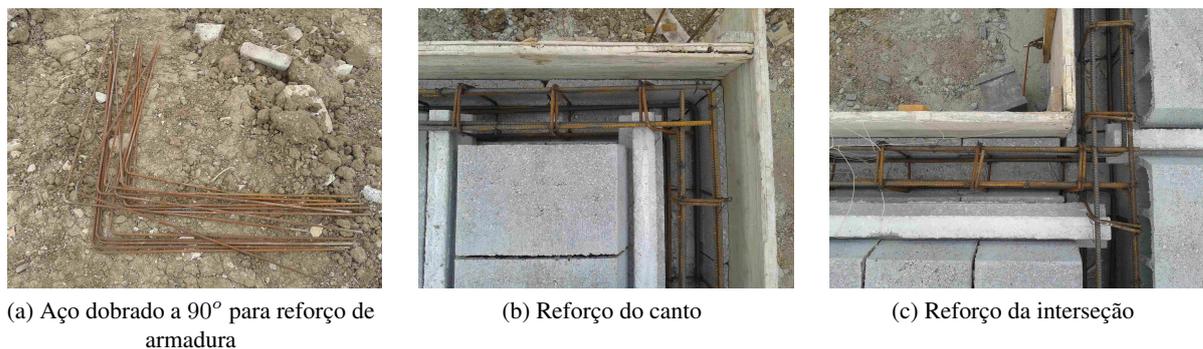


Figura 3.38: Reforço das armaduras

### 3.6.2.2 Armadura pré-fabricada em aço galvanizado

Seguindo as disposições da secção 3.4.2 da norma (EN 1996-1-1+A1, 2013), conforme o definido em projeto, foram aplicadas em juntas de assentamento de blocos as armaduras de junta Murfor<sup>®</sup> RNDZ 5/175, em aço galvanizado A550, produzidas pela empresa Bekaert<sup>®</sup> (figura 3.39). Esta Armadura é formada por dois fios de aço longitudinais paralelos de 5 mm de diâmetro, ligados entre si por outro de 3,75 mm diâmetro em forma sinusoidal electrosoldado em todos os pontos de contacto, formando um plano único com um comprimento de 3050 mm e largura de 175 mm, estando em conformidade com a norma (EN 845-3+A1, 2009) e a certificação (ISO 9001, 2008).

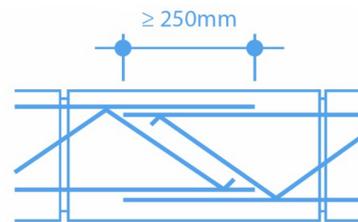
Figura 3.39: Armadura Murfor<sup>®</sup>RNDZ 5/175

- Recomendações de aplicação da armadura pré-fabricada:

- Realizar o corte e dobragem da armadura, para aplicação nos cantos, conforme o representado na figura 3.40 (a);
- Garantir que a sobreposição (emenda) da armadura seja  $\geq 25 \text{ cm}$ , conforme a representação da figura 3.40 (b), e de acordo com as disposições construtivas definidas pela empresa fornecedora (que estão em sintonia com as recomendações normativas (EN 1996-1-1+A1, 2013) e (EN 845-3+A1, 2009));
- Garantir uma distância uniforme do recobrimento da armaduras, conforme a representação da figura 3.40 (c);
- Seguir a sequência de colocação apresentada da figura 3.41 (a) ( primeiro a argamassa - fase 1, em seguida a armadura oscilando-a de forma a ficar embebida na argamassa - fase 2, e posteriormente o assentamento do bloco da fiada seguinte - fase 3).



(a) Dobragem da armadura a 90°



(b) Emenda



(c) Recobrimento. Adaptado, (Alvest, 2013)

Figura 3.40: Armadura

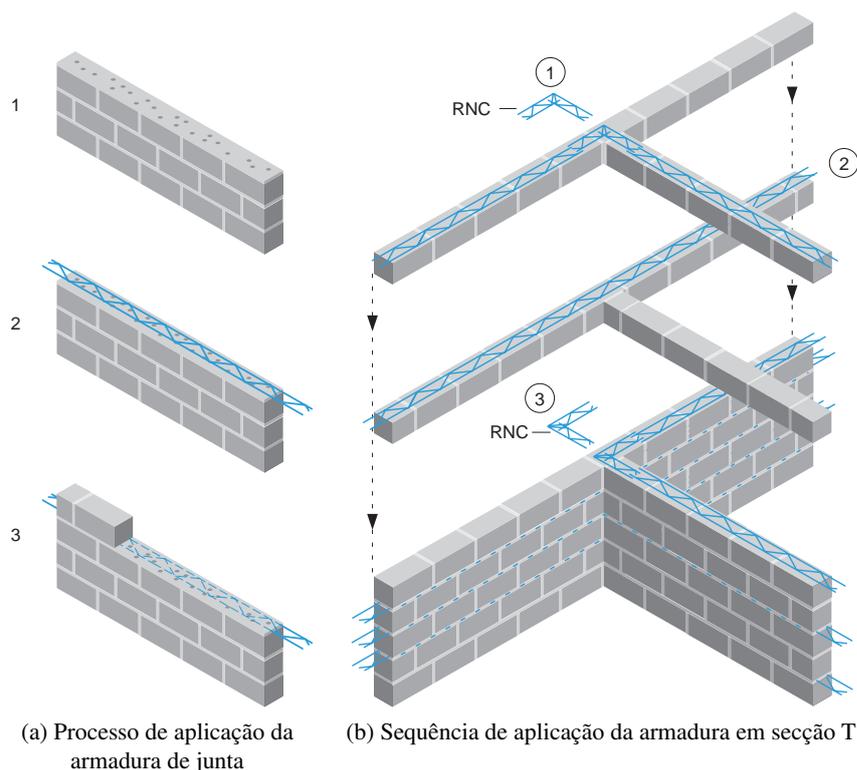


Figura 3.41: Processos de aplicação da armadura de junta (Adaptado, Murfor, 2013)

### 3.6.2.3 Armadura treliçada de distribuição

A armadura de distribuição a colocar na laje de compressão, foi definida na fase de projeto, tendo sido utilizada “malha-sol” CQ38 em todas as lajes do edifício. Esta “malha-sol” (figura 3.42) é definida por uma malha quadrada ( $100 \times 100 \text{ mm}^2$ ) constituída por fios de aço do tipo A500 de  $\varnothing 3.8 \text{ mm}$  de diâmetro eletrossoldados perpendicularmente entre si, sendo fornecida em rolos de  $50 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ .

- Recomendações de aplicação de “malha-sol”:
  - A armadura de distribuição “malha-sol” deve ficar bem esticada sem enfoliar (deve ser fixada com arame à viga cinto de uma extremidade da laje desenrolada, esticada e fixada ao outro extremo da laje e nas laterais);
  - Deve garantir que a sobreposição (emenda) da armadura seja pelo menos  $25 \text{ cm}$ , conforme a representação da figura 3.42 (c);
  - Deve garantir adequada amarração (figura 3.42 (d)) com arame em todas emendas, por forma que esta não levante durante a fase de betonagem, espalhamento, regularização e nivelamento do betão.



(a) Rolo de armadura de distribuição “malha-sol”

(b) Armadura de distribuição *in situ*

(c) Aplicação da armadura de distribuição



(d) Pormenor de amarração da armadura de distribuição

Figura 3.42: Armadura de distribuição “malha-sol” CQ36

### 3.6.3 Argamassa

Foi utilizada argamassa pré-doseada de assentamento de alvenaria com a designação comercial “Alvenaria M10”, fornecida pela empresa Secil<sup>®</sup> Argamassas (figura 3.43). A argamassa é formulada a partir de ligantes hidráulicos, agregados calcários e siliciosos e com aditivos, sendo as suas características referidas no quadro 3.1. Neste quadro referem-se ainda as normas que regulamentares aplicáveis a cada característica. Relativamente às disposições de colocação e assentamento em fase de construção são referidas as disposições regulamentares na secção 3.2 da norma (EN 1996-1-1+A1, 2013).

- Recomendações na conceção e aplicação da argamassa:
  - A preparação da argamassa deve ser executada com recurso a uma betoneira ou uma misturadora, respeitando sempre a adição de água recomendada pelo fabricante utilizando um balde graduado ou com uma marca de identificação do volume de água a misturar (para assegurar iguais volumes de amassadura entre diferentes misturas);
  - Relativamente à sua aplicação deve ser feito o humedecimento prévio dos blocos, através da molhagem da paleta de blocos, mantendo-os com o teor de humidade o mais constante

possível. Assim como a molhagem integral dos blocos no momento do assentamento, a fim de evitar uma rápida desidratação da argamassa o que reduz a sua resistência;

- Após a conclusão da parede, recomenda-se que esta seja hidratada várias vezes ao dia, de modo a que o endurecimento e ganho de resistência de adesão argamassa/bloco seja, tanto quanto possível, assegurado.

Quadro 3.1: Características da argamassa, (Adaptado, [Argamassas, 2013](#))

<b>Produto em pó</b>	<b>valor</b>	<b>Norma</b>
Granulometria ( <i>mm</i> )	< 3.5	-
Cloretos solúveis em água (%)	≤ 0.02	-
<b>Produto em pasta</b>	<b>valor</b>	<b>Norma</b>
Água de amassadura (%)	11.0 ± 0.5	-
Tempo aberto ( <i>mm</i> )	≥ 90	EN 1015 – 19
Ar contido (%)	≤ 15	EN 1015 – 7
<b>Produto endurecido após 28dias</b>	<b>valor</b>	<b>Norma</b>
Massa volúmica ( $kg/m^3$ )	1900 - 2000	EN 1015 – 10
Resistência à compressão ( $N/mm^2$ )	≥ 10	EN 1015 – 11
Permeabilidade ao vapor de água ( $\mu$ )	15/35	EN 1015 – 10
Reação ao fogo ( <i>Classe</i> )	A1	EN 998 – 2
Condutibilidade térmica ( $W/m.K$ )	1.17 ( $P = 50\%$ )	EN 1745
	1.28 ( $P = 90\%$ )	



(a) Saco de argamassa M10



(b) Equipamento de mistura da argamassa (betoneira)

Figura 3.43: Argamassa M10 Secil® (Fonte, [Argamassas, 2013](#)) e equipamento de mistura (Fonte, [João, 2013](#))

### 3.6.4 Sistema de alvenaria com unidades de betão

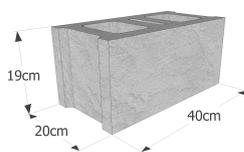
Este sistema denominado BEST<sup>®</sup> é um sistema otimizado na sua geometria e dimensão por forma a facilitar o processo de fabrico, bem como o seu manuseamento e aplicação na fase de assentamento em obra. Este sistema é composto por três elementos: o bloco, bloco metade e lintel (figura 3.44). Pretende-se, entre outras coisas, com este sistema, minimizar a produção de *Resíduos de Construção e Demolição (RCD)* que são praticamente nulos devido à inexistência de roços.

O bloco BEST<sup>®</sup> foi concebido segundo as recomendações da secção 3.1 da norma (EN 1996-1-1+A1, 2013), cumprindo o definido para a especificação do produto pela norma (NP EN 771-3, 2012).

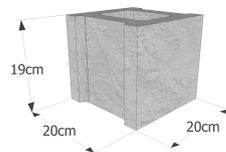
O quadro 3.2 resume as principais características do bloco BEST<sup>®</sup>.

Quadro 3.2: Parâmetros físicos e mecânicos do bloco BEST<sup>®</sup> (Grilo *et al.*, 2012)

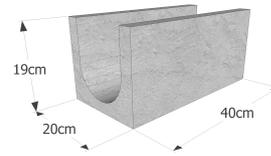
<b>Dimensões</b>	400 × 200 × 190	[mm]
<b>Massa volúmica aparente</b>	1670	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Furação</b>	45	[%]
<b>Absorção de água</b>	8.2	[%]
<b>Resistência à compressão (área bruta)</b>	5.9	[MPa]
<b>Resistência à compressão (área efetiva)</b>	12.4	[MPa]



(a) Dimensões Bloco BEST<sup>®</sup>



(b) Dimensões Bloco metade



(c) Dimensões Bloco lintel



(d) Fotografia Bloco BEST<sup>®</sup>



(e) Fotografia Bloco metade



(f) Fotografia Bloco lintel

Figura 3.44: Elementos do sistema bloco BEST<sup>®</sup>

- Recomendações de aplicação do bloco BEST<sup>®</sup>:
  - Garantir a sua verticalidade através do fio de prumo (figura 3.45 (a)) ou outra opção, bem como o nivelamento com a utilização de nível laser (figura 3.45 (b));
  - Garantir o alinhamento (figura 3.45 (c)) sem ressalto entre blocos, colocando-os o mais uniforme possível recorrendo ao apoio de fios e réguas;

- Os blocos devem ser assentes na posição correta, ou seja, com os septos de maior espessura virados para cima.



(a) Verticalidade ou aprumo



(b) Nivelamento



(c) Alinhamento de fiada lintel



(d) Pormenor de corte do lintel a 45°

Figura 3.45: Assentamento de alvenaria com o sistema BEST®

### 3.6.5 Unidades de laje aligeirada

A laje aligeirada é constituída pelos seguintes elementos: vigotas pré-esforçadas, abobadilhas, betão de enchimento, armadura transversal e armadura de distribuição. Esta desempenha a funções de piso e de travamento horizontal da estrutura em conjunto com as vigas periféricas (vigas cinta). As lajes aligeiradas são dimensionadas segundo as premissas da secção 10 da norma ([NP EN 1992-1-1+AC, 2012](#)) e com recurso a programas informáticos disponibilizados pela empresa fabricante.

Este sistema é frequentemente utilizado em Portugal dado os seus aspetos económico, construtibilidade e de versatilidade.

#### 3.6.5.1 Vigotas pré-esforçadas

As vigotas de betão pré-esforçado (figura [3.47](#)) são elementos pré-fabricados em unidades industriais. No seu processo de fabrico são asseguradas as condições atmosféricas ideais, sendo utilizado betão da

classe  $C35/45$ , produzido com cimento tipo CEM II/A L 42,5 R e utilizando armaduras compostas por vários fios de aço. No dimensionamento das lajes aligeiradas foram definidas vigotas do tipo P1 e P2 (figura 3.47) para utilização nas lajes da moradia caso de estudo.

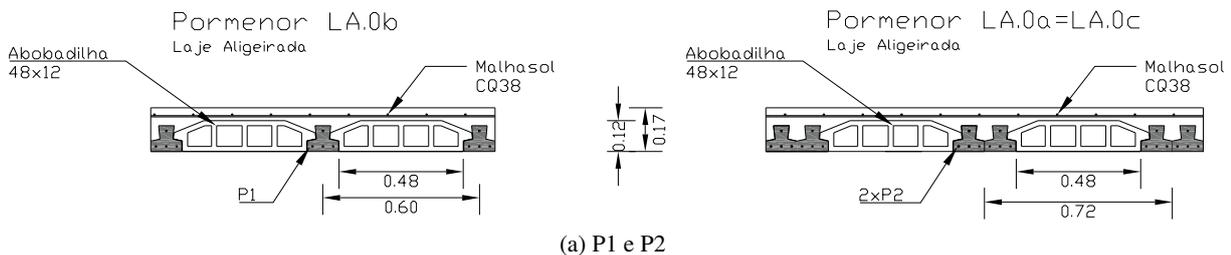
A produção destes pré-fabricados são regulados segundo as prescrições da norma (NP EN 15037-1, 2008) e as especificações (LNEC E 435, 2012) até à E 442.



(a) Processo de colocação

(b) Pormenor de entrega mínima

Figura 3.46: Vigotas de laje aligeirada



(a) P1 e P2

Figura 3.47: Pormenor do tipo de laje

- Recomendações de aplicação das vigotas pré-fabricadas:
  - Como a colocação das vigotas é feita antes das abobadilhas (figura 3.46 (a)), deve ser garantida uma folga suficiente entre a vigota e a abobadilha para que seja possível a aplicação das abobadilhas à posteriori;
  - Deve garantir-se pelo menos 100 mm de entrega mínima de encastramento na viga cinta (figura 3.46 (b)).

### 3.6.5.2 Blocos de cofragem (Abobadilhas)

Os blocos de cofragem utilizados no caso de estudo são fabricados com betão de agregados leves que cumprem as prescrições da norma (NP EN 15037-2+A1, 2013) e as especificações (LNEC E 442, 1995) até à E444. De acordo com informação da empresa fornecedora a sua geometria varia consoante o tipo de laje, tendo sido preconizado em fase de projeto a aplicação de blocos de cofragem “48 × 12” com as seguintes dimensões: 48 cm de comprimento, 25 cm de largura e 12 cm de altura.



Figura 3.48: Blocos de cofragem

### 3.6.5.3 Sistema de reforço transversal (Tarugo)

O tarugo é um sistema de reforço transversal da laje que tem como objetivo reforçar as lajes aligeiradas relativamente ao esforço transversal e de flexão na zona central das mesmas. O tarugo é feito através de uma nervura longitudinal (figura 3.49) constituída por betão corrente reforçado com varões nervurados, que são convenientemente fixados nos extremos da laje aos elementos de bordadura. A fase de betonagem da lâmina de compressão assegura o envolvimento destas armaduras de forma uniforme e simultânea com a restante execução da laje.

- Recomendações de conceção do reforço transversal, segundo as preconizações do [EC2](#):
  - Garantir que os tarugos serão dispostos com afastamentos entre si não superiores a 2 m;
  - Garantir pelo menos 100 mm de espaço livre entre os blocos de cofragem na zona do tarugo;
  - Garantir espessuras mínimas de 40 mm (dependendo do caso) para a lâmina de compressão;
  - Garantir os comprimentos de amarração das armaduras dos tarugos nas emendas e nos elementos de bordadura;
  - Promover uma eficiente vibração e compactação do betão destes elementos.



Figura 3.49: Representação do tarugo

### 3.6.6 Caixas de estore

A caixa de estore apesar de não ter função estrutural na análise do comportamento do edifício, foi contabilizada no caso de estudo, porque tem um papel importante na eficiência térmica e acústica. Esta foi fabricada em EPS, reforçada com aço de 4 mm e revestida com aglomerado de fibras de madeira. A sua parte inferior apresenta-se com perfis de alumínio que servem de suporte para o reboco e conferem resistência à flexão do elemento. Os topos laterais são de *Policloreto de Vinilo (PVC)* que têm a função de fechar os extremos da caixa e suportar o varão enrolador do estore (Sotecnisol, 2013).

Este sistema apresenta as seguintes vantagens: produto leve, fácil transporte/aplicação, características de bom isolamento e a particularidade de reduzir correntes de ar e condensações.

Devido ao facto de não serem comercializadas caixas de estore com 20 cm de espessura, foi definida uma caixa de estore 25 × 25 cm (figura 3.50 (a)) para aplicação no caso de estudo.

Por uma questão de organização de trabalho optou-se por deixar aberturas laterais (negativos) nos vãos (figura 3.50 (b)) para colocar todas as caixas de estores numa fase única após a conclusão da parte estrutural, sendo esta uma forma mais adequada na aplicação destes elementos.



(a) Caixa de estore 25 × 25 cm



(b) Aberturas deixadas para posterior colocação das caixas de estore

Figura 3.50: Pormenores da caixa de estores

- Recomendações de aplicação das caixas de estore:
  - Antes da aplicação das caixas de estore, verificar os níveis de todas as janelas e portadas para garantir que fiquem niveladas;
  - Verificar o nivelamento após o assentamento das caixas de estore;
  - Promover uma correta fixação através de buchas e parafusos nos casos de caixas de estore de maior vão.

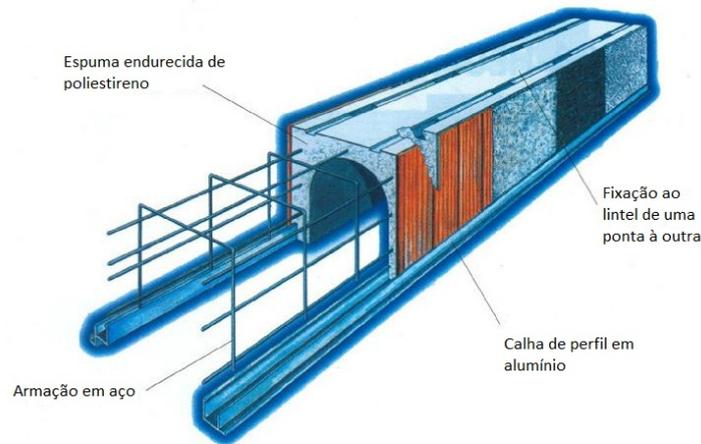


Figura 3.51: Caixa de estore tipo Sotecnisol

### 3.7 Sugestões Pessoais em concepção modular do caso de estudo

A concepção da modulação na fase de projeto revela-se muito complexa, devido essencialmente à necessidade de um estudo aprofundado de zonas específicas, nomeadamente nas interseções das fiadas (ver figuras 3.53 (a) e 3.54 (a)) que condicionam toda a formulação das mesmas. As condicionantes devem-se à utilização do sistema de alvenaria bloco BEST<sup>®</sup>, que é composto pelo bloco inteiro  $40 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  e pelo meio bloco  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  que formam uma família de duas unidades (figura 3.53 (a)).

À semelhança doutros países já se utilizam sistemas de alvenaria com três unidades de blocos alternativos (figura 3.53 (b)).

No caso de estudo foi utilizada uma configuração do tipo representado na figura 3.52 (a), sendo esta a única forma de criar travamento entre duas paredes perpendiculares com a introdução de um bloco de quatro em quatro fiadas. Este processo promove a continuidade das juntas verticais, ficando três fiadas de junta vertical corrida sem travamento, conforme pode ser constatado na figura 3.52 (a). Esta situação poderá ser solucionada com a criação de uma nova unidade de bloco, que também vai facilitar o processo na fase de concepção modular (pois evita a existência de plantas de fiada individuais, sendo apenas necessárias duas plantas, uma do tipo fiadas Ímpar e outra par, logo o projeto será reduzido substancialmente em número de folhas, tonando-se menos confuso e de melhor leitura). Outra vantagem desta solução revela-se na fase de construção, pois promove uma maior simplicidade na execução das paredes (garantindo um melhor travamento das paredes sem a existência de juntas verticais corridas (figura 3.52 (b))). A única desvantagem deste sistema é a necessidade de ter mais do que um tipo de bloco em obra.

