

Solução Construtiva com Elementos de Aço Enformados a Frio

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

David Emanuel Gomes Gouveia

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

janeiro | 2015

T/4
624
606 Sol
te DR

UNIVERSIDADE DA MADEIRA
BIBLIOTECA

Solução Construtiva com Elementos de Aço Enformados a Frio

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

David Emanuel Gomes Gouveia

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR
Paulo Silva Lobo

RESUMO

A atual dissertação consiste numa apreciação global dos vários critérios que integram a aplicação do método construtivo de elementos estruturais de aço enformado a frio, muitas vezes designado por método prescritivo da construção em “aço leve”, “Light Steel Framing” (LSF) ou em alternativa também designado de “Light Gauge Steel Framing” (LGSF) e está especialmente vocacionado para a construção de edifícios de um a três pisos. Este conceito tem origem no facto de se usar chapas de aço de espessura reduzida, respetivamente mais leve, para fabricação dos perfis o que contribui para um menor peso dos elementos estruturais.

Será abordado essencialmente o sector dos edifícios de habitação bem como a reabilitação dos mesmos, com recurso à solução em estudo, dado que é um dos setores que detém maior impacto socio-económico e ambiental.

O estudo engloba igualmente a descrição e análise dos métodos construtivos, bem como os produtos empregues nesta solução sustentável, definindo desta forma uma resposta ajustada a cada subsistema da construção, desde estrutura, pavimentos, coberturas, fachadas, divisórias, climatização e acústica.

Por fim, para obter um retrato da prática na Região Autónoma da Madeira, face a este tipo de construção sustentável, realizou-se uma análise de casos de estudo, nomeadamente no que diz respeito à viabilidade económica desta solução construtiva.

Palavras-chave: Aço enformado a frio; Light Steel Framing; Construção sustentável; Viabilidade económica.

ABSTRACT

This dissertation intends to conduct a comprehensive assessment of the criteria that integrates the application of the constructive method of cold-formed steel, often referred to as the prescriptive method of construction with “mild steel”, or “Light steel framing” (LSF) or alternatively also called the "Light Gauge Steel Framing" (LGSF) and it is specially devoted to the construction of buildings of one to three floors. This concept results from the fact that the steel elements present low weight, because they are produced from steel plate with reduced thickness, resulting in a very low total weight of the structural elements.

The building sector will be addressed, since it is one of the areas with greater impact on society, economy and environment. Also, the implementation of solutions that use cold formed structural steel in rehabilitation of buildings is focused.

The study also includes the description and analysis of the construction methods of the products used in this sustainable solution and the different constructive solutions, thereby defining an adjusted response for each subsystem of the building, namely primary frames, floors, roofs, facades, partitions, air conditioning and acoustic.

Finally, in order to obtain a portrait of practice in Região Autónoma da Madeira, regarding this type of sustainable buildings, a survey of case studies, in particular regarding the economic viability of this constructive solution, is carried out.

Keywords: Cold-formed steel; Light Steel Framing; Sustainable construction; Economic viability.