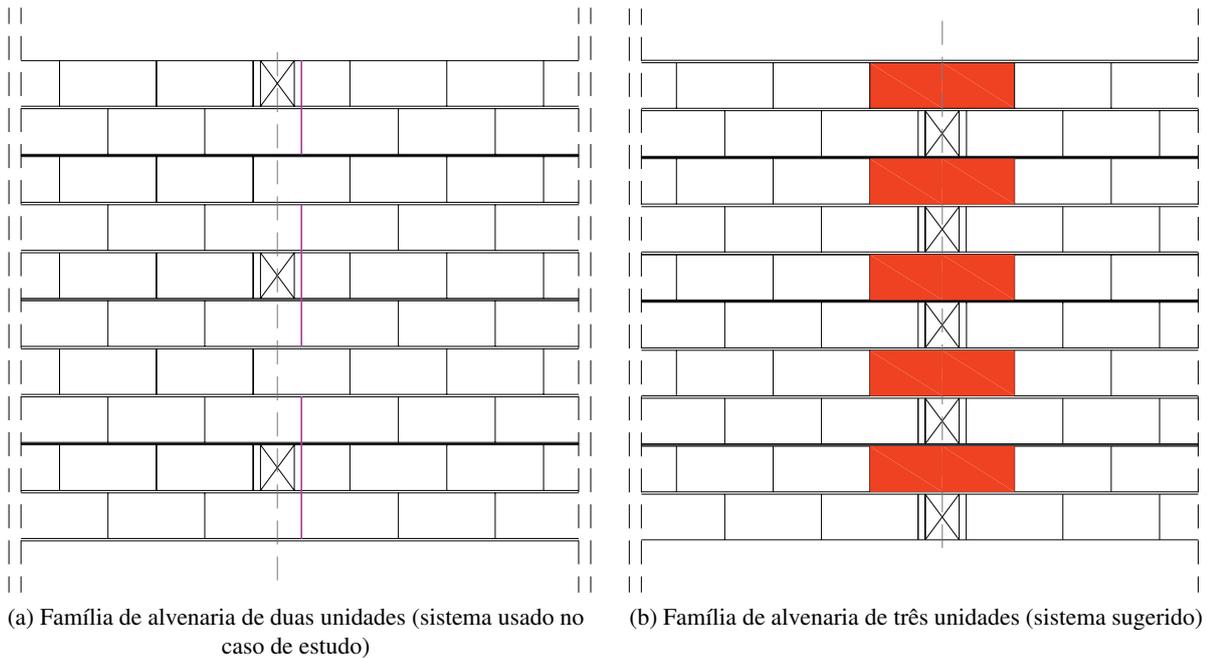


Figura 3.52: Pormenor em alçado de travamento de parede contraventada

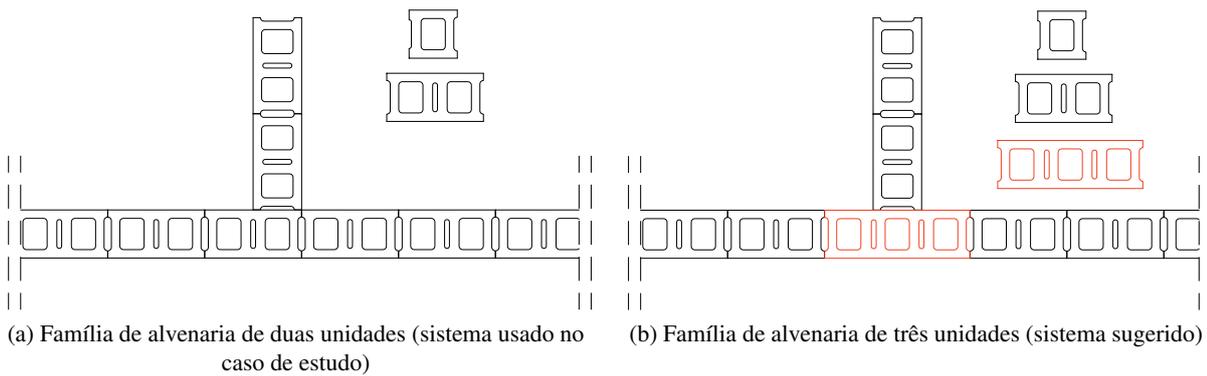


Figura 3.53: Pormenor em planta da 1ª fiada

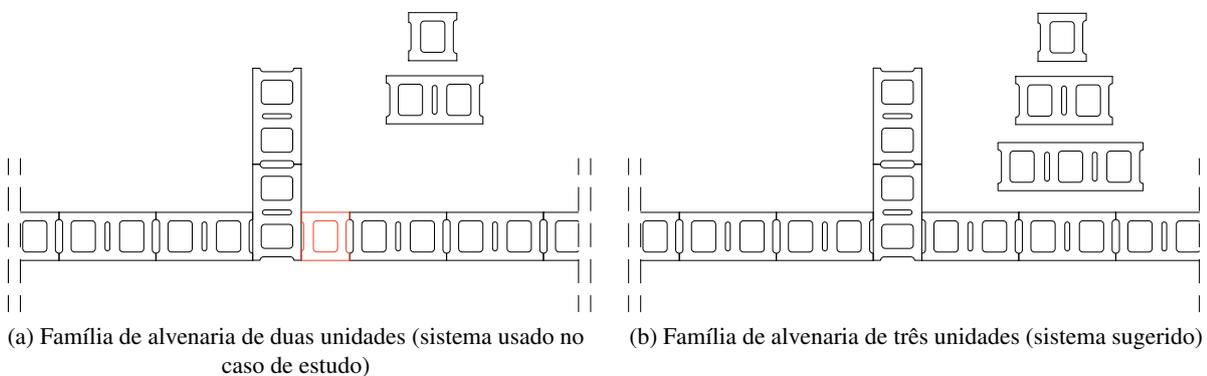


Figura 3.54: Pormenor em planta da 2ª fiada



Figura 3.55: Fotografia representativa do travamento da parede contraventada (caso de estudo)



## Capítulo 4

### Análise comparativa de soluções construtivas em BA e AE

#### 4.1 Introdução

O atual capítulo pretende apresentar uma análise comparativa em termos de custos associados à construção estrutural das soluções em BA e AE. Para a obtenção dos custos foi necessário solicitar orçamentos de construção estrutural das moradias em estudo, a empresas do ramo.

Em Portugal ainda não existe informação sobre estudos realizados com o sistema BEST<sup>®</sup>, havendo, no entanto, para o sistema de alvenaria simples resistente em blocos cerâmicos. Um desses estudos realizou uma análise comparativa entre estruturas equivalentes em BA vs. AE, no qual se concluiu que a estrutura em AE é 24% mais económica (Marques *et al.*, 2012).

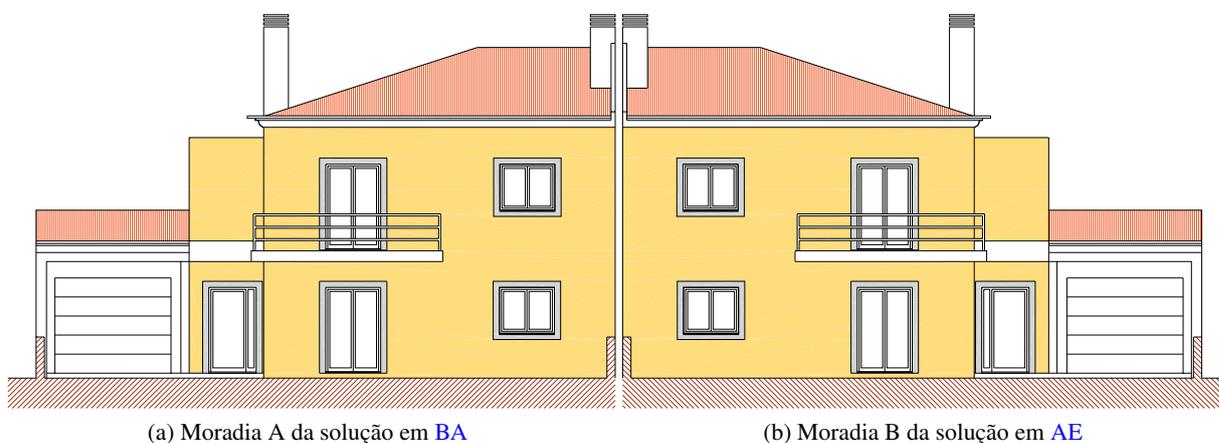


Figura 4.1: Moradias submetidas à análise comparativa das soluções construtivas em BA e AE

#### 4.2 Medições

Para efetuar um levantamento de custos gerais foi necessário realizar medições detalhas para cada uma das moradias, sendo apresentados no anexo C.1 os respetivos cálculos de medição. As medições foram executadas com base nos respetivos projetos de arquitetura e estabilidade.

Nesta avaliação os acabamentos não são incluídos, porque foram considerados iguais nas duas soluções. Portanto, este estudo incide essencialmente na comparação de custos da parte estrutural dos dois edifícios.

Assim para cada solução, foram contabilizados os seguintes artigos, para comparação:

- Moradia A, solução em BA:
  - Fundações, incluindo escavações, mão-de-obra, cofragens e materiais;
  - Estrutura porticada com muro de betão no desvão, incluindo mão-de-obra, cofragens e materiais;
  - Paredes contabilizadas na solução de AE, incluindo mão-de-obra e materiais;

- Caixas de estore, incluindo mão-de-obra e materiais;
  - Lajes, incluindo mão-de-obra, cofragens e materiais;
  - Cobertura revestida a telha, incluindo mão-de-obra e materiais.
- Moradia B, solução em AE:
    - Fundações, incluindo escavações, mão-de-obra, cofragens e materiais;
    - Apenas as paredes estruturais, incluindo mão-de-obra e materiais;
    - Caixas de estore, incluindo mão-de-obra e materiais;
    - Lajes, incluindo mão-de-obra, cofragens e materiais;
    - Cobertura revestida a telha, incluindo mão-de-obra e materiais.

A partir das medições referidas anteriormente foi elaborado um articulado para cada uma das soluções que é apresentado no anexo C.2. Cada articulado inclui todos os artigos inerentes à construção estrutural das moradias e é usado também aquando dos pedidos de orçamentação às empresas.

Durante o decorrer da construção do edifício foram feitas várias visitas à obra, nas quais se acompanharam os trabalhos e verificaram medições (autos de medição do empreiteiro) com o objetivo de comparar as mesmas com as previstas no estudo.

O articulado foi utilizado como ferramenta de aprovisionamento de todos os materiais utilizados em obra, nomeadamente na contagem de vigotas e abobadilhas e na quantificação do aço e betão, para realizar encomenda prévia.

### 4.3 Comparação das tecnologias de construção vs. benefícios económicos

Em termos de tecnologia de construção a solução em AE diferencia-se por uma redução substancial na utilização de betão, aço e cofragens, devido à inexistência de pilares e à redução das dimensões dos elementos estruturais tais como: sapatas, vigas cinta e vigas lintel.

Existe uma evidente redução da cofragem necessária na solução em AE relativamente à solução de BA, isto deve-se ao facto dos blocos lintel terem a função de servir de cofragem e de apoio à viga cinta, sendo apenas necessário colocar um painel de cofragem pelo exterior, fixado através de varões de aço tracionados por equipamentos próprios referidos no ponto 2.3.3 do *capítulo 2*.

Nas alvenarias é constatado um aumento de custo na solução de AE em relação ao BA, devido ao preço dos blocos BEST® e à mão-de-obra. Pois o seu assentamento revela-se um processo mais demorado que a tradicional alvenaria de enchimento (pois há necessidade de colocação de armadura de junta nas fiadas).

O processo de execução das lajes é praticamente igual nas duas soluções, o que justifica o igual custo para ambas. O mesmo acontece no processo de execução da cobertura.

Na construção das duas soluções verifica-se a necessidade de recorrer aos mesmos equipamentos e ferramentas, embora sejam utilizados em menor tempo na solução de AE (solução de construção mais rápida). Consequentemente esse facto traduz um redução do custo do estaleiro (menor tempo de aluguer de equipamentos (grua) e custos associados (eletricidade, gerador)).

#### 4.4 Análise comparativa

A rigor desta análise consubstancia-se num orçamento da moradia B em AE que foi construída por uma empresa do setor da construção no decorrer desta dissertação. Sendo obtidos, desta forma, os preços de mercado dos quais resultou esta análise.

Inicialmente foram solicitadas algumas empresas para obtenção de orçamentos para as moradias em estudo, das quais não foram obtidas respostas em tempo útil. Reconhece-se que a precisão desta análise seria mais aproximada ao valor de mercado, se fossem comparados com valores de vários orçamentos.

A figura 4.2 apresenta um gráfico comparativo de custos dos artigos das duas soluções construtivas, sendo notórias as diferenças entre artigos que aferem maiores ou menores custos em relação a cada uma das soluções.

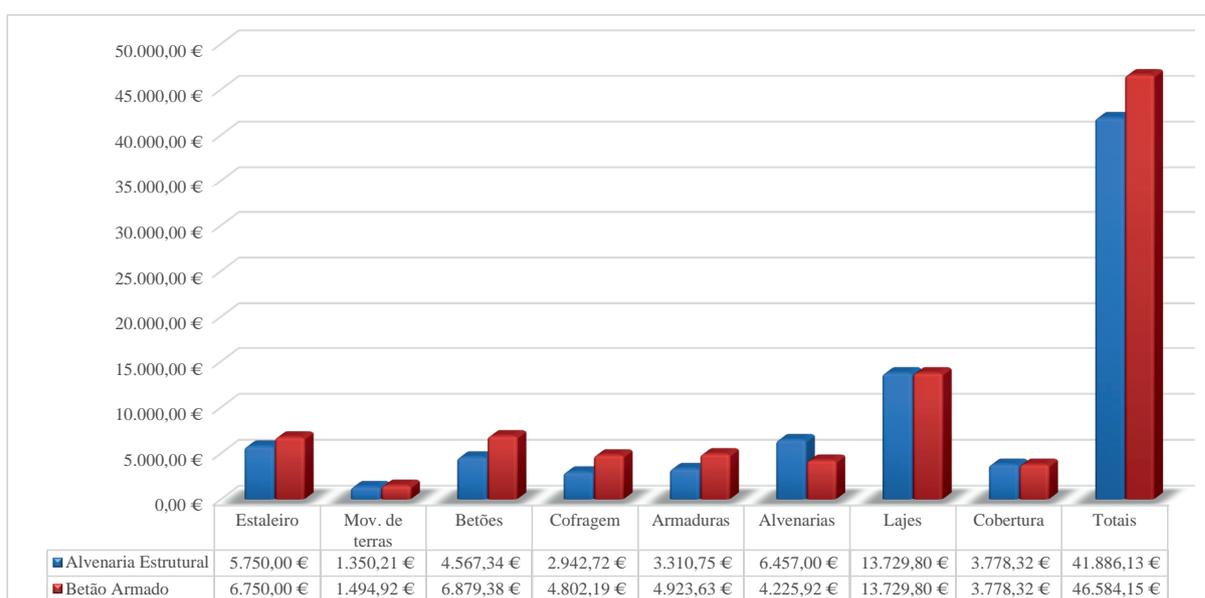


Figura 4.2: Gráfico comparativo de custos entre artigos das duas estruturas (moradias A e B)

A alvenaria estrutural apresenta-se como a solução mais económica, com uma percentagem de **10,09%** (quadro 4.1), em relação à solução em BA. Este resultado encontra-se abaixo dos valores apresentados em vários estudos realizados noutros países, nomeadamente no Brasil no qual é referida uma economia de 30% a 40% em edifícios até três pisos (Bricka, 2012). No estudo (Fernandes e Filho, 2010) é referida uma economia no custo do sistema em alvenaria estrutural, relativamente ao sistema de betão armado de 22,18%. Esta percentagem foi obtida na relação feita entre materiais utilizados em ambas as soluções, excluindo os custos diretos e em edifícios de pequeno porte até quatro pisos. Existem, no entanto, estudos que se aproximam mais do resultado obtido na atual análise, como é o caso do referido no artigo (Jacoby e Pelisser, 2012) que estudou um edifício de apartamentos de quatro pisos, no qual foi obtido uma economia de 12% na solução de AE.

Em seguida apresenta-se um quadro resumo do articulado de BA e AE que estão representados no anexo C de forma detalhada no ponto C.2, que foram elaborados de com base nas medições apresentadas no ponto C.1.

Quadro 4.1: Quadro resumo do articulado das soluções em BA e AE, com percentagem de economia da solução em AE

Nº DO ARTIGO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	SOLUÇÃO AE	SOLUÇÃO BA	PERCENTAGEM DE ECONOMIA
		TOTAL	TOTAL	
1	ESTALEIRO	5.750,00 €	6.750,00 €	14,81%
2	MOV. DE TERRAS	1.350,21 €	1.494,92 €	9,68%
3.1	BETÕES	4.567,34 €	6.879,38 €	33,61%
3.2	COFRAGEM	2.942,72 €	4.802,19 €	38,72%
3.3	ARMADURAS	3.310,75 €	4.923,63 €	32,76%
4	ALVENARIAS	6.457,00 €	4.225,92 €	-34,55%
5	LAJES	13.729,80 €	13.729,80 €	0,00%
6	COBERTURA	3.778,32 €	3.778,32 €	0,00%
TOTAIS		41.886,13 €	46.584,15 €	10,09%

Nos gráficos da figura 4.3 apresentam-se na forma de percentagem a importância dos artigos relativamente às soluções estudadas, sendo notório que as lajes ocupam parte significativa no custos de as ambas soluções, refletindo-se superior na solução de AE. É importante no futuro que se promovam soluções mais rápidas e eficientes que confirmem maior economia neste artigo. No Brasil é prática corrente, na construção de AE, a utilização de lajes alveolares que reduzem significativamente o tempo de construção, o que se reflete no custo final do edifício.

Outro dos artigos (do articulado) com custo elevado na solução em AE são as alvenarias, sendo o único artigo neste estudo que tem valor superior relativamente á solução de BA, como pode ser constatado no quadro 4.1. Esta situação justifica-se pelo preço do bloco utilizado na AE que é mais elevado que o bloco convencional, mas também pelo valor do assentamento que é atualmente influenciado pela inexistência de concorrência e também pela falta de experiência neste sistema. Espera-se que se construam mais habitações em AE para se adquirir mais experiência nesta solução construtiva.

O sistema BEST<sup>®</sup> é um processo de construção pioneiro no mercado e por isso as empresas de construção ainda não têm grande experiência neste tipo de solução. Este facto leva ao inflacionamento do preço da construção. Espera-se que esta situação reverta à medida que o sistema esteja mais implementado, promovendo assim, um crescente aumento da experiência que vai resultar em maior economia desta solução.

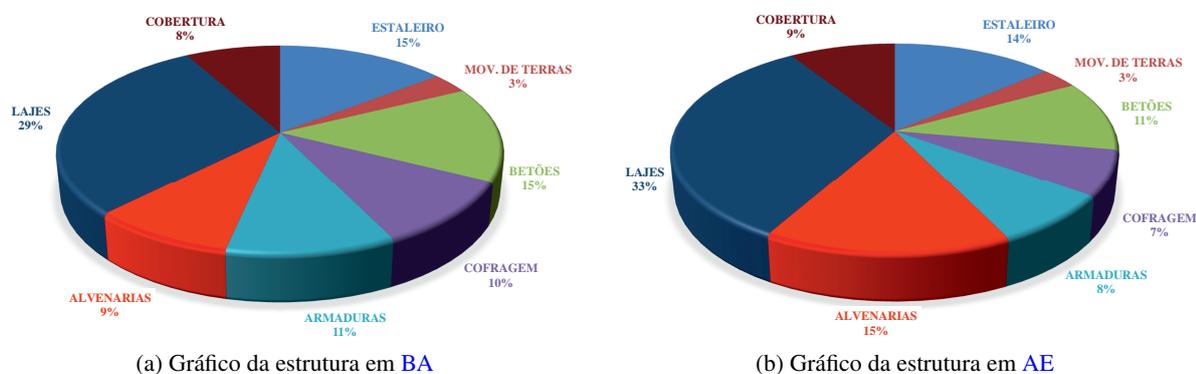


Figura 4.3: Gráfico comparativo de percentagens de custos das estruturas de BA e AE

## 4.5 Conclusão

As características estruturais semelhantes de ambas as soluções levam a que os artigos das lajes e da cobertura representem igual custo. Relativamente aos custos dos restantes artigos da solução em AE (quadro 4.1) revelam-se inferiores aos valores da solução em BA, à exceção das alvenarias, o que se traduz numa economia final da solução em AE.

A AE reúne um conjunto de características favoráveis ao sucesso no futuro, sendo apenas necessário avaliar outras alternativas construtivas mais económicas, nomeadamente das lajes. Uma das soluções passaria por utilizar na estrutura da cobertura o sistema de viga ripa para minimizar estes custos.



## Capítulo 5

### Conclusões finais e desenvolvimentos futuros

#### 5.1 Conclusões finais

Esta dissertação abordou algumas das tecnologias atuais utilizadas na construção de edifícios de pequeno e médio porte, nomeadamente as construções em LSF, madeira e o sistema SISMO<sup>®</sup>. Onde se concluiu através da bibliografia e pela consulta de empresas construtoras, que os custos associados à construção (chave na mão) de cada solução se compreendiam entre 500 a 800 *euros* por metro quadrado de superfície construída com acabamentos de média qualidade. Sendo o sistema SISMO<sup>®</sup> a solução mais dispendiosa, seguida da solução em LSF e, por fim, a mais económica a construção em madeira.

No estudo das soluções em BA e AE foi constatado uma redução significativa do tempo de construção da moradia em AE em relação ao BA. Nos projetos é notória a complexidade da AE vs. BA, pois o primeiro exige uma maior pormenorização de todo o processo (o que eleva o número de folhas usadas tornando-se muito complexo para os técnicos em obra e também muito inflexível no caso de existirem alterações ao projeto inicial).

Na análise comparativa de custos associados a cada uma das soluções constatou-se uma economia de 10,09% da solução AE em relação à solução em BA, que se afirma muito inferior aos estudos realizados no Brasil que apresentam economias na ordem dos 20 a 30%. Esta discrepância deve-se à pouca experiência dos técnicos em obra no nosso país, o que exige um maior período de tempo no processo de construção. Espera-se que em Portugal seja alcançada a mais experiência para tornar esta solução mais competitiva. E também que haja uma redução no preço elevado dos blocos utilizados no sistema de AE.

No início desta dissertação foi prevista a construção das duas moradias geminadas, construídas nas duas soluções estudadas, mas devido a razões de carácter económico não foi possível construir a moradia A na solução de BA. Espera-se num futuro próximo que a sua construção seja possível, afim de comparar esses resultados com os obtidos neste trabalho.

#### 5.2 Desenvolvimentos futuros

Ao longo da realização deste trabalho foram surgindo algumas sugestões para futuras contribuições. Assim, e no sentido de melhorar a análise comparativa de custos, é proposto o seguinte:

- Acompanhamento do trabalho na fase de acabamentos das moradias A e B;
- Acompanhamento da construção da moradia A em BA, para complementação da análise elaborada;
- A monitorização dos tempos de mão-de-obra;
- A realização de estudo técnico/económico com aplicação de lajes colaborantes implementadas à AE.

Relativamente à conceção modular é proposto o seguinte:

- Apresentar à empresa de fabricação do bloco BEST<sup>®</sup>, um relatório contendo melhorias propostas para solução de paredes em alvenaria estrutural, desenvolvida no âmbito do projeto *Desenvolvimento de Soluções de Paredes em Alvenaria Estrutural (Alvest)*, nomeadamente a execução de um bloco BEST<sup>®</sup> 60 × 20 × 20 cm como é referido no ponto 3.7 do capítulo 3;
- Realizar estudos para desenvolver um modelo de bloco lintel, que reduza a aplicação de cofragens na construção em AE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvest, P. (2013). T5.1, t5.2 e t5.3 - dimensionamento e construção de um edifício: aplicação ao caso de estudo; avaliação da tecnologia de construção; linhas gerais de organização e construção. *Relatório técnico, Projeto 5456 Alvest - Desenvolvimento de soluções de Paredes em Alvenaria Estrutural*.
- Archiproducts (2013). [www.archiproducts.com](http://www.archiproducts.com). Consultado em setembro de 2013.
- Argamassas, S. (2013). Argamassa m10. [www.secilargamassas.pt](http://www.secilargamassas.pt). Consultado em junho de 2013.
- Bosch (2013). Berbequim com broca craniana diamantada. [www.bosch-professional.com](http://www.bosch-professional.com). Consultado em Maio de 2013.
- Braz César, M., Miranda, C., Mendes, A., e Barros, R. (2007). Sismo: building technology, tecnologia de construção.
- Bricka (2012). Bricka alvenaria estrutural - manual de tecnologia. [www.bricka.com.br](http://www.bricka.com.br). Consultado em outubro de 2013.
- CEN EN 10327 (2004). *Continuously hot-dip coated strip and sheet of low carbon steels for cold forming - Technical delivery conditions*.
- Chagas (2011). Manual técnico de produtos siderúrgicos. [www.fachagas.pt](http://www.fachagas.pt). Consultado em junho de 2013.
- DL 273 (2003). *Regula as prescrições de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de trabalho*.
- DL 330 (1993). *Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n. 90/269/CEE, do Conselho, de 29 de Maio, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde na movimentação manual de cargas*.
- DL 348 (1993). *Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n. 89/656/CEE, do Conselho, de 30 de Novembro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamento de proteção individual no trabalho*.
- DL 50 (2008). *Procede à 16ª alteração do Decreto-lei n. 38382, de 7 de agosto de 1951, que estabelece o regulamento geral das edificações urbanas (RGEU)*.
- DL 79 (2006). *Aprova o regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios*.
- DL 80 (2006). *Aprova o regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RC-CTE)*.
- EN 10080 (2005). *Steel for the reinforcement of concrete-Weldable reinforcing steel - General*.
- EN 1996-1-1+A1 (2013). *Eurocode 6. Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures*.
- EN 1996-2+AC (2009). *Eurocode 6. Design of masonry structures Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry*.

- EN 845-3+A1 (2009). *Specification for ancillary components for masonry. Part 3: Bed joint reinforcement of steel meshwork.*
- Fernandes, M. J. G. e Filho, A. F. S. (2010). Estudo comparativo do uso da alvenaria estrutural com bloco de concreto simples em relação ao sistema estrutural em concreto armado. .
- Futureng (2013). Lsf. <http://www.futureng.pt>. Consultado em Outubro de 2013.
- Gouveia, J. P., de Melo, F., e Lourenço, P. B. (2006). Alvenaria estrutural: aplicação a um caso de estudo. *4<sup>a</sup> Jornadas Portuguesas de Eng. estruturas.*
- Gouveia, J. P., Lourenço, P. B., e Vasconcelos, G. (2007). Soluções construtivas em alvenaria. *Congresso construção.*
- Grilo, I., Marques, H., Gouveia, J. P., e Júlio, E. (2012). Resistência ao corte de paredes de alvenaria com blocos de betão e com blocos cerâmicos. *Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012.*
- ISO 9001 (2008). *Specifies requirements for a quality management system where an organization. International Organization for Standardization.*
- Jacoby, P. C. e Pelisser, F. (2012). Comparação de custos de um edifício residencial executado em alvenaria estrutural e em concreto armado. [www.repositorio.unesc.net/](http://www.repositorio.unesc.net/). Consultado em outubro de 2013.
- João, A. (2013). Betoneira. [www.antonioejoao.pt](http://www.antonioejoao.pt). Consultado em dezembro de 2013.
- LNEC E 435 (2012). *Pavimentos aligeirados de vigotas prefabricadas. Vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado. Conceção, cálculo, fabrico e ensaios.*
- LNEC E 442 (1995). *Pavimentos aligeirados de vigotas prefabricadas. Blocos de cofragem. Determinação das dimensões.*
- LNEC E 449 (2010). *Especificação: Varões de aço A400 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação.*
- Lourenço, P. B. (2007). Possibilidades actuais na utilização da alvenaria estrutural. *Seminário sobre Paredes de Alvenaria.*
- Lourenço, P. B., Vasconcelos, G., Gouveia, J. P., Medeiros, P., e Marques, R. (2008). Cbloco: Handbook of structural design. *Cerâmica Vale da Gândara SA.*
- Madeira, P. (2013). Projetos para casas. [www.projetosparacasas.com.br](http://www.projetosparacasas.com.br). Consultado em outubro de 2013.
- Marques, R., Torre, P., e Lourenço, P. B. (2012). Construir com alvenaria estrutural: Vencer a crise com construção mais eficiente. .
- Morgado, L., Pedro, J. B., Cruz, H., e Pontífice, P. (2007). Projeto e construção de casas de madeira em portugal. *Jornadas Lneec.*

- Murfor (2013). Declaration of performance murfor rnd. [www.bekaert.com](http://www.bekaert.com). Consultado em junho de 2013.
- NP 2080 (1985). *Preservação de madeiras. Tratamento de madeiras para construção.*
- NP EN 13670 (2011). *Execução de estruturas em betão.*
- NP EN 15037-1 (2008). *Produtos prefabricados de betão. Pavimentos com vigotas e blocos de cofragem. Parte 1: Vigotas.*
- NP EN 15037-2+A1 (2013). *Produtos prefabricados de betão. Pavimentos com vigotas e blocos de cofragem. Parte 2: Abobadilhas de betão.*
- NP EN 1912 (2013). *Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies.*
- NP EN 1990 (2009). *Eurocódigo 0. Bases para o projeto de estruturas.*
- NP EN 1991-1-1+AC (2009). *Eurocódigo 1. Ações em estruturas Parte 1-1: Ações gerais Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.*
- NP EN 1992-1-1+AC (2012). *Eurocódigo 2. Projeto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.*
- NP EN 1993-1-1 (2010). *Eurocódigo 3. Projeto de estruturas de aço - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.*
- NP EN 1995-1-1 (2004). *Eurocode 5. Design of timber structures - Part 1-1: General Common rules and rules for buildings.*
- NP EN 1997-1-1 (2010). *Eurocódigo 7. Projeto geotécnico Parte 1: Regras gerais.*
- NP EN 1998-1+A1 (2013). *Eurocódigo 8. Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.*
- NP EN 206-1 (2010). *Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.*
- NP EN 300 (2012). *Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB). Definições, classificação e especificações.*
- NP EN 310 (2002). *Placas de derivados de madeira. Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão.*
- NP EN 771-3 (2012). *Especificações para unidades de alvenaria. Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves).*
- NP EN 934-2+A1 (2012). *Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem.*
- NP EN 998-2 (2013). *Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 2: Argamassas para alvenarias.*

Port.988 (1993). *Estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamento de proteção individual.*

Protek, M. (2013). Equipamentos de proteção individual. [www.mmprotek.pt](http://www.mmprotek.pt). Consultado em junho de 2013.

Sotecnisol (2013). Características da caixa térmica e acústica. [www.sotecnisol.pt](http://www.sotecnisol.pt). Consultado em Maio de 2013.

Technology, S.-B. (2013). Sismo. <http://www.sismo.eu>. Consultado em Outubro de 2013.

Vasconcelos, G., Gouveia, J. P., Haach, V., e Lourenço, P. B. (2007). Alvenaria armada: soluções inovadoras em portugal. *Seminário sobre paredes de alvenaria.*

Villas, F. L. (2009). Furnas lake villas. [www.furnaslakevillas.pt](http://www.furnaslakevillas.pt). Consultado em outubro de 2013.

Yting (2013). [www.i.yting.com](http://www.i.yting.com). Consultado em setembro de 2013.

# ANEXO A

## Soluções construtivas

### A.1 Projeto de estabilidade em BA

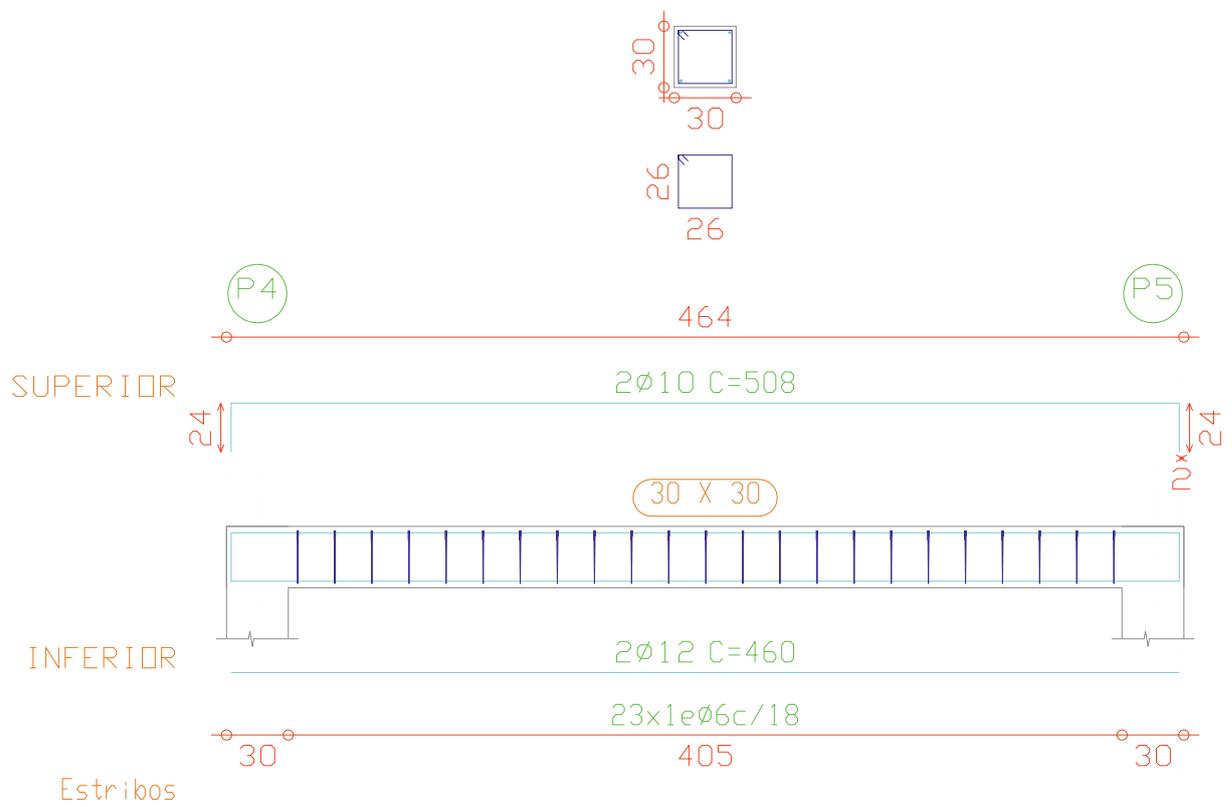


Figura A.1: Pormenor de um pórtico da solução em BA

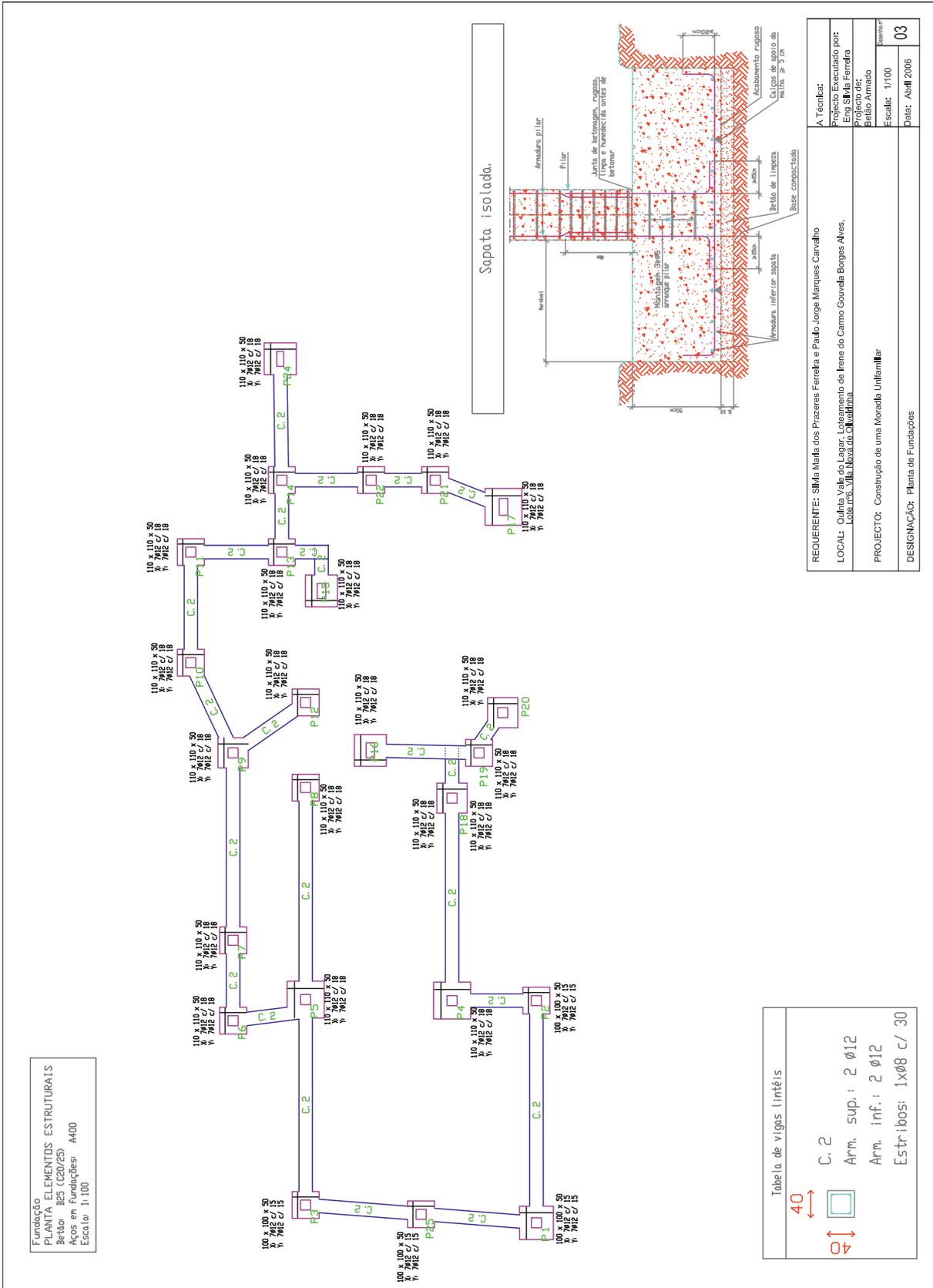


Figura A.2: Planta de fundações da solução em BA

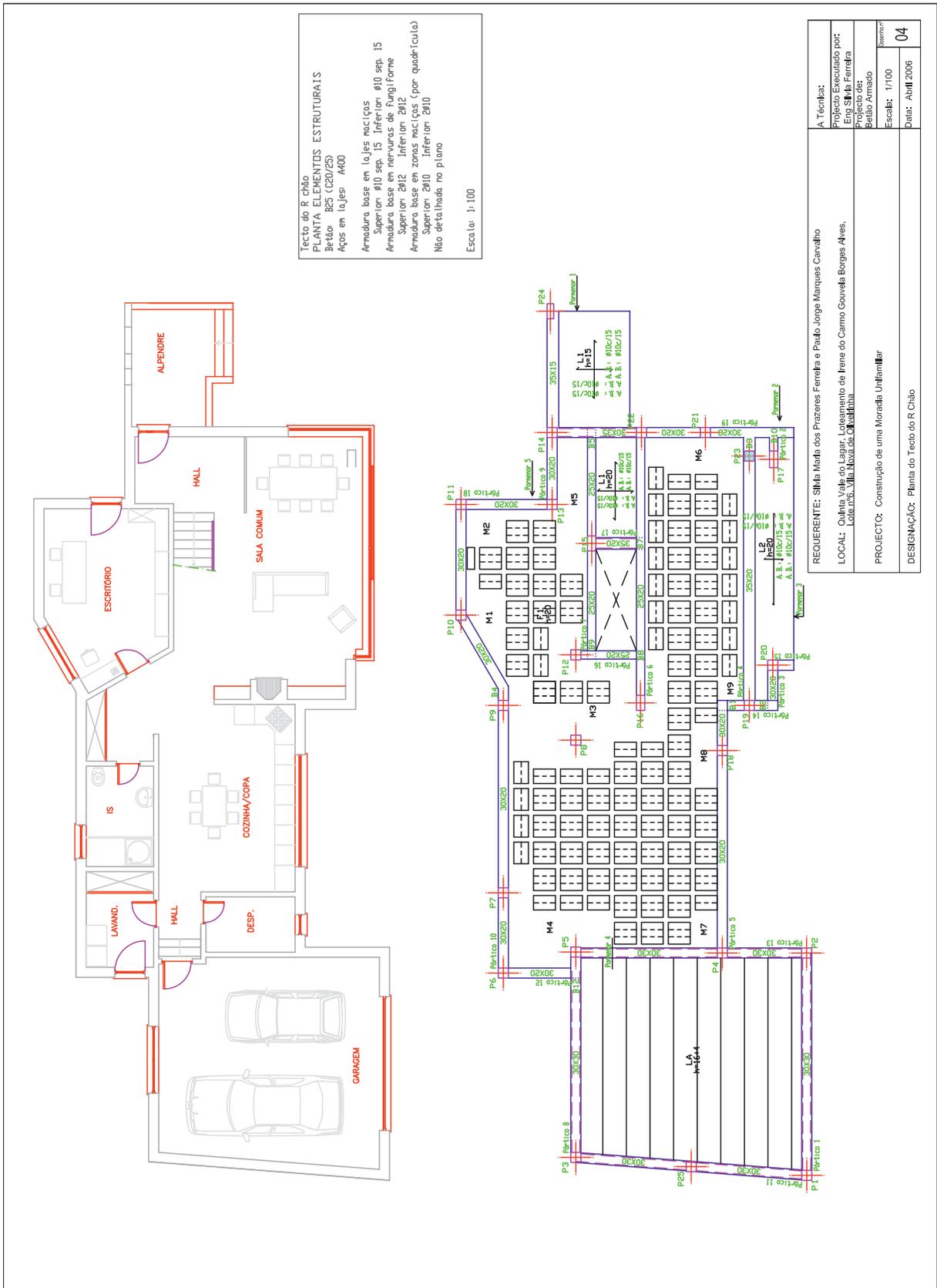


Figura A.3: Planta de arquitetura/estrutural do Rés-do-chão da solução em BA

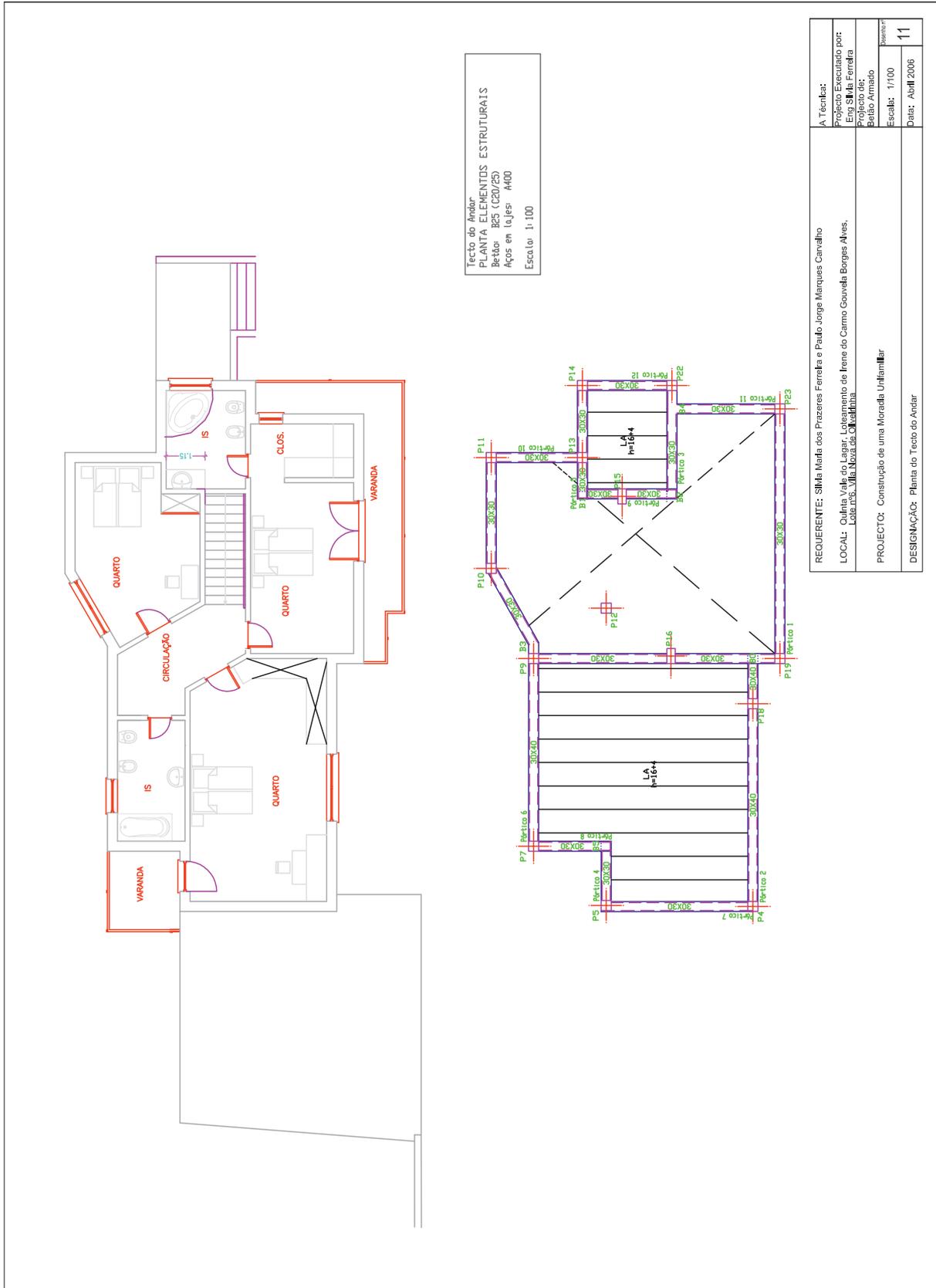


Figura A.4: Planta de arquitetura/estrutural do piso 1 da solução em BA

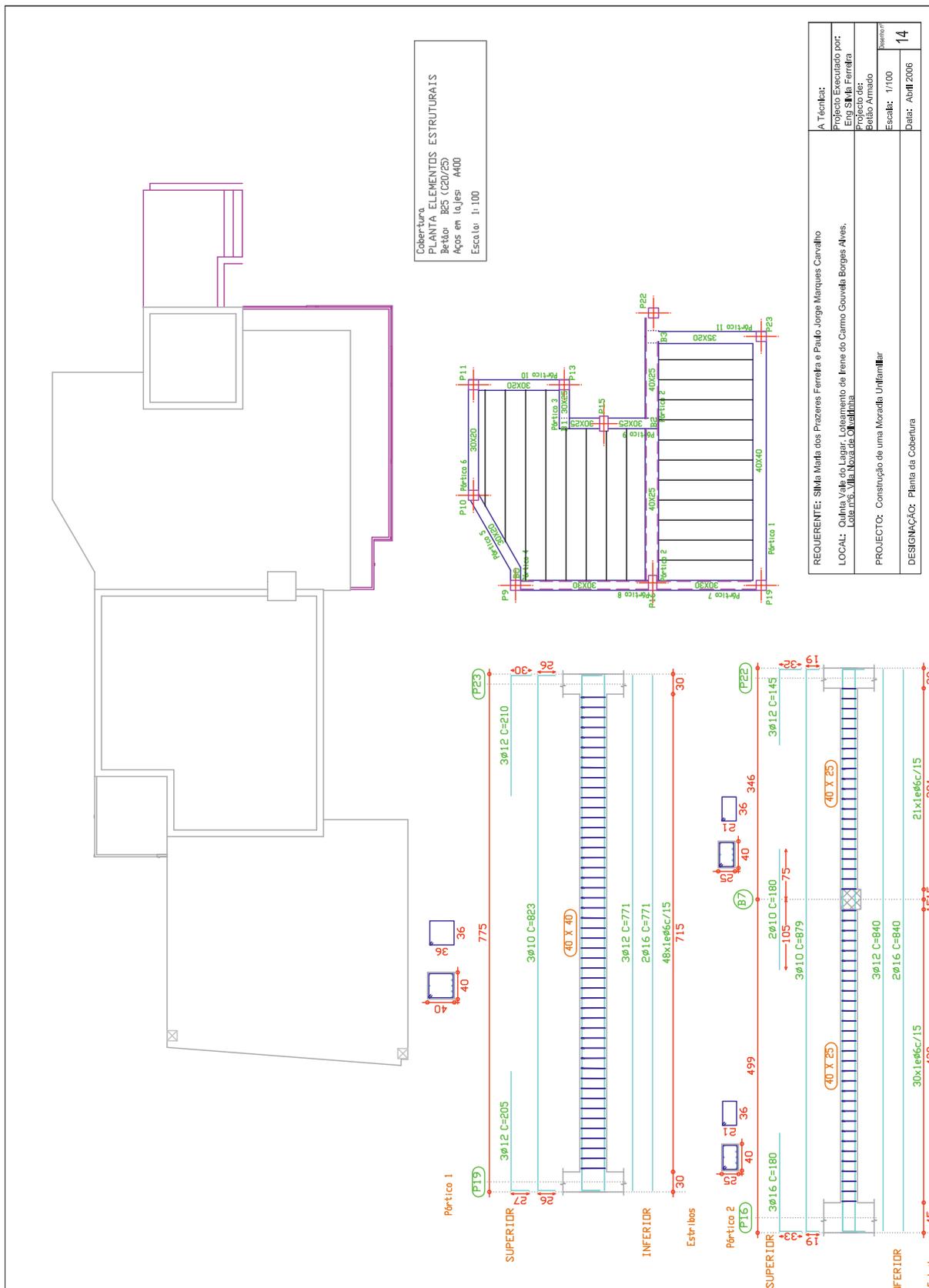


Figura A.5: Planta de arquitetura/estrutural de cobertura e pormenores da solução em BA

## A.2 Projeto e pormenores do sistema LSF

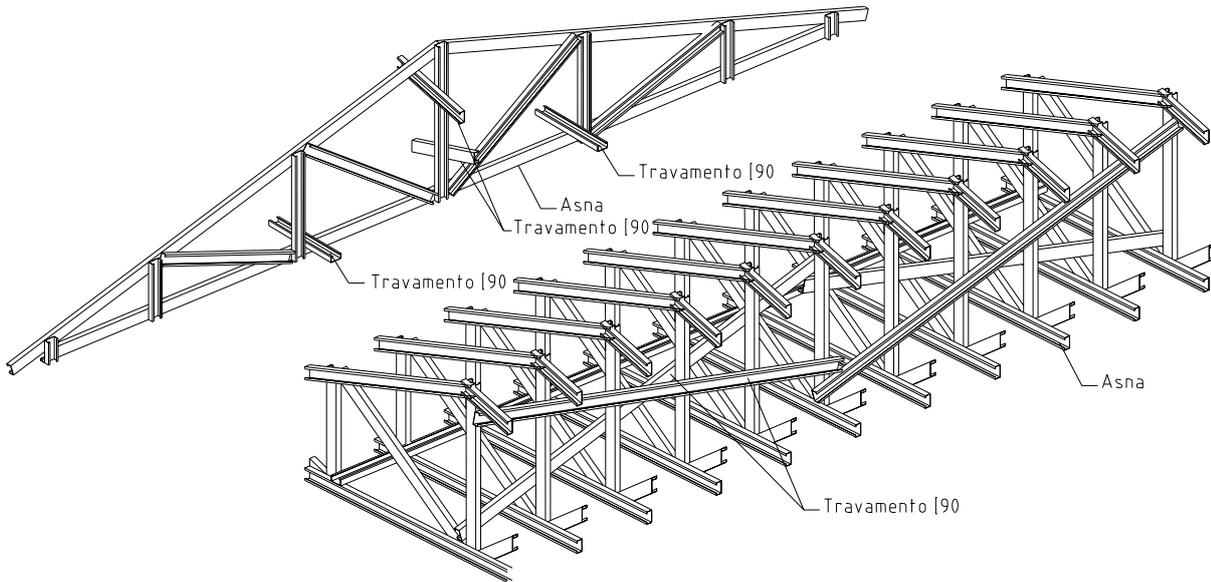


Figura A.6: Pormenor de travamento da asna da solução em LSF

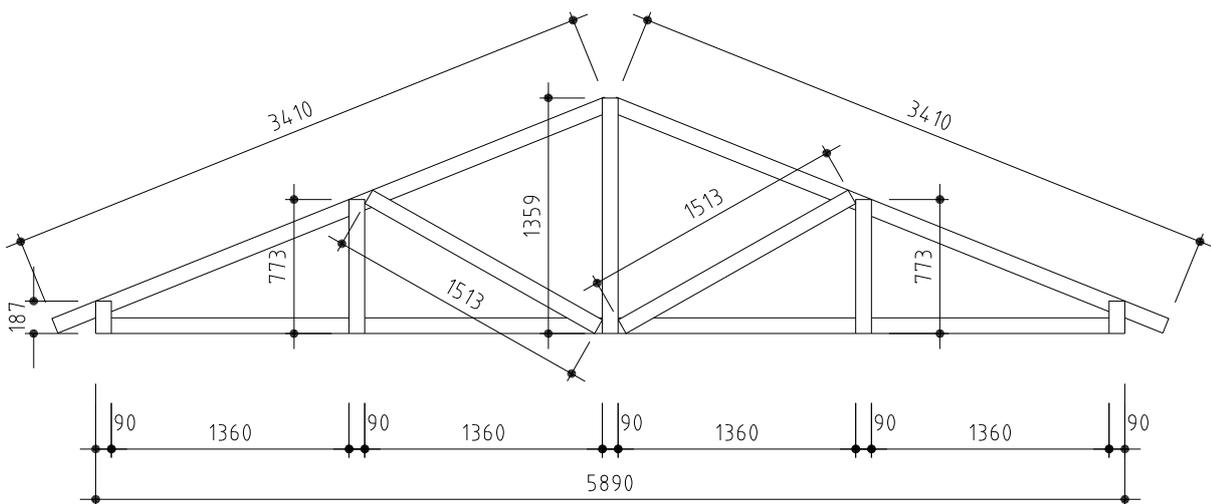


Figura A.7: Pormenor de asna da solução em LSF

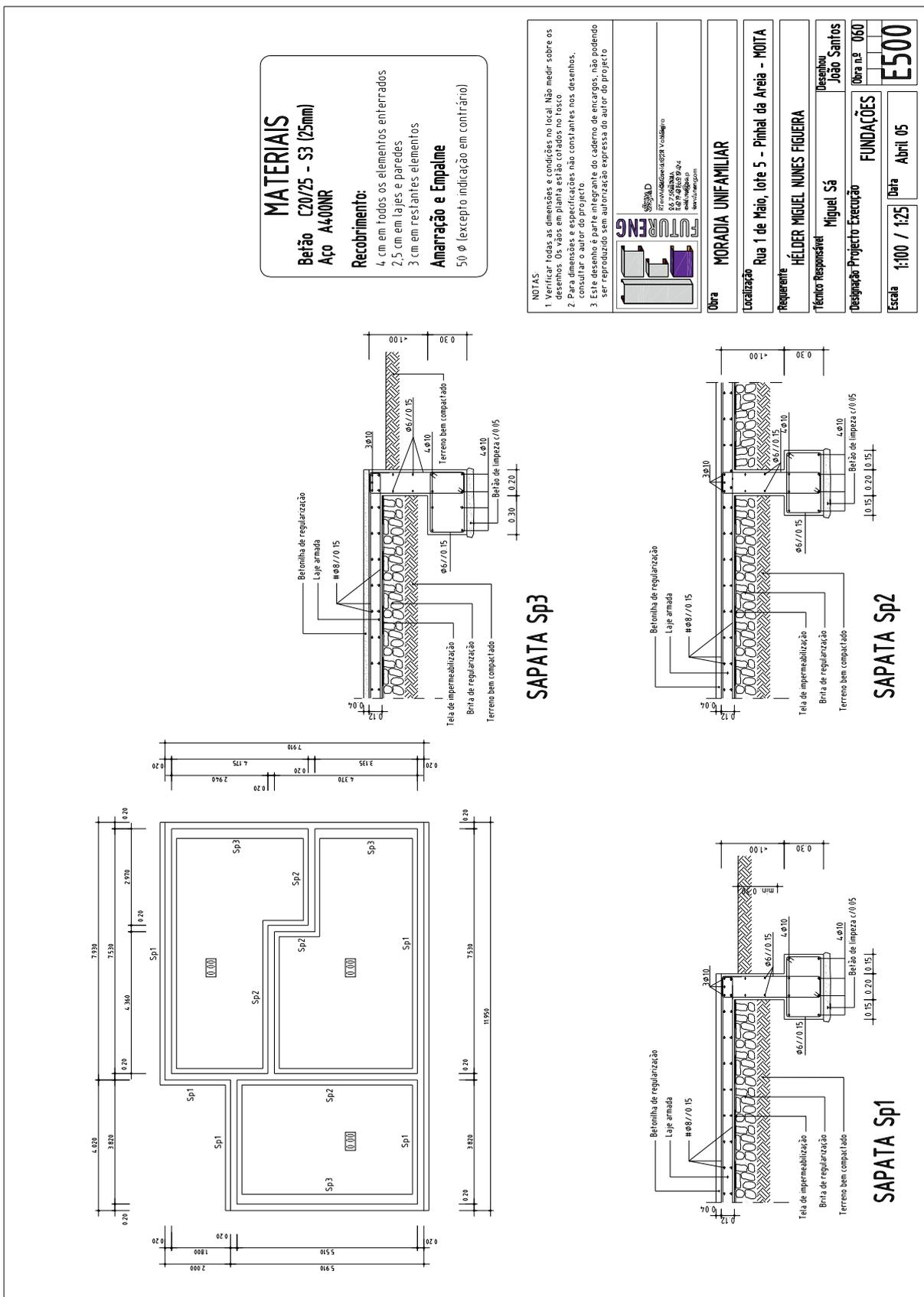


Figura A.8: Planta estrutural de fundações com pormenores da solução em LSF







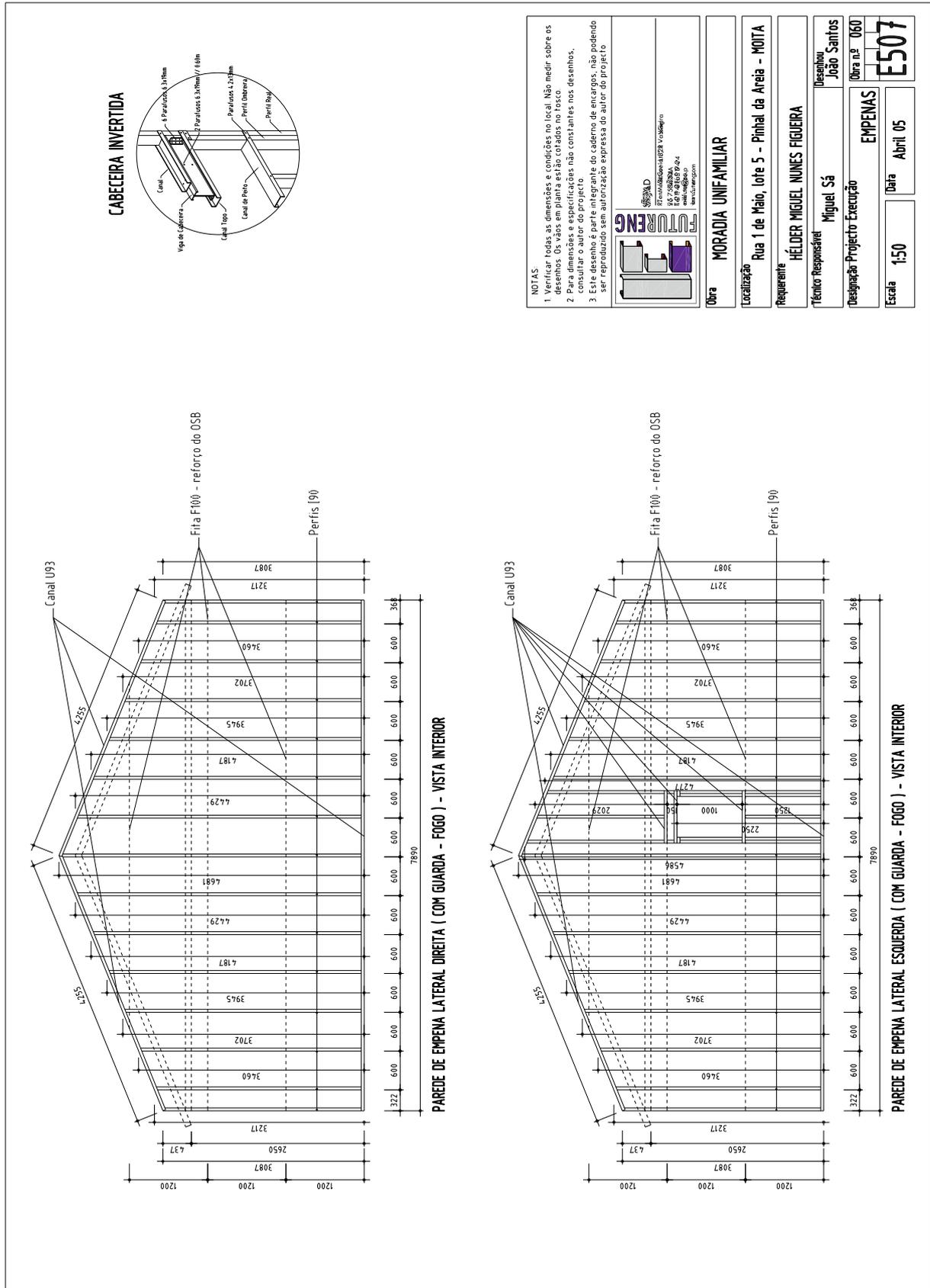


Figura A.12: Alçado de empena da solução em LSF

### A.3 Exemplo de projeto de moradia em madeira

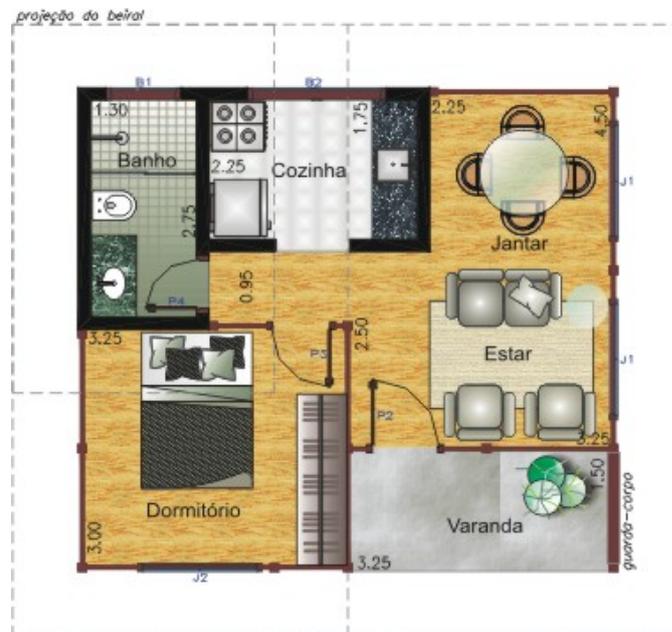


Figura A.13: Planta de arquitetura de moradia em madeira (obtida no site, [Madeira, 2013](#))



Figura A.14: Perspetiva representativa da moradia em madeira (obtida no site, [Madeira, 2013](#))

A.4 Pormenores construtivos do sistema SISMO®

EDIFICAÇÃO DO PAINEL SISMO

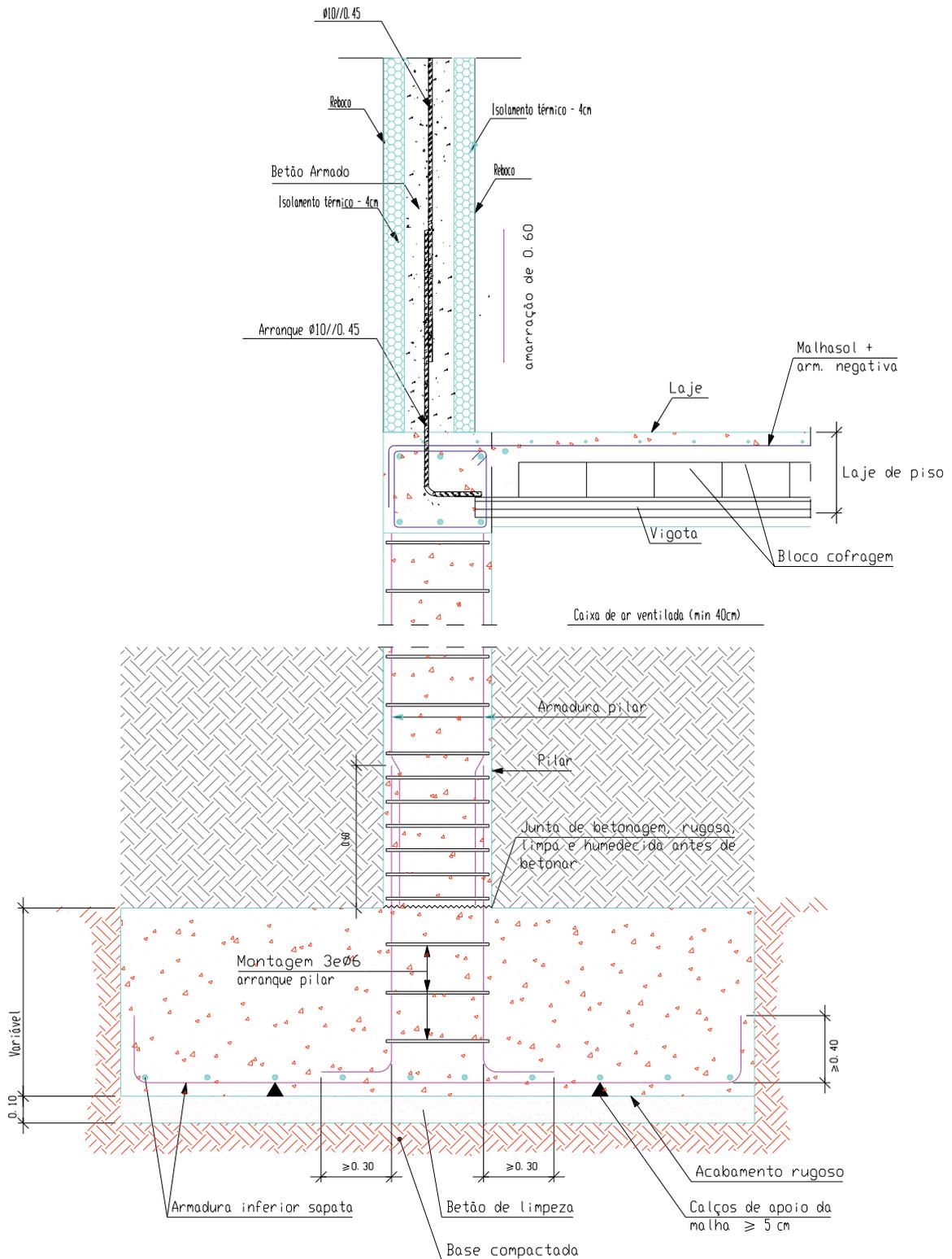
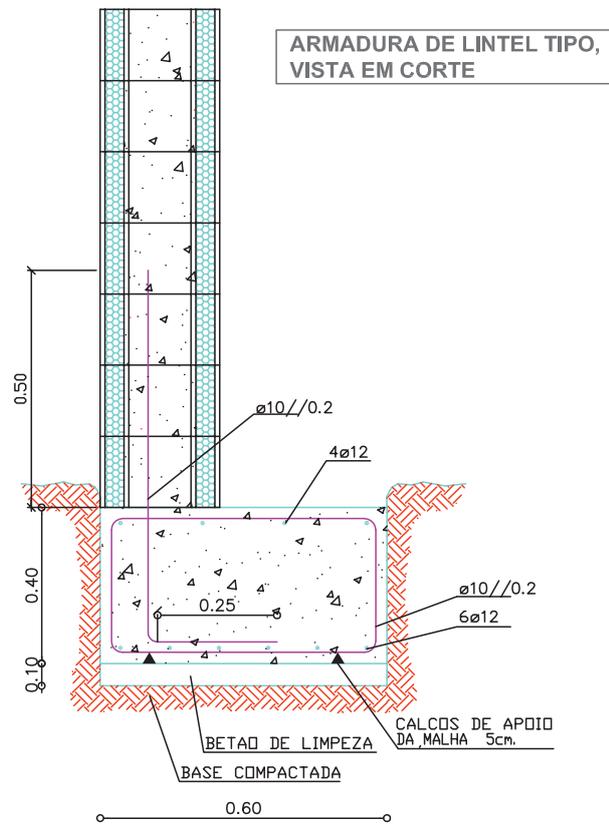


Figura A.15: Pormenores estruturais SISMO® (Fonte, Technology, 2013)



**ARMADURA DE CANTO TIPO,  
VISTA EM PLANTA**

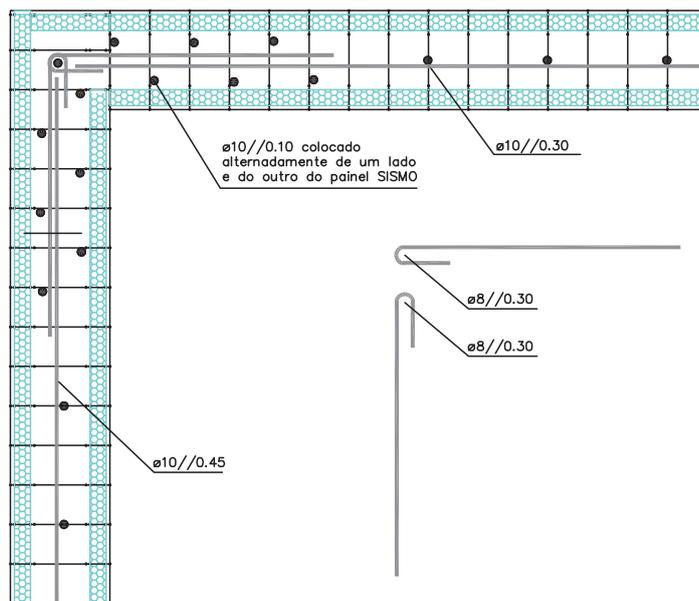


Figura A.16: Pormenores estruturais SISMO® (Fonte, [Technology, 2013](#))

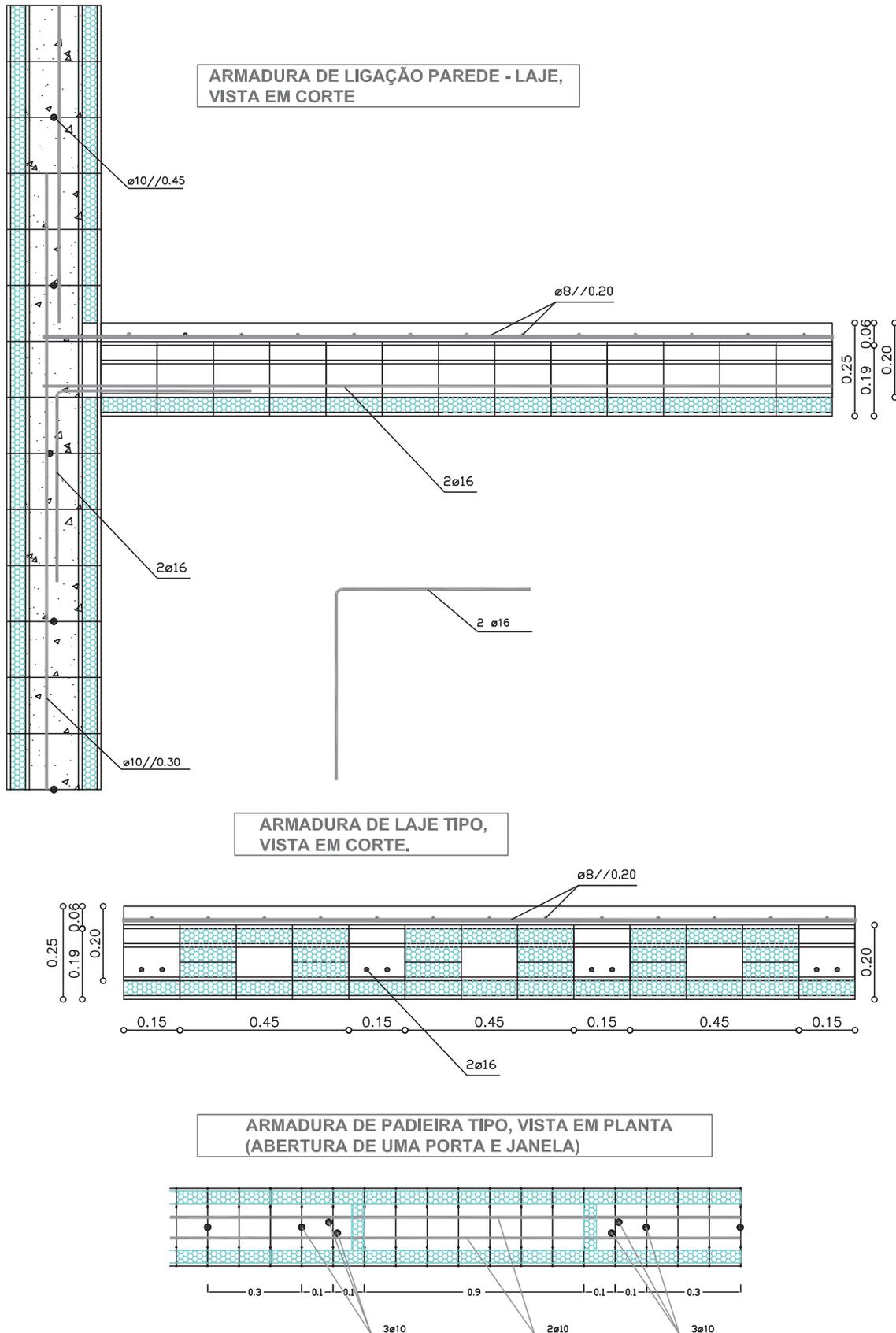


Figura A.17: Pormenores estruturais SISMO® (Fonte, Technology, 2013)

# ANEXO B

## Projeto de modulação em alvenaria estrutural

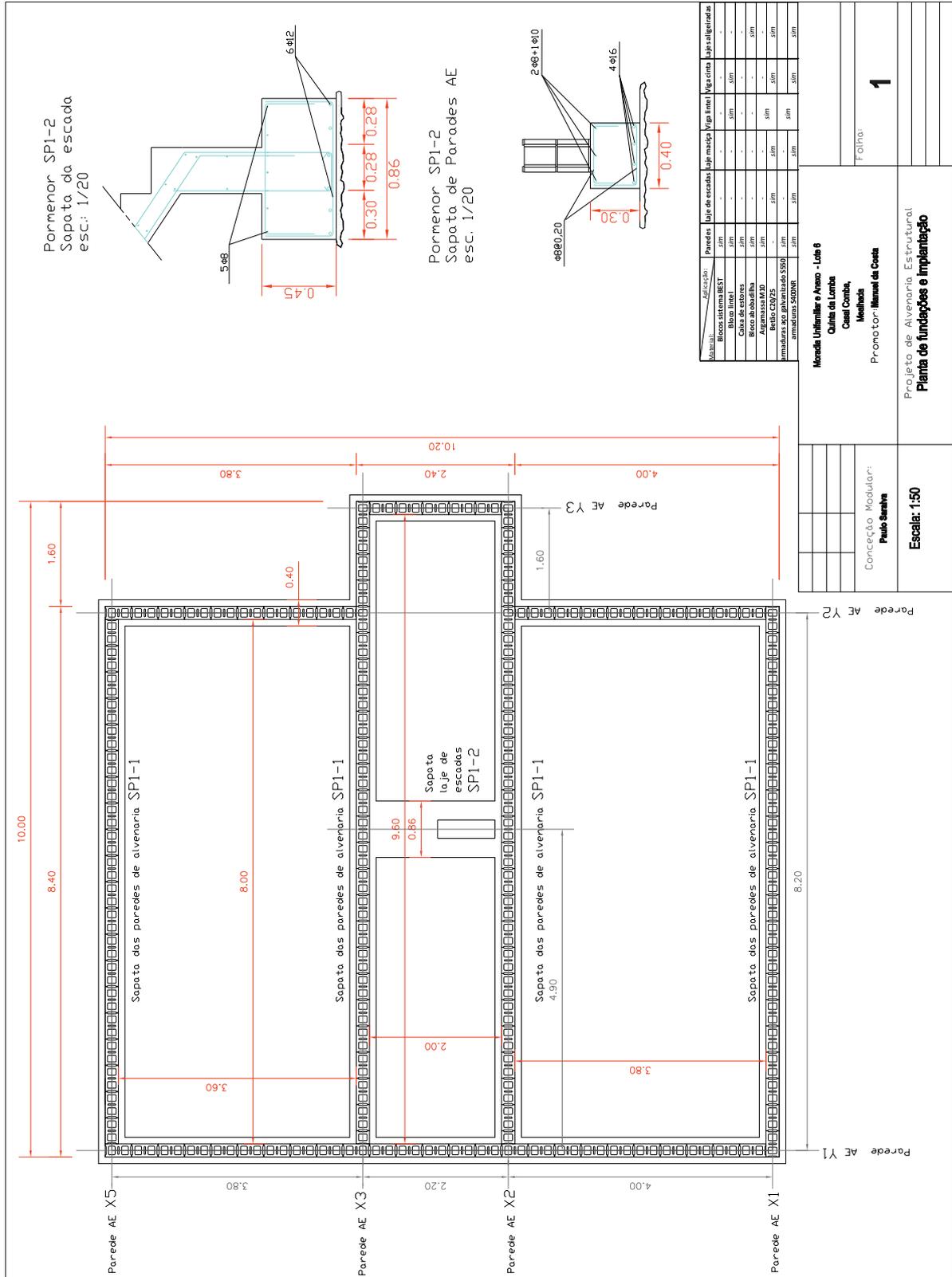


Figura B.1: Planta de fundações com a incorporação da 1ª fiada da solução em AE

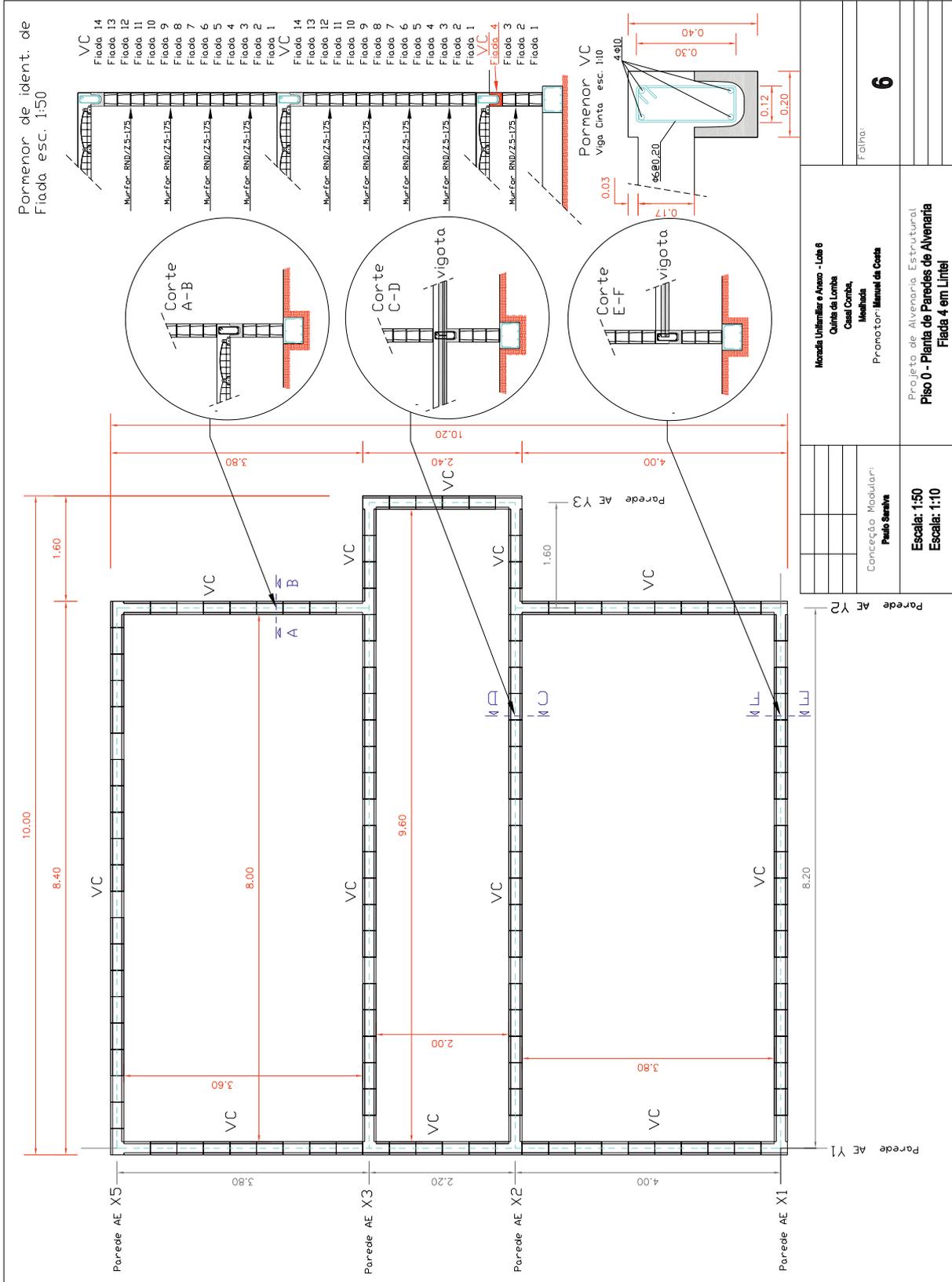


Figura B.2: Fiada de lintel da solução em AE

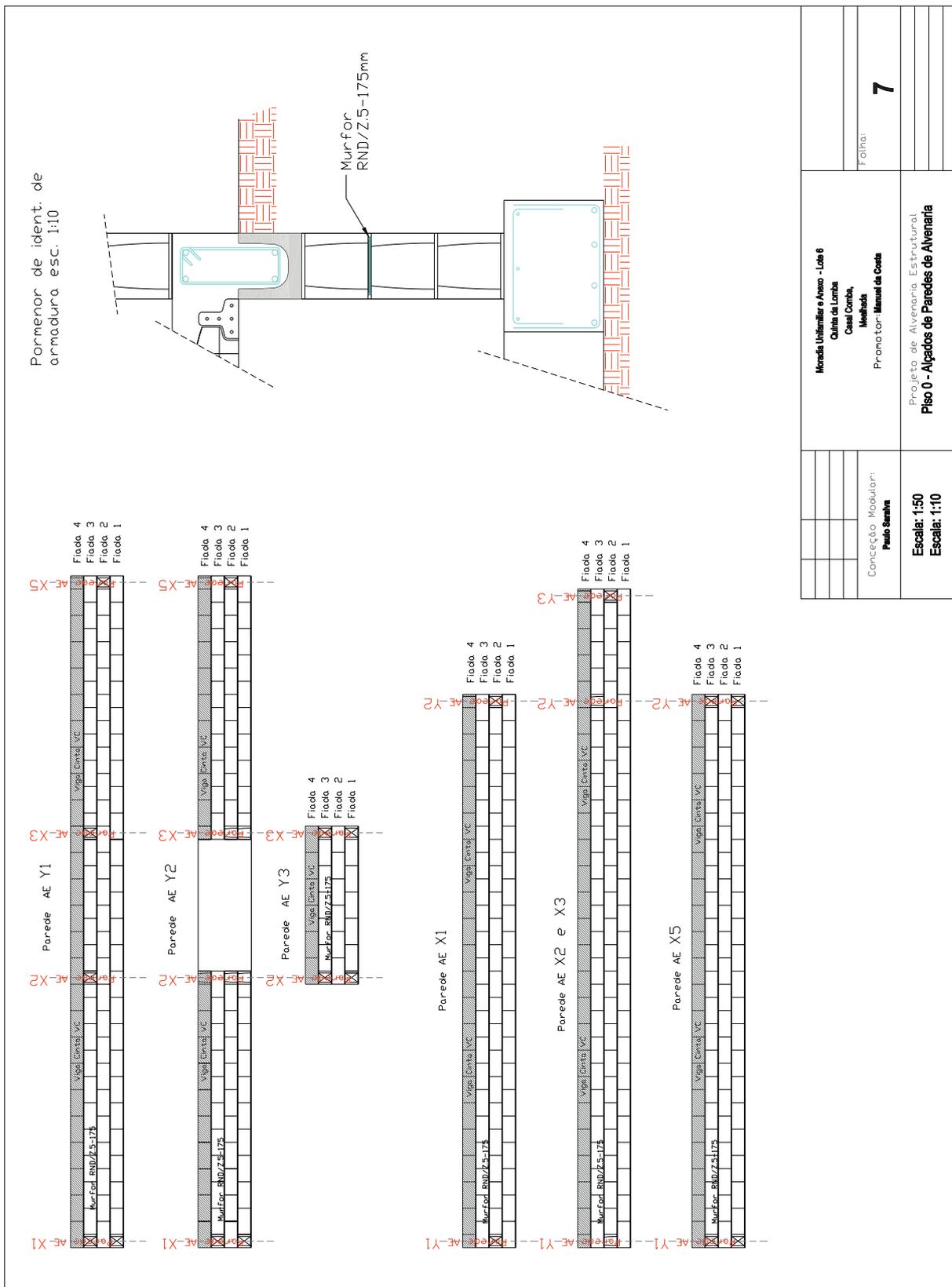


Figura B.3: Alçado de paredes dos eixos X e Y do desvão, da solução em AE



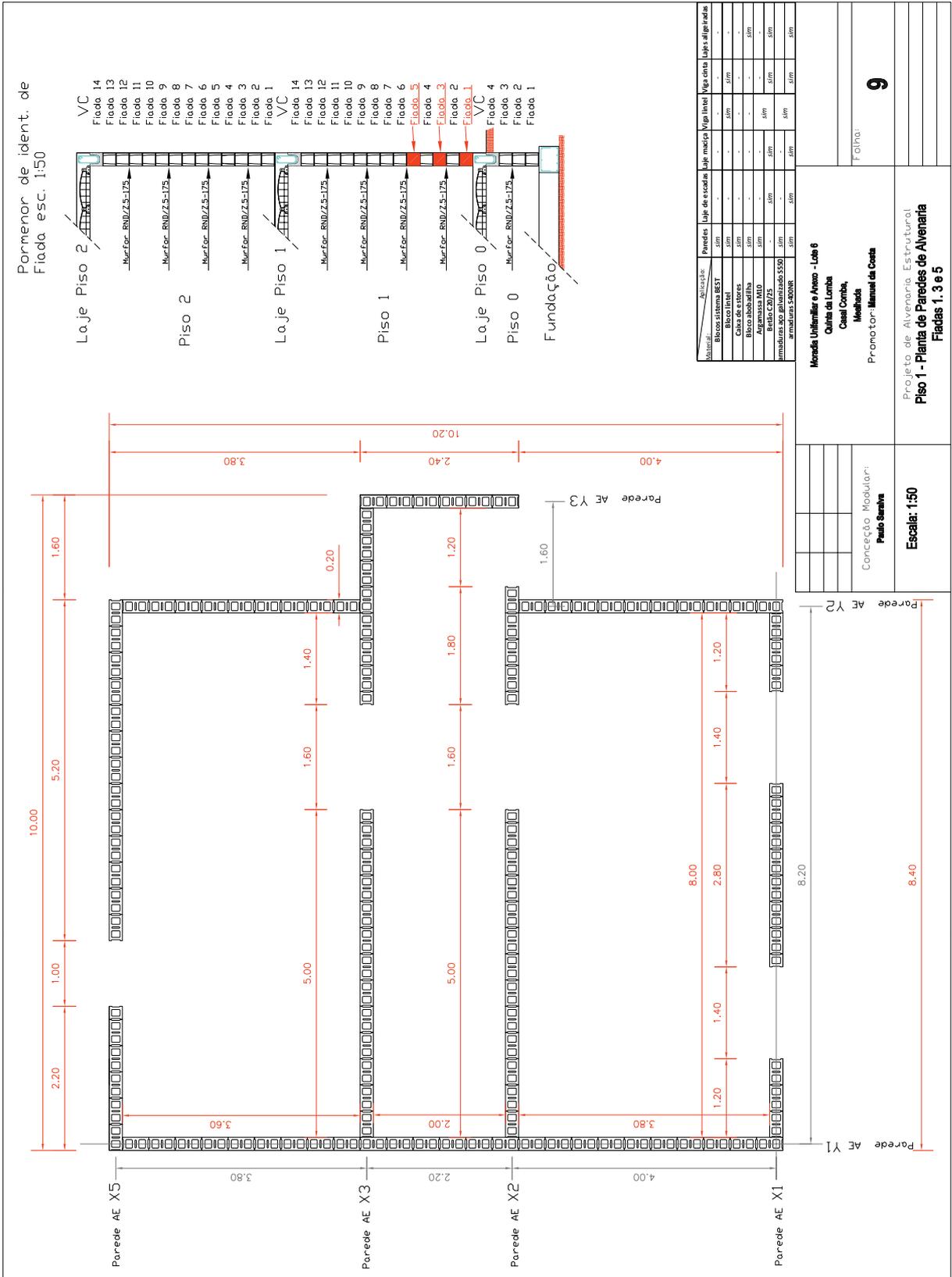


Figura B.5: Planta das fiada 1, 3 e 5 do R/C da solução em AE

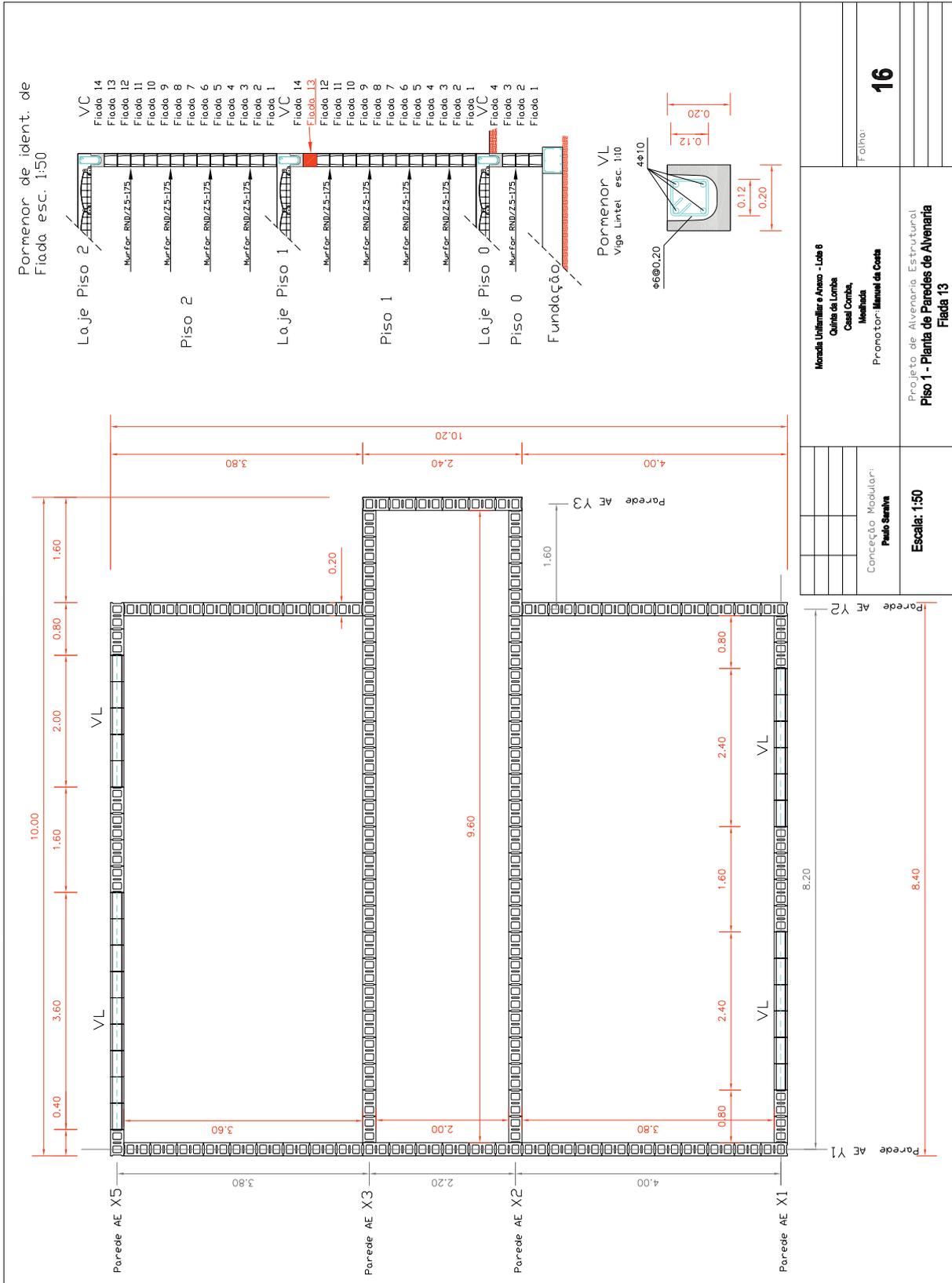


Figura B.6: Planta da fiada n. 13 (fiada de lintel na torça dos vãos VL) da solução em AE

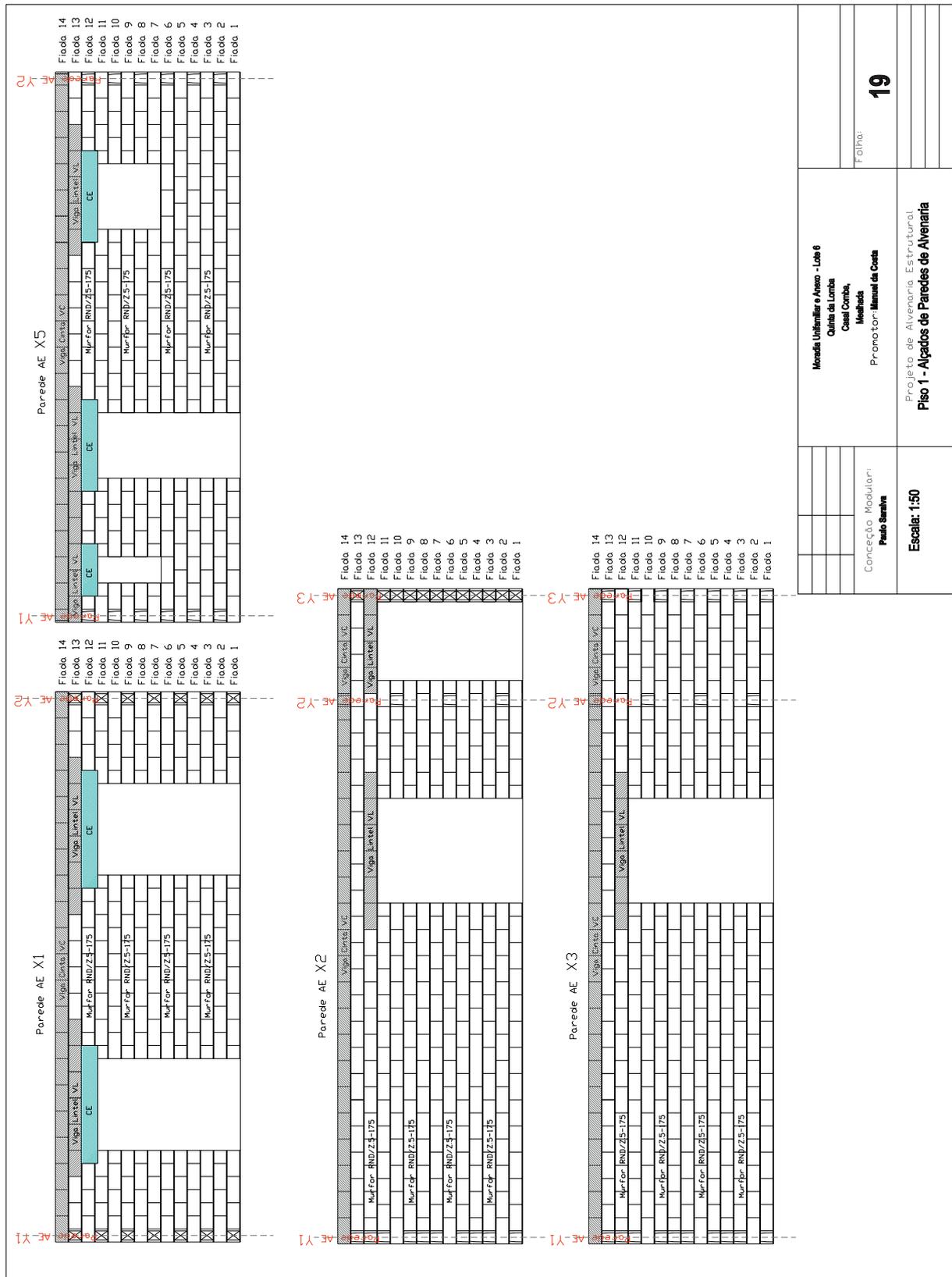


Figura B.7: Alçado de paredes do eixo X do rés-do-chão da solução em AE

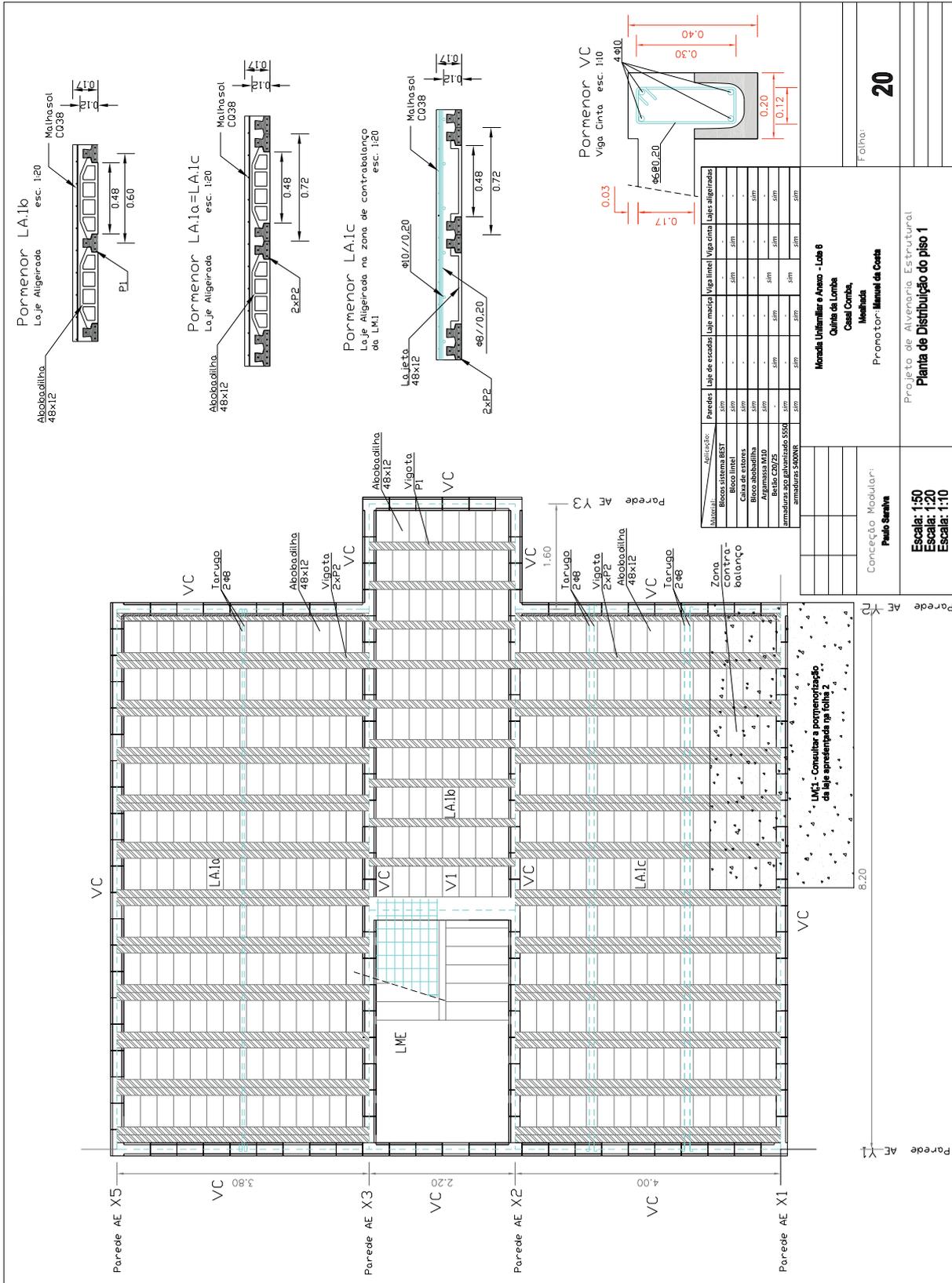


Figura B.8: Planta da laje do teto do R/C da solução em AE

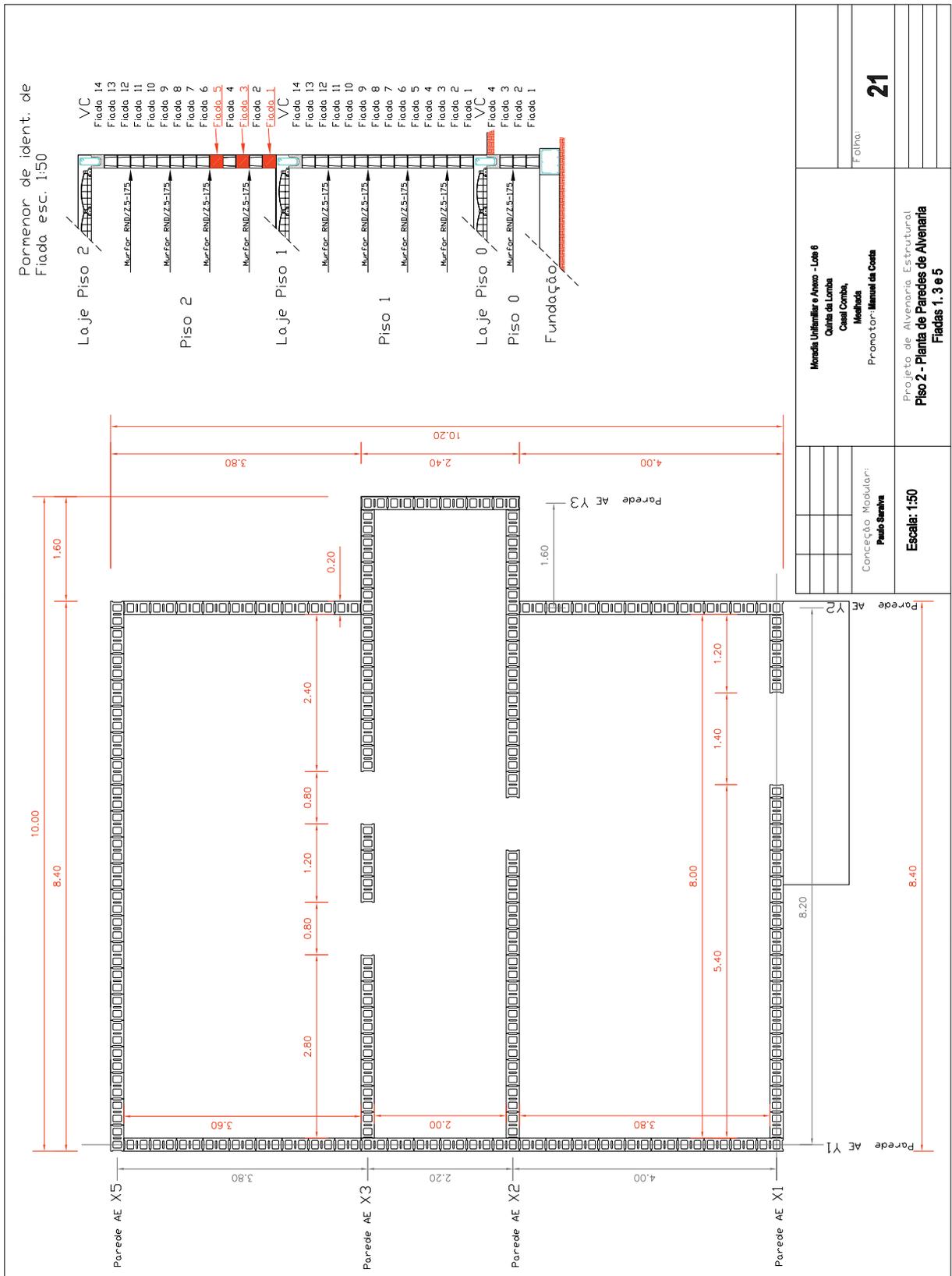


Figura B.9: Planta das fiadas 1, 3 e 5 do 1º piso da solução em AE

Moradia Unifamiliar e Anexo - Lote 6 Quinta da Lomba Casal Lomba, Matosinhos Promotor: Manuel da Costa		<b>21</b>
Conceção Modular: Paulo Saraiva		
Escala: 1:50		Projeto de Alvenaria Estrutural Piso 2 - Planta de Parede de Alvenaria Fiadas 1, 3 e 5

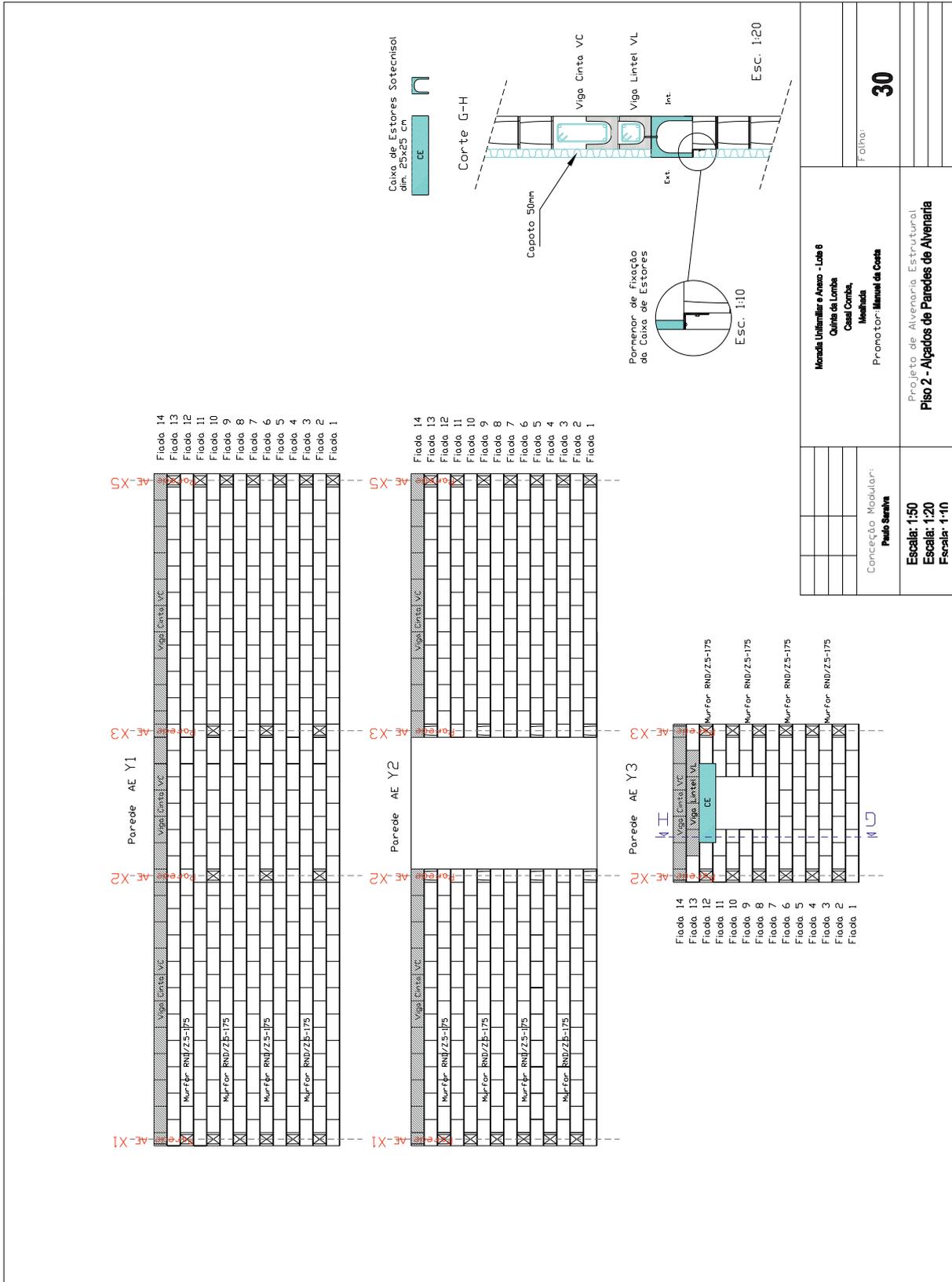


Figura B.10: Alçado de paredes do eixo Y do 1º piso e pormenor em corte, da solução em AE

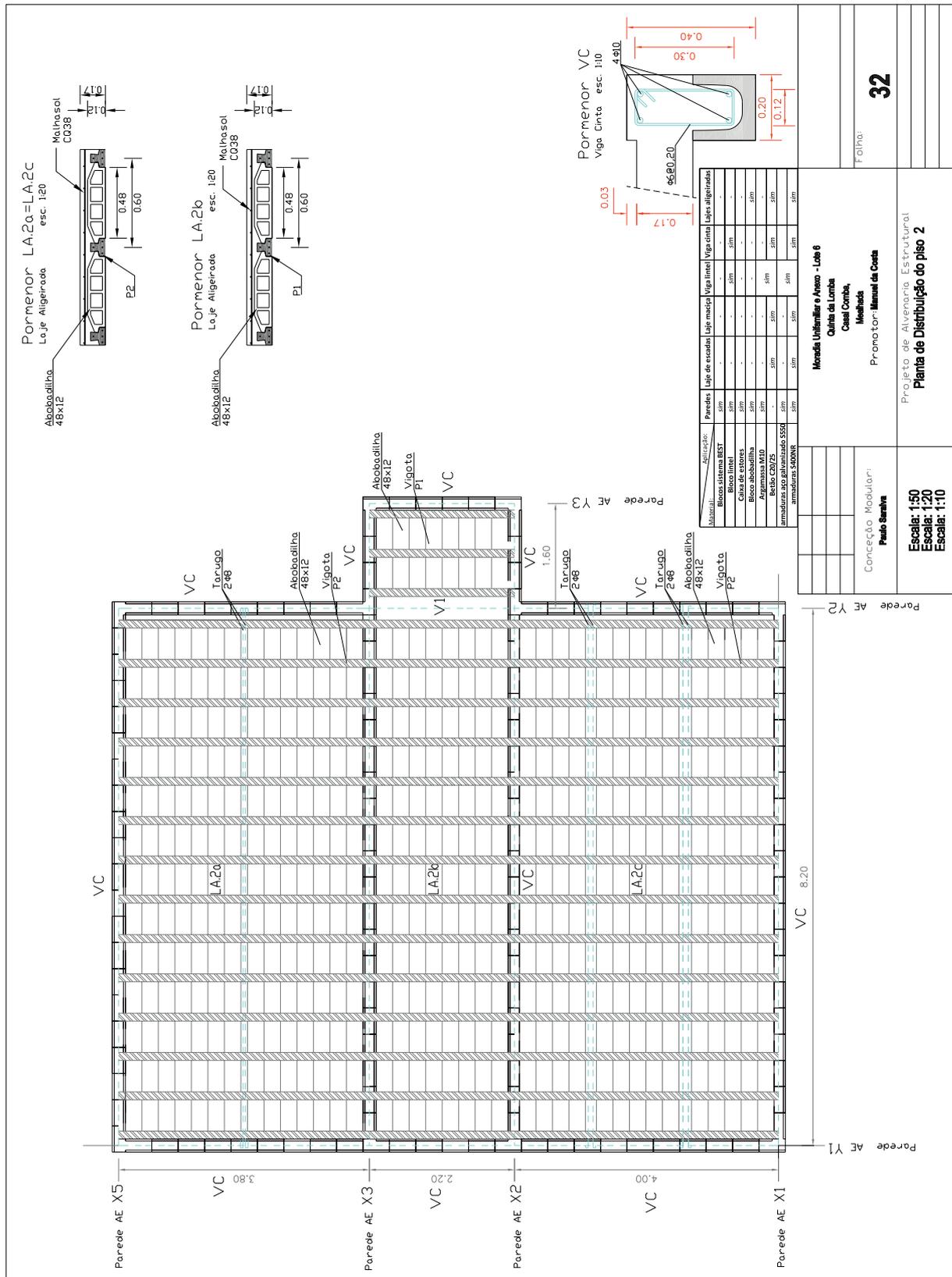


Figura B.11: Planta da laje do teto do 1º piso da solução em AE

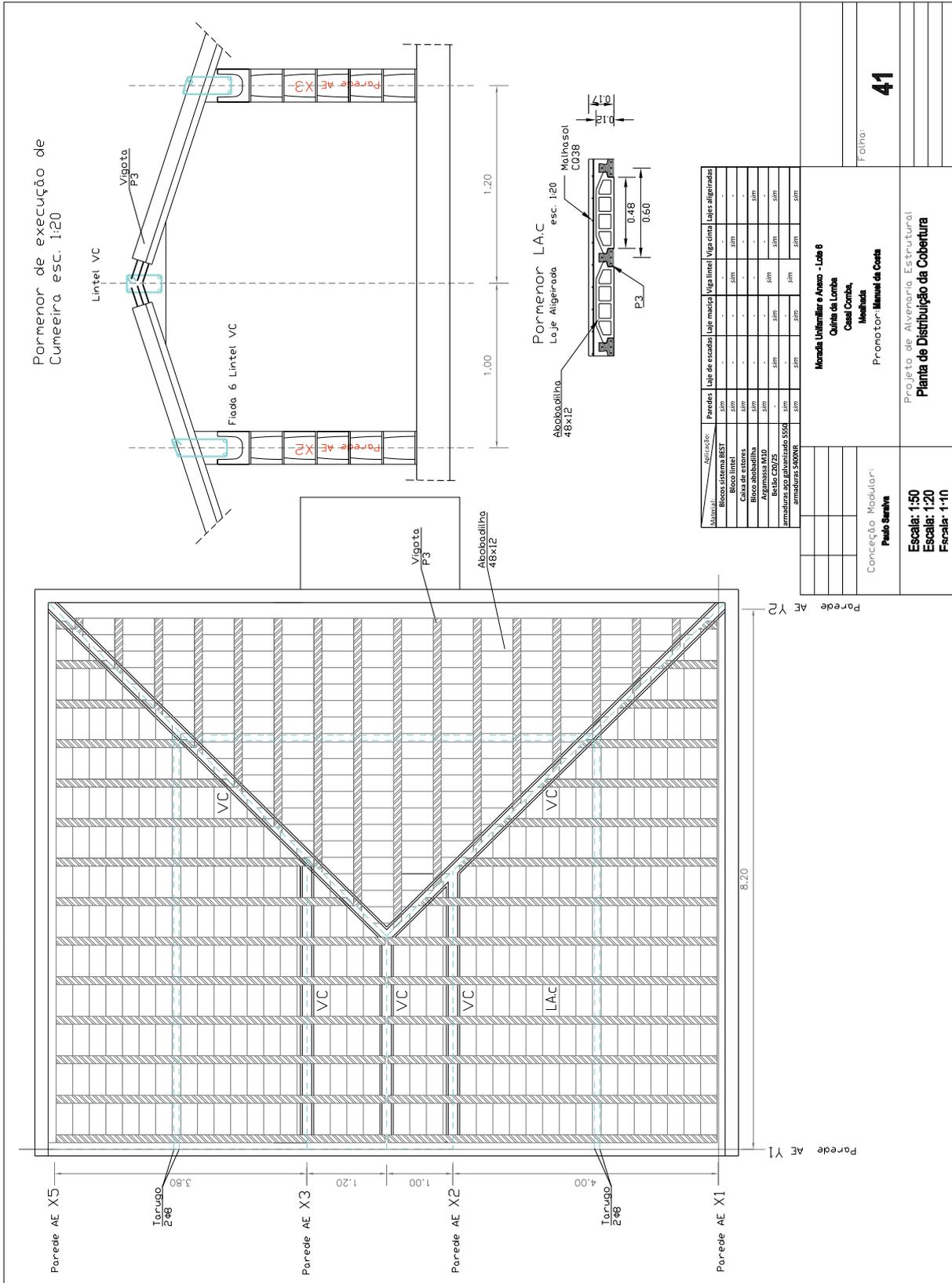


Figura B.12: Planta da laje da cobertura da solução em AE

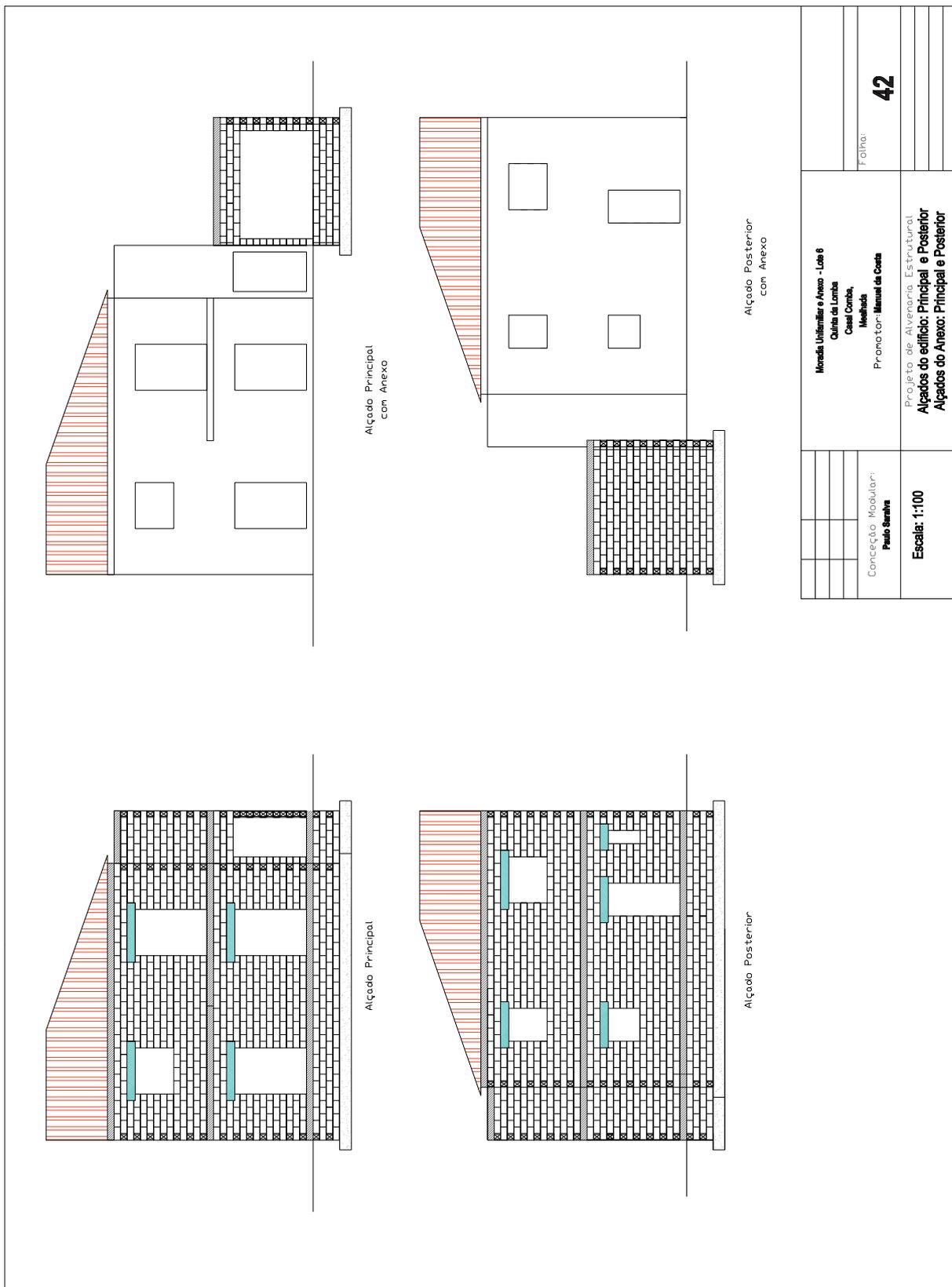


Figura B.13: Alçados principal e posterior da solução em AE

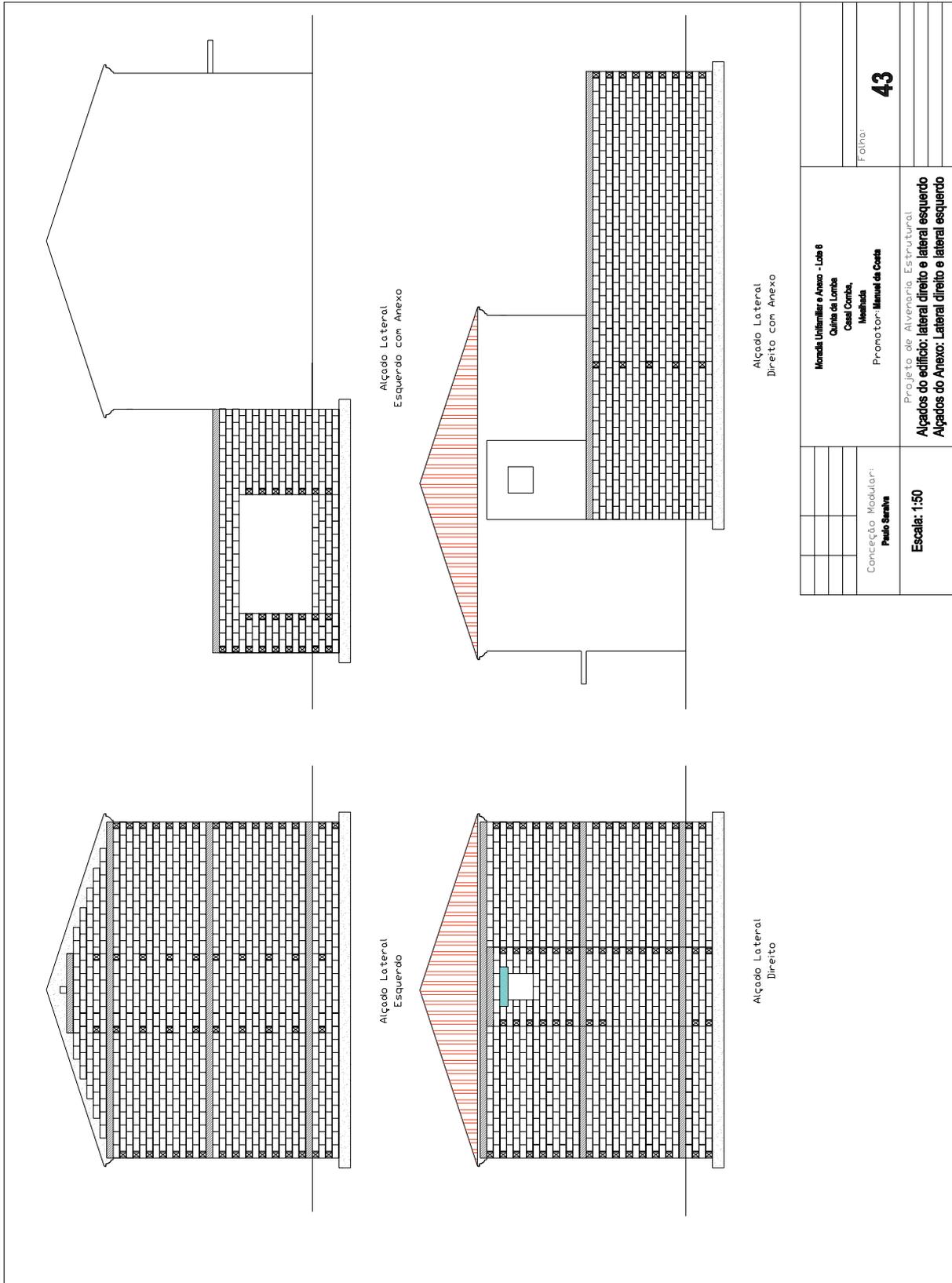


Figura B.14: Alçados laterais da solução em AE

<p>Alçado Lateral Direito com Anexo</p>		<p>Alçado Lateral Direito</p>	
<p>Mercado Unifamiliar e Anexo - Lote 6 Quilta de Lomba Casal Coruba, Município</p>		<p>Conceção Modular: <b>Paulo Soares</b></p>	
<p>Promotor: <b>Manual da Constr</b></p>		<p>Escala: <b>1:50</b></p>	
<p>Projeto de Alvenaria Estrutural</p>		<p>Alçados do edifício: lateral direito e lateral esquerdo Alçados do Anexo: Lateral direito e lateral esquerdo</p>	
<p>Fólia:</p>		<p><b>43</b></p>	

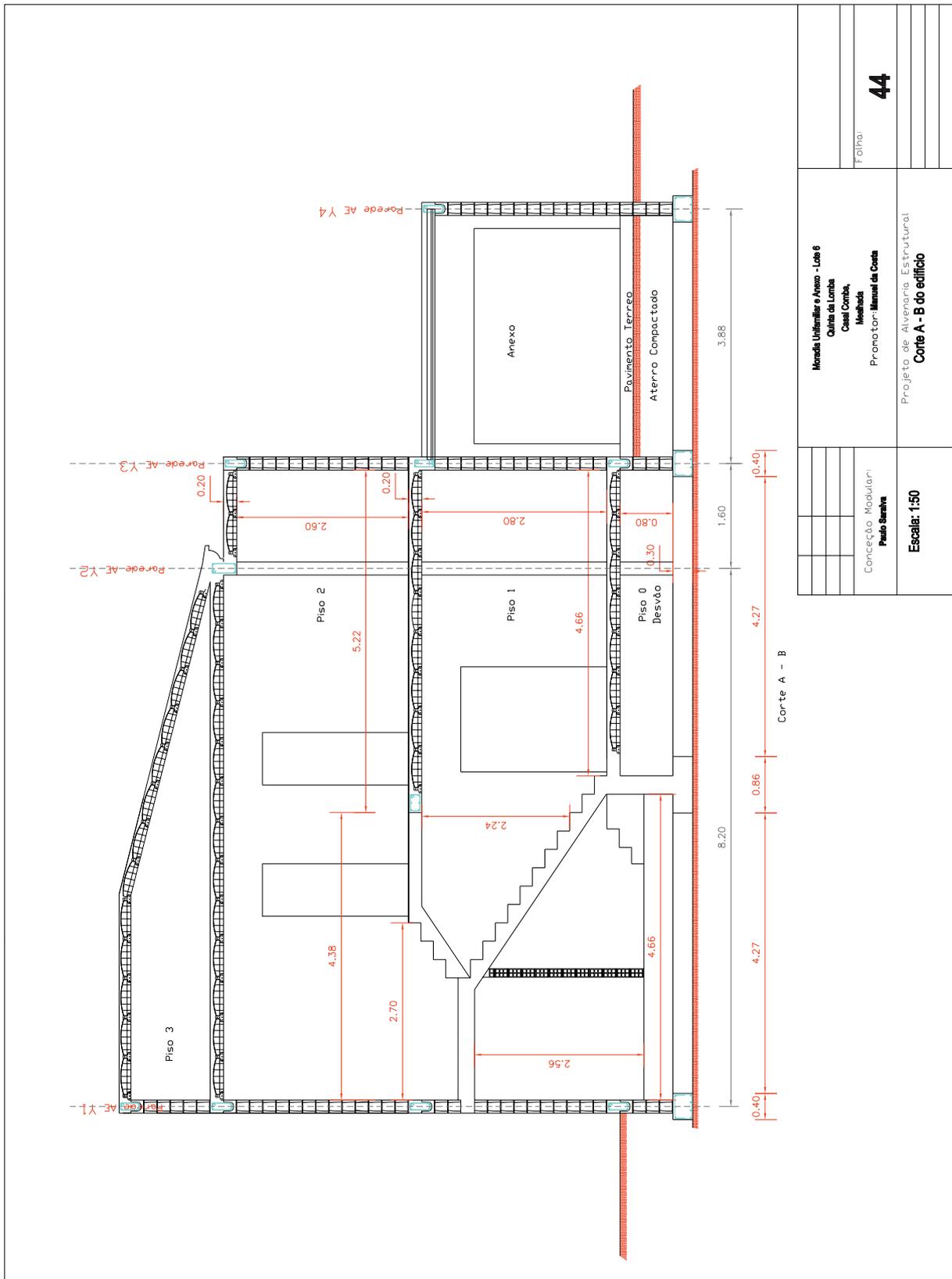
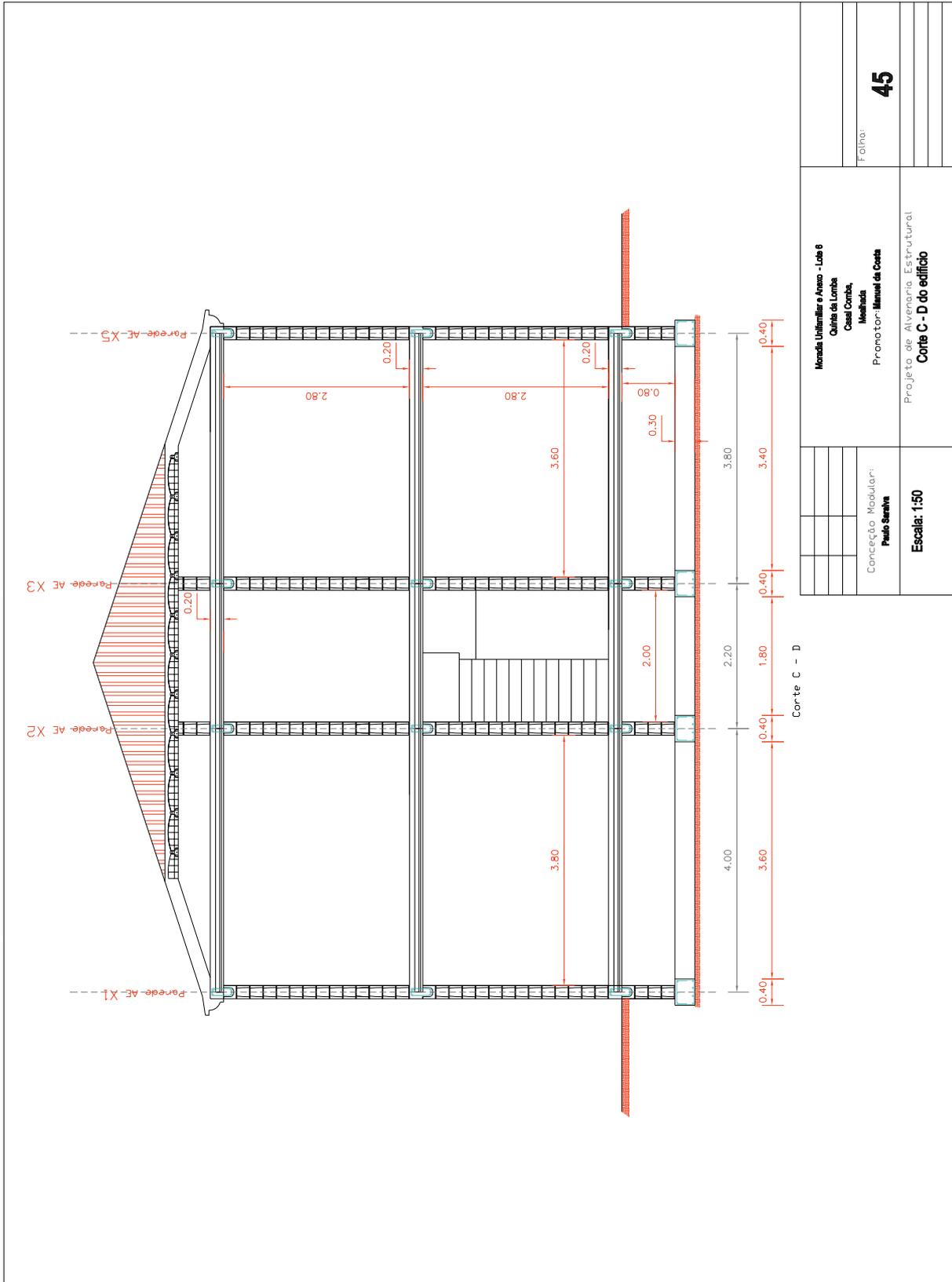


Figura B.15: Corte A – B da solução em AE



Microsda Unifamiliar e Anexo - Lote 6 Quinta de Lombo Casal Coruba, Matinica Promotor: Manual da Corba		<b>45</b>
Projeto de Alvenaria Estrutural Corte C - D do edifício		
Conceção Modular: Paulo Sampaio		
Escala: 1:50		

Figura B.16: Corte C – D da solução em AE

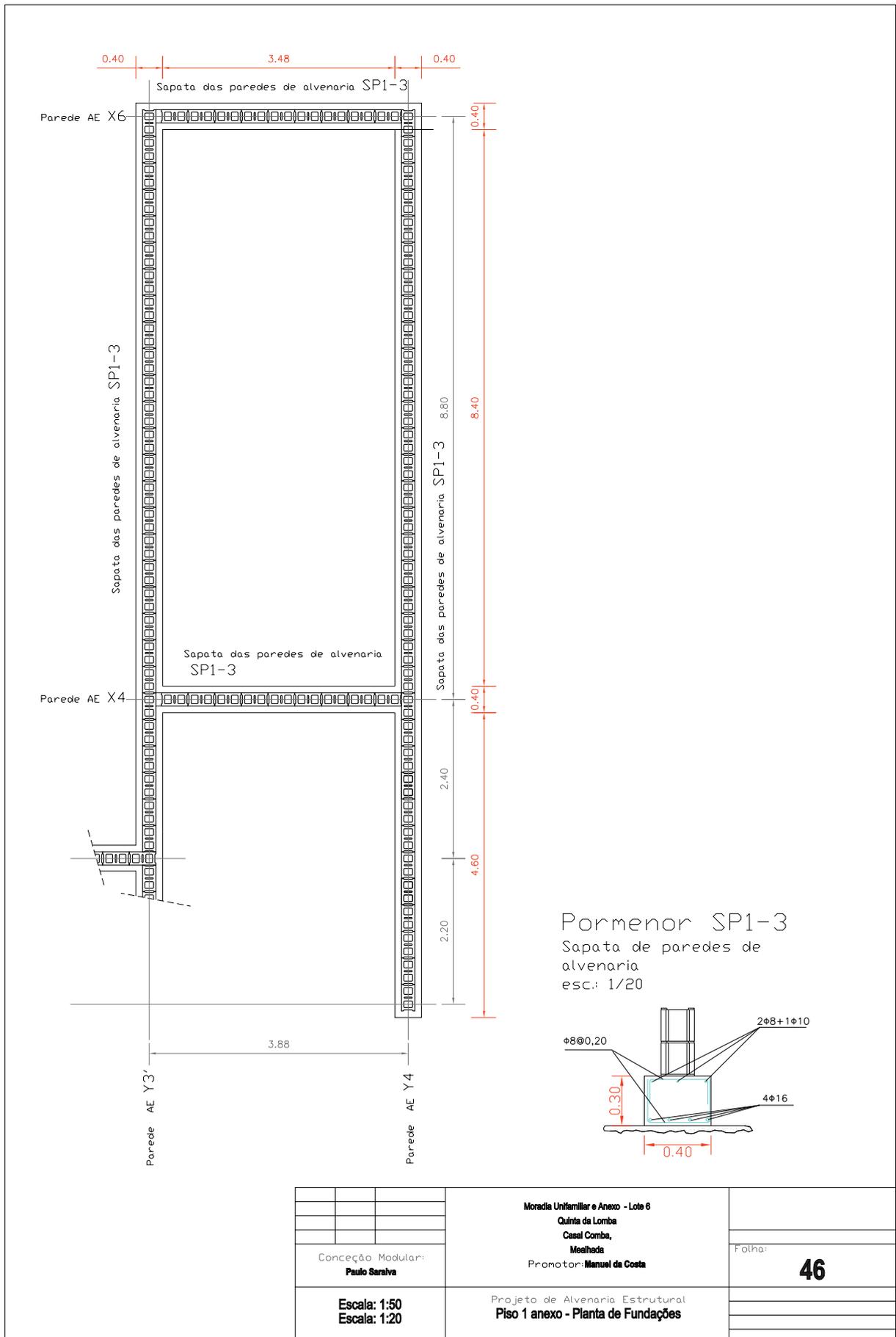


Figura B.17: Plantas de fundações e 1ª fiada do anexo da solução em AE

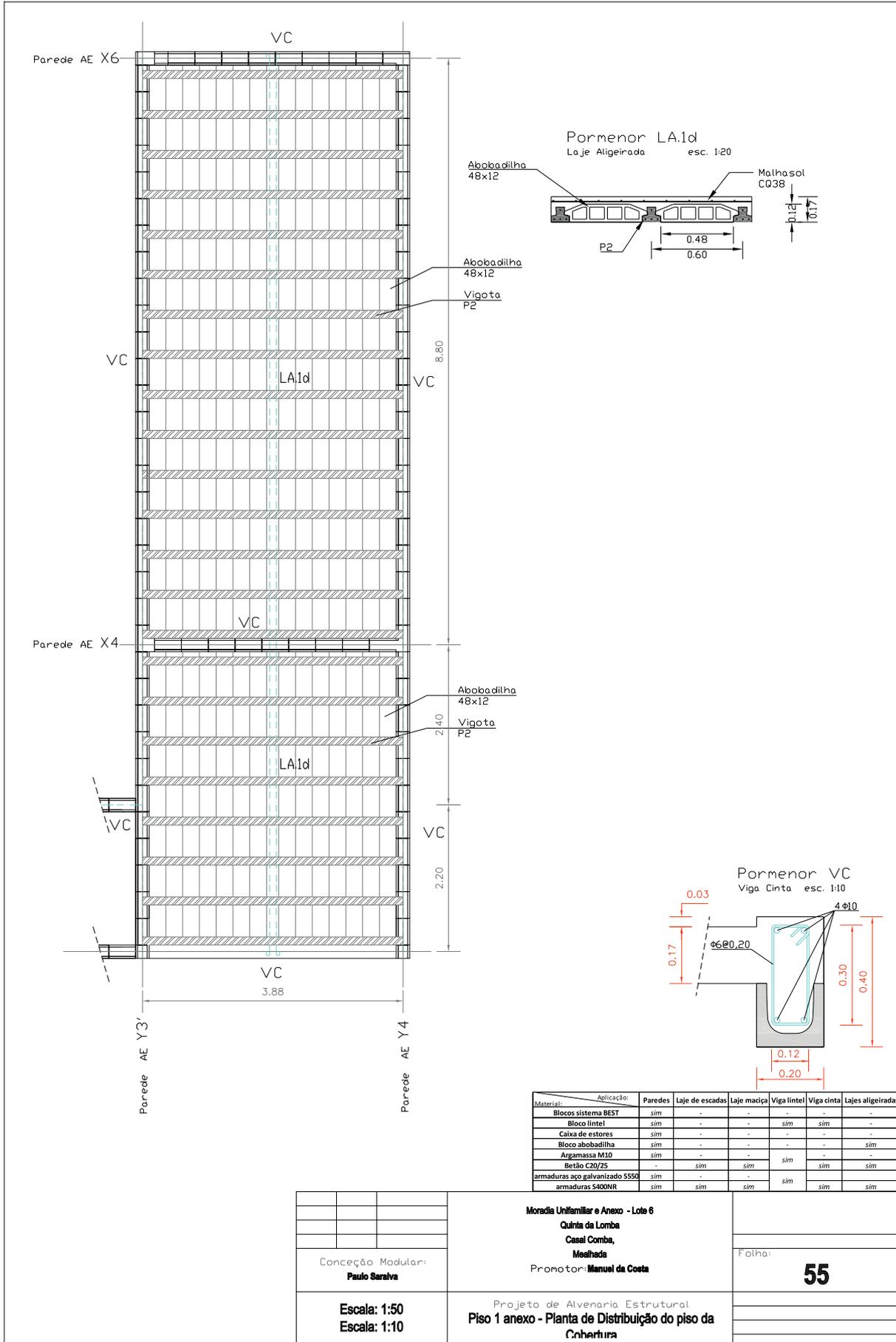


Figura B.18: Planta da laje da cobertura do anexo da solução em AE





Obra	Manuel da Costa			Localização			Qt.ª de Comba - Mealhada						Frente   Moradia			Medidor			Paulo Saraiva			Medição de vigas		
	Dimensões			Lage			Superiores			Varões			Inferiores			Estribos 1			Totais			Densidades		
	Localização	Qte	A H B	Bordo esquerdo	Bordo direito	Qte	Ø	Comp	Peso	Qte	Ø	Comp	Peso	Desenv.	Afast.	Ø	Peso	Belão	Cofragem	Aço	m2/m3	kg/m3	m2/m3	kg/m3
Vigas do piso 0																								
Portico 1	1	2,40	0,30	0,30	0,20	2	Ø 10	2,84	3,50 kg	2	Ø 10	2,84	3,50 kg	1,20	0,18	Ø 6	3,46 kg	0,22 m3	1,68 m2	10,46 kg	8,94 m2/m3	71,67 kg/m3		
Vigas do piso 1																								
Portico 1	2	4,20	0,20	0,40	0,20	2	Ø 10	4,65	11,48 kg	2	Ø 12	4,65	16,52 kg	1,20	0,18	Ø 6	12,25 kg	0,67 m3	6,72 m2	40,25 kg	8,94 m2/m3	71,67 kg/m3		
	2					2	Ø 10	1,30	3,21 kg	1	Ø 10	2,75	3,39 kg								6,60 kg			
	1					2	Ø 20	2,75	13,59 kg	2	Ø 10	2,95	3,64 kg								17,23 kg			
Vigas do piso 2																								
Portico 2	1	4,28	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,70	5,80 kg	2	Ø 12	4,65	8,26 kg	1,20	0,18	Ø 6	6,39 kg	0,34 m3	1,71 m2	20,45 kg	5,21 m2/m3	78,39 kg/m3		
	1					2	Ø 10	1,30	1,60 kg												1,60 kg			
	1	3,97	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,25	5,24 kg	2	Ø 12	4,25	7,55 kg	1,20	0,12	Ø 6	8,79 kg	0,32 m3	1,59 m2	21,56 kg				
	1					2	Ø 16	2,45	7,74 kg	1	Ø 10	2,40	1,48 kg								9,22 kg			
	1	1,95	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	2	Ø 10	2,75	3,39 kg	1,20	0,28	Ø 6	1,88 kg	0,16 m3	0,78 m2	8,21 kg				
	1					2	Ø 12	3,35	5,95 kg												5,95 kg			
Portico 3	1	4,02	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	4,45	5,49 kg	2	Ø 10	4,45	5,49 kg	1,00	0,23	Ø 6	3,77 kg	0,24 m3	2,01 m2	14,75 kg	6,15 m2/m3	87,94 kg/m3		
Portico 4	1	4,75	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	5,20	6,42 kg	2	Ø 12	5,20	9,24 kg	1,20	0,12	Ø 6	10,66 kg	0,38 m3	1,90 m2	26,32 kg	6,08 m2/m3	88,43 kg/m3		
	1					2	Ø 10	1,40	1,73 kg	1	Ø 12	2,85	2,53 kg								4,26 kg			
	1	3,50	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	3,80	4,69 kg	2	Ø 12	4,30	7,84 kg	1,20	0,12	Ø 6	7,73 kg	0,28 m3	1,40 m2	20,06 kg				
	1					2	Ø 16	2,60	8,22 kg												8,22 kg			
	1	2,22	0,40	0,20	0,20	3	Ø 12	3,25	8,66 kg	2	Ø 10	3,05	3,76 kg	1,20	0,18	Ø 6	3,20 kg	0,18 m3	0,89 m2	15,62 kg				
	1					4	Ø 10	1,55	3,83 kg	2	Ø 10	2,25	2,78 kg								6,61 kg			
Portico 5	1	3,65	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	4,09	5,05 kg	2	Ø 10	4,09	5,05 kg	1,00	0,23	Ø 6	3,55 kg	0,22 m3	1,83 m2	13,65 kg	6,21 m2/m3	74,50 kg/m3		
	1					4	Ø 10	1,15	2,84 kg												2,84 kg			
Portico 6	2	4,20	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,65	11,48 kg	2	Ø 10	4,60	11,35 kg	1,20	0,18	Ø 6	12,25 kg	0,67 m3	5,04 m2	35,08 kg	7,19 m2/m3	78,54 kg/m3		
	1					2	Ø 16	2,75	8,69 kg												8,69 kg			
Portico 7	1	3,65	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	4,09	5,05 kg	2	Ø 10	4,09	5,05 kg	1,00	0,23	Ø 6	3,55 kg	0,22 m3	1,83 m2	13,65 kg	8,33 m2/m3	61,71 kg/m3		
Portico 8	1	4,10	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,50	5,55 kg	2	Ø 12	4,90	8,70 kg	1,20	0,28	Ø 6	4,00 kg	0,33 m3	1,64 m2	18,25 kg	6,43 m2/m3	65,45 kg/m3		
	2					2	Ø 10	1,25	1,54 kg												1,54 kg			
	2					2	Ø 12	2,15	7,64 kg												7,64 kg			
	1	2,20	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	2	Ø 10	3,30	4,07 kg	1,20	0,28	Ø 6	2,13 kg	0,18 m3	0,88 m2	9,16 kg				
	1	3,90	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,30	5,31 kg	2	Ø 10	4,30	5,31 kg	1,20	0,28	Ø 6	3,73 kg	0,31 m3	1,56 m2	9,04 kg				
	1					2	Ø 10	1,25	1,54 kg												1,54 kg			
Portico 9	1	2,40	0,20	0,30	0,20	2	Ø 10	2,64	3,26 kg	2	Ø 12	2,90	5,15 kg	1,00	0,10	Ø 6	5,33 kg	0,14 m3	1,44 m2	13,74 kg	6,62 m2/m3	95,61 kg/m3		
	1					4	Ø 10	1,00	2,47 kg	1	Ø 10	2,50	1,54 kg								4,01 kg			
Portico 10	1	4,20	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,76	5,87 kg	2	Ø 12	4,66	8,28 kg	1,20	0,28	Ø 6	4,00 kg	0,34 m3	1,68 m2	18,15 kg	4,94 m2/m3	57,90 kg/m3		
	1					2	Ø 10	1,25	1,54 kg												1,54 kg			
Portico 11	1	4,00	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	4,54	5,60 kg	2	Ø 12	4,46	7,92 kg	1,20	0,28	Ø 6	3,73 kg	0,32 m3	1,60 m2	17,25 kg	5,00 m2/m3	53,91 kg/m3		
Portico 12	1	2,40	0,40	0,20	0,20	2	Ø 10	2,96	3,65 kg	2	Ø 10	2,86	3,53 kg	1,20	0,12	Ø 6	5,33 kg	0,19 m3	0,96 m2	12,51 kg	5,05 m2/m3	72,99 kg/m3		
	1					2	Ø 10	1,10	1,36 kg												1,36 kg			
Portico 13	1	2,71	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	3,05	3,76 kg	2	Ø 10	3,05	3,76 kg	1,00	0,10	Ø 6	5,99 kg	0,16 m3	1,36 m2	13,51 kg	8,40 m2/m3	98,96 kg/m3		
	1					2	Ø 12	2,05	3,64 kg												3,64 kg			
	1	4,41	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	4,65	5,74 kg	2	Ø 12	4,65	8,26 kg	1,00	0,18	Ø 6	5,55 kg	0,26 m3	2,21 m2	19,55 kg				
	1					2	Ø 16	2,75	8,69 kg	1	Ø 10	2,65	1,64 kg								10,33 kg			
	1	4,61	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	5,00	6,17 kg	2	Ø 12	5,00	8,88 kg	1,00	0,23	Ø 6	4,44 kg	0,28 m3	2,31 m2	19,49 kg				
	1					1	Ø 10	3,10	2,75 kg												2,75 kg			
Portico 14	1	4,80	0,30	0,20	0,20	2	Ø 10	5,10	6,29 kg	2	Ø 12	5,15	9,15 kg	1,00	0,10	Ø 6	10,66 kg	0,29 m3	2,40 m2	26,10 kg	8,34 m2/m3	111,97 kg/m3		
	1					2	Ø 10	1,40	1,73 kg	2	Ø 10	3,40	4,20 kg								5,93 kg			
	1					2	Ø 16	2,60	8,22 kg												8,22 kg			

Figura C.3: Folha 1 das medições das vigas da solução em BA



Obra	Manuel da Costa				Qt.ª da Comba - Mealhada				Frente	Moradia	Medidor	Paulo Saraiva		Medição de vigas									
	Dimensões		Lage		Superiores		Varões					Estribos		Totais		Densidades							
Localização	Qte	A	H	B	Bordo esquerdo	Bordo direito	Qte	Ø	Comp	Peso	Qte	Ø	Comp	Peso	Desenv.	Alast.	Ø	Peso	Betão	Cofragem	Aço	m2/m3	kg/m3
Portico 7	1	3,97	0,30	0,20	0,20	0,20	2	Ø 10	4,42	5,45 kg	2	Ø 10	4,42	5,45 kg	1,00	0,23	Ø 6	3,77 kg	0,24 m3	1,19 m2	14,67 kg	4,96 m2/m3	61,14 kg/m3
Portico 8	1	4,28	0,30	0,20	0,20		2	Ø 10	4,60	5,68 kg	2	Ø 10	5,10	6,29 kg	1,00	0,23	Ø 6	4,22 kg	0,26 m3	2,14 m2	16,19 kg	6,43 m2/m3	65,45 kg/m3
	1						2	Ø 10	1,30	1,60 kg				1,60 kg									
	1						2	Ø 10	4,45	5,49 kg				5,49 kg									
	1	4,27	0,30	0,20	0,20	0,20	2	Ø 10	4,40	5,43 kg	2	Ø 10	4,85	5,98 kg	1,00	0,23	Ø 6	4,22 kg	0,26 m3	2,14 m2	15,63 kg		
	1	1,04	0,30	0,20	0,20	0,20	2	Ø 10	1,25	1,54 kg				1,54 kg									
	1	1,25	0,30	0,20	0,20	0,20	2	Ø 10	1,45	1,79 kg	2	Ø 10	2,00	2,47 kg	1,00	0,23	Ø 6	1,11 kg	0,06 m3	0,52 m2	4,99 kg		
Portico 9	1	5,55	0,30	0,20	0,20	0,20	2	Ø 10	5,99	7,39 kg	2	Ø 12	5,99	10,64 kg	1,00	0,23	Ø 6	5,33 kg	0,33 m3	1,67 m2	23,36 kg	6,62 m2/m3	95,61 kg/m3
	2						2	Ø 10	1,55	3,83 kg				3,83 kg									

Obra	Manuel da Costa				Qte	H	Movimentação de terras
	Dimensões						
Sapata	A	B	H				
M1 e M4	8,85	0,90	0,40	2	0,40	6,37 m3	
M2 e M3	10,90	0,90	0,40	2	0,40	7,85 m3	
M5	8,10	0,75	0,40	1	0,40	2,43 m3	
M6	3,50	1,00	0,40	1	0,40	1,40 m3	
M7	1,70	1,30	0,40	1	0,40	0,88 m3	
M8	3,30	1,00	0,40	1	0,40	1,32 m3	
Sapata escada SP1-2	0,86	1,00	0,45	1	0,45	0,39 m3	
Anexo							
SP8 e SP19	0,70	1,10	0,50	2	0,50	0,77 m3	
SP13	1,10	1,10	0,50	1	0,50	0,61 m3	
SP14	0,85	0,90	0,50	1	0,50	0,38 m3	
SP18	1,00	1,00	0,50	1	0,50	0,50 m3	
SP20	0,90	0,75	0,50	1	0,50	0,34 m3	
SP21	0,75	0,75	0,50	1	0,50	0,28 m3	
Anexo							
VF1	21,26	0,50	0,40	1	0,40	4,25 m3	

Figura C.5: Folha 3 das medições das vigas e movimentação de terras, da solução em BA



Obra	Manuel da Costa				Qt.ª da Comba - Mealhada				Frente   Moradia				Medição de vigas cinta AE									
	Localização		Varões		Inferiores		Estribos		Totais		Densidades											
	Qte	Ø	Comp	Peso	Qte	Ø	Comp	Peso	Desenv.	Afast.	Ø	Peso	16,08 m3	149,11 m2	843,30 kg	9,27 m2/m3	52,44 kg/m3					
	Vigas Cinta																					
Vigas do piso 0																						
x1 e x5	2	8,00	0,20	0,35	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	0,95	0,20	Ø 6	16,87 kg	1,12 m3	11,20 m2	58,33 kg	10,00 m2/m3	52,08 kg/m3	
x2 e x3	2	9,60	0,20	0,35	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	0,95	0,20	Ø 6	20,25 kg	1,34 m3	9,60 m2	69,61 kg	7,78 m2/m3	51,59 kg/m3	
y1	1	10,20	0,20	0,35	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	0,95	0,20	Ø 6	10,76 kg	0,71 m3	7,14 m2	35,94 kg	10,06 m2/m3	50,61 kg/m3	
y2	1	8,20	0,20	0,35	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	0,95	0,20	Ø 6	8,65 kg	0,57 m3	5,74 m2	28,89 kg	10,07 m2/m3	50,68 kg/m3	
y3	1	2,40	0,20	0,35	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	0,95	0,20	Ø 6	2,53 kg	0,17 m3	1,68 m2	8,45 kg	9,88 m2/m3	49,71 kg/m3	
Vigas do piso 1																						
x1 e x5	2	8,00	0,20	0,35	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	0,95	0,20	Ø 6	16,87 kg	1,12 m3	11,20 m2	58,33 kg	10,00 m2/m3	52,08 kg/m3	
x2 e x3	2	9,60	0,20	0,35	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	0,95	0,20	Ø 6	20,25 kg	1,34 m3	9,60 m2	69,61 kg	7,78 m2/m3	51,59 kg/m3	
y1	1	10,20	0,20	0,35	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	0,95	0,20	Ø 6	10,76 kg	0,71 m3	7,14 m2	35,94 kg	10,06 m2/m3	50,61 kg/m3	
y2	1	8,20	0,20	0,35	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	0,95	0,20	Ø 6	8,65 kg	0,57 m3	5,74 m2	28,89 kg	10,07 m2/m3	50,68 kg/m3	
y3	1	2,40	0,20	0,35	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	0,95	0,20	Ø 6	2,53 kg	0,17 m3	1,68 m2	8,45 kg	9,88 m2/m3	49,71 kg/m3	
V1	1	2,40	0,30	0,20	2	Ø 10	2,64	3,26 kg	2	Ø 12	2,90	5,15 kg	1,00	0,10	Ø 6	5,33 kg	0,14 m3	1,20 m2	13,74 kg	8,57 m2/m3	126,77 kg/m3	
	1				4	Ø 10	1,00	2,47 kg	1	Ø 10	2,50	1,54 kg							4,01 kg			
Vigas do piso 2																						
x1 e x5	2	8,00	0,20	0,35	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	2	Ø 10	8,40	20,73 kg	0,95	0,20	Ø 6	16,87 kg	1,12 m3	11,20 m2	58,33 kg	10,00 m2/m3	52,08 kg/m3	
x2 e x3	2	9,60	0,20	0,35	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	2	Ø 10	10,00	24,68 kg	0,95	0,20	Ø 6	20,25 kg	1,34 m3	9,60 m2	69,61 kg	7,78 m2/m3	51,59 kg/m3	
y1	1	10,20	0,20	0,35	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	2	Ø 10	10,20	12,59 kg	0,95	0,20	Ø 6	10,76 kg	0,71 m3	7,14 m2	35,94 kg	10,06 m2/m3	50,61 kg/m3	
y2	1	8,20	0,20	0,35	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	2	Ø 10	8,20	10,12 kg	0,95	0,20	Ø 6	8,65 kg	0,57 m3	5,74 m2	28,89 kg	10,07 m2/m3	50,68 kg/m3	
y3	1	2,40	0,20	0,35	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	2	Ø 10	2,40	2,96 kg	0,95	0,20	Ø 6	2,53 kg	0,17 m3	1,68 m2	8,45 kg	9,88 m2/m3	49,71 kg/m3	
V1	1	2,40	0,30	0,20	2	Ø 10	2,64	3,26 kg	2	Ø 12	2,90	5,15 kg	1,00	0,10	Ø 6	5,33 kg	0,14 m3	1,20 m2	13,74 kg	8,57 m2/m3	126,77 kg/m3	
	1				4	Ø 10	1,00	2,47 kg	1	Ø 10	2,50	1,54 kg							4,01 kg			
Vigas do piso 3																						
x2 e x3	2	8,00	0,20	0,35	2	Ø 10	8,00	19,74 kg	2	Ø 10	8,00	19,74 kg	0,95	0,20	Ø 6	16,87 kg	1,12 m3	11,20 m2	56,35 kg	7,78 m2/m3	51,59 kg/m3	
y1 e y2	2	2,40	0,20	0,35	2	Ø 10	2,40	5,92 kg	2	Ø 10	2,40	5,92 kg	0,95	0,20	Ø 6	5,06 kg	0,34 m3	3,36 m2	16,90 kg	9,88 m2/m3	49,71 kg/m3	
Vigas do anexo																						
x2, x4 e x6	3	4,08	0,20	0,35	2	Ø 10	4,08	15,10 kg	2	Ø 10	4,08	15,10 kg	0,95	0,20	Ø 6	12,65 kg	0,86 m3	8,57 m2	42,85 kg	9,97 m2/m3	49,83 kg/m3	
y3'	1	11,40	0,20	0,35	2	Ø 10	11,40	14,07 kg	2	Ø 10	11,40	14,07 kg	0,95	0,20	Ø 6	12,02 kg	0,80 m3	7,98 m2	40,16 kg	9,98 m2/m3	50,20 kg/m3	
y4	1	13,60	0,20	0,35	2	Ø 10	13,60	16,78 kg	2	Ø 10	13,60	16,78 kg	0,95	0,20	Ø 6	14,34 kg	0,95 m3	9,52 m2	47,90 kg	10,02 m2/m3	50,42 kg/m3	

Figura C.7: Medições da vigas cinta da solução em AE



## C.2 Mapas de quantidades

### C.2.1 Articulado da solução em BA

Nº DO ARTIGO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	TOTAL	PREÇO UNIT. €	IMPORTÂNCIA	
					PARCIAL	TOTAL
<b>1</b>	<b>ESTALEIRO</b>					<b>6.750,00</b>
1.1	Estaleiro de obra de modo a abranger todas as frentes de trabalho necessárias à sua execução:					
1.1.1	Montagem de estaleiro.	vg	1,00	1.000,00 €	1.000,00 €	
1.1.2	Manutenção do estaleiro pelo período previsto para a execução da obra.	vg	1,00	5.000,00 €	5.000,00 €	
1.1.3	Desmontagem do estaleiro e limpezas finais da obra.	vg	1,00	750,00 €	750,00 €	
<b>2</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRAS</b>					<b>1.494,92 €</b>
2.1	Escavação geral de terras, em terreno de qualquer natureza, para se atingirem as cotas de implantação do fundo da caixa de pavimento.	vg	1,00	1.000,00 €	1.000,00 €	
2.2	Escavação geral de terras, em terreno de qualquer natureza, na abertura de fundações para implantação de sapatas de pilares, escadas e vigas de fundação.	m3	27,77	6,00 €	166,62 €	
2.3	Reposição de terras sobre elementos betonados, utilizando produtos seleccionados provenientes das escavações, incluindo compactação.	vg	1,00	220,00 €	220,00 €	
2.4	Remoção e transporte de produtos sobranes a vazadouro ou local de depósito a qualquer distância (considerado um empolamento de 30%).	m3	36,10	3,00 €	108,30 €	
<b>3</b>	<b>BETÕES, COFRAGEM, ARMADURAS</b>					
<b>3.1</b>	<b>BETÕES</b>					<b>6.879,38 €</b>
3.1.1	Fornecimento e aplicação de betão C12/15 sob sapatas e vigas de fundação com 5cm de espessura média.	m3	2,45	75,00 €	183,53 €	
3.1.2	Fornecimento e aplicação de betão da classe C20/25 incluindo vibração em:					
3.1.2.1	Sapatas.	m3	13,25	80,00 €	1.060,00 €	
3.1.2.2	Vigas de fundação.	m3	1,91	75,00 €	143,25 €	
3.1.2.3	Pilares.	m3	9,47	190,00 €	1.799,30 €	
3.1.2.4	Vigas elevadas.	m3	13,59	190,00 €	2.582,10 €	
3.1.2.5	Muro de betão armado	m3	10,38	80,00 €	830,40 €	
3.1.2.6	Varanda e Escadas incluindo degraus.	m3	3,51	80,00 €	280,80 €	
<b>3.2</b>	<b>COFRAGEM</b>					<b>4.802,19 €</b>
3.2.1	Cofragem tradicional plana, em:					
3.2.1.1	Sapatas.	m²	45,92	10,00 €	459,20 €	
3.2.1.2	Vigas de fundação.	m²	12,76	10,00 €	127,60 €	
3.2.1.3	Pilares.	m²	144,33	11,00 €	1.587,63 €	
3.2.1.4	Vigas elevadas.	m²	92,00	12,00 €	1.104,00 €	

Figura C.9: Folha 1 do articulado da solução em BA

Nº DO ARTIGO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	TOTAL	PREÇO UNIT. €	IMPORTÂNCIA		
					PARCIAL	TOTAL	
3.2.1.5	Muro de betão armado	m²	103,60	10,00 €	1.036,00 €		
3.2.1.6	Laje de varanda e escadas incluindo degraus.	m²	37,52	13,00 €	487,76 €		
<b>3.3</b>	<b>ARMADURAS</b>					<b>4.923,63 €</b>	
3.3.1	Fornecimento e montagem de armaduras de aço A400 NR, incluindo todos os trabalhos de dobragem, corte, amarração e colocação em obra, de acordo com os pormenores, em.						
3.3.1.1	Sapatas	kg	670,46	1,25 €	838,08 €		
3.3.1.2	Vigas de fundação	kg	97,41	1,25 €	121,76 €		
3.3.1.3	Pilares	kg	1.013,35	1,25 €	1.266,69 €		
3.3.1.4	Vigas elevadas.	kg	1.103,70	1,25 €	1.379,63 €		
3.3.1.5	Em muro de betão armado	kg	728,86	1,25 €	911,08 €		
3.3.1.6	Laje de varanda e escadas	kg	325,12	1,25 €	406,40 €		
<b>4</b>	<b>ALVENARIAS</b>					<b>4.225,92 €</b>	
	Fornecimento e assentamento de alvenaria simples de bloco 50x20x20, assente c/ argamassa de cimento hidrófuga tipo M5, a aplicar em paredes exteriores para receber ETICS.						
4.1		m²	317,16	12,00 €	3.805,92 €		
4.2	Caixas de estores de poliestileno 25/25 do tipo sotecnisol	ml	14,00	30,00 €	420,00 €		
<b>5</b>	<b>LAJES</b>					<b>13.729,80 €</b>	
	Fornecimento e aplicação de laje Aligeirada, incluindo vigotas, abobadilhas, armadura de distribuição, tarugos e respectiva camada de betão, conforme memória descritiva.						
5.1	Do tipo - 2P2-48x12-17						
5.1.1		LA_0A	m²	30,40	40,00 €	1.216,00 €	
		LA_0C	m²	32,00	40,00 €	1.280,00 €	
		LA_1A	m²	30,40	40,00 €	1.216,00 €	
		LA_1C	m²	32,00	40,00 €	1.280,00 €	
5.1.2	Do tipo - P1-48x12-17						
		LA_0B	m²	9,57	38,00 €	363,66 €	
		LA_1B	m²	12,89	38,00 €	489,82 €	
		LA_2B	m²	21,12	38,00 €	802,56 €	
		LA_3B	m²	17,60	38,00 €	668,80 €	
		LA_1D	m²	51,68	38,00 €	1.963,84 €	
5.1.3	Do tipo - P2-48x12-17						
		LA_2A	m²	30,40	39,00 €	1.185,60 €	
		LA_2C	m²	32,00	39,00 €	1.248,00 €	
5.1.4	Do tipo - P2-38x12-17						
		LA_0D	m²	51,68	39,00 €	2.015,52 €	
<b>6</b>	<b>COBERTURA</b>					<b>3.778,32 €</b>	
	Fornecimento e aplicação de laje Aligeirada, incluindo vigotas, abobadilhas, armadura de distribuição, tarugos e respectiva camada de betão, conforme memória descritiva.						
6.1		m²	96,88	39,00 €	3.778,32 €		
					<b>Total</b>	<b>46.584,15 €</b>	

Figura C.10: Folha 2 do articulado da solução em BA

## C.2.2 Articulado da solução em AE

Nº DO ARTIGO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	TOTAL	PREÇO UNIT. €	IMPORTÂNCIA	
					PARCIAL	TOTAL
<b>1</b>	<b>ESTALEIRO</b>					<b>5.750,00 €</b>
1.1	Estaleiro de obra de modo a abranger todas as frentes de trabalho necessárias à sua execução:					
1.1.1	Montagem de estaleiro.	vg	1,00	1.000,00 €	1.000,00 €	
1.1.2	Manutenção do estaleiro pelo período previsto para a execução da obra.	vg	1,00	4.000,00 €	4.000,00 €	
1.1.3	Desmontagem do estaleiro e limpezas finais da obra.	vg	1,00	750,00 €	750,00 €	
<b>2</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRAS</b>					<b>1.350,21 €</b>
2.1	Escavação geral de terras, em terreno de qualquer natureza, para se atingirem as cotas de implantação do fundo da caixa de pavimento.	vg	1,00	1.000,00 €	1.000,00 €	
2.2	Escavação geral de terras, em terreno de qualquer natureza, na abertura de fundações para implantação de sapatas de pilares, escadas e vigas de fundação.	m <sup>3</sup>	22,95	6,00 €	137,70 €	
2.3	Reposição de terras sobre elementos betonados, utilizando produtos seleccionados provenientes das escavações, incluindo compactação.	vg	1,00	123,00 €	123,00 €	
2.4	Remoção e transporte de produtos sobranes a vazadouro ou local de depósito a qualquer distância (considerado um empolamento de 30%).	m <sup>3</sup>	29,84	3,00 €	89,51 €	
<b>3</b>	<b>BETÕES, COFRAGEM, ARMADURAS</b>					
<b>3.1</b>	<b>BETÕES</b>					<b>4.567,34 €</b>
3.1.1	Fornecimento e aplicação de betão C12/15 sob sapatas e vigas de fundação com 5cm de espessura média.	m <sup>3</sup>	1,84	75,00 €	138,34 €	
3.1.2	Fornecimento e aplicação de betão da classe C20/25 incluindo vibração em:					
3.1.2.1	Sapatas.	m <sup>3</sup>	11,30	80,00 €	904,00 €	
3.1.2.2	Vigas cinta	m <sup>3</sup>	16,08	190,00 €	3.055,20 €	
3.1.2.3	Vigas lintel	m <sup>3</sup>	0,81	190,00 €	153,90 €	
3.1.2.4	Varanda e Escadas incluindo degraus.	m <sup>3</sup>	3,51	90,00 €	315,90 €	
<b>3.2</b>	<b>COFRAGEM</b>					<b>2.942,72 €</b>
3.2.1	Cofragem tradicional plana, em:					
3.2.1.1	Sapatas.	m <sup>2</sup>	58,05	10,00 €	580,50 €	
3.2.1.2	Vigas cinta.	m <sup>2</sup>	149,11	12,00 €	1.789,32 €	
3.2.1.3	Vigas lintel.	m <sup>2</sup>	7,74	11,00 €	85,14 €	
3.2.1.4	Laje de varanda e escadas incluindo degraus.	m <sup>2</sup>	37,52	13,00 €	487,76 €	

Figura C.11: Folha 1 do articulado da solução em AE

Nº DO ARTIGO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	TOTAL	PREÇO UNIT. €	IMPORTÂNCIA	
					PARCIAL	TOTAL
<b>3.3</b>	<b>ARMADURAS</b>					<b>3.310,75 €</b>
3.3.1	Fornecimento e montagem de armaduras de aço A400 NR, incluindo todos os trabalhos de dobragem, corte, amarração e colocação em obra, de acordo com os pormenores, em.					
3.3.1.1	Sapatas	kg	969,59	1,25 €	1.211,99 €	
3.3.1.4	Vigas cinta	kg	843,30	1,25 €	1.054,13 €	
3.3.1.4	Vigas lintel	kg	121,15	1,25 €	151,44 €	
3.3.1.6	Laje de varanda e escadas	kg	325,12	1,25 €	406,40 €	
<b>3.4</b>	<b>ARMADURA DE FIADA</b>					
3.4.1	Fornecimento e assentamento de armadura de fiada Murfor RND/Z.5-175	ml	695,43	0,70 €	486,80 €	
<b>4</b>	<b>ALVENARIAS</b>					<b>6.457,00 €</b>
4.1	Fornecimento e assentamento de alvenaria simples de bloco BEST , assente c/ argamassa de cimento hidrófuga tipo M10.	m²	393,58	14,00 €	5.510,12 €	
4.2	Fornecimento e assentamento de canetele , assente c/ argamassa de cimento hidrófuga tipo M10.	ml	263,44	2,00 €	526,88 €	
4.3	Caixas de estores de poliestileno 25/25 do tipo sotecnisol	ml	14,00	30,00 €	420,00 €	
<b>5</b>	<b>LAJES</b>					<b>13.729,80 €</b>
	Fornecimento e aplicação de laje Aligeirada, incluindo vigotas, abobadilhas, armadura de distribuição, tarugos e respectiva camada de betão, conforme memória descritiva.					
5.1	Do tipo - 2P2-48x12-17					
5.1.1		LA_0A	m²	30,40	40,00 €	1.216,00 €
		LA_0C	m²	32,00	40,00 €	1.280,00 €
		LA_1A	m²	30,40	40,00 €	1.216,00 €
		LA_1C	m²	32,00	40,00 €	1.280,00 €
5.1.2	Do tipo - P1-48x12-17					
		LA_0B	m²	9,57	38,00 €	363,66 €
		LA_1B	m²	12,89	38,00 €	489,82 €
		LA_2B	m²	21,12	38,00 €	802,56 €
		LA_3B	m²	17,60	38,00 €	668,80 €
		LA_1D	m²	51,68	38,00 €	1.963,84 €
5.1.3	Do tipo - P2-48x12-17					
		LA_2A	m²	30,40	39,00 €	1.185,60 €
		LA_2C	m²	32,00	39,00 €	1.248,00 €
5.1.4	Do tipo - P2-38x12-17					
		LA_0D	m²	51,68	39,00 €	2.015,52 €
<b>6</b>	<b>COBERTURA</b>					<b>3.778,32 €</b>
6.1	Fornecimento e aplicação de laje Aligeirada, incluindo vigotas, abobadilhas, armadura de distribuição, tarugos e respectiva camada de betão, conforme memória descritiva.	m²	96,88	39,00 €	3.778,32 €	
					<b>TOTAL =</b>	<b>41.886,13 €</b>

Figura C.12: Folha 2 do articulado da solução em [AE](#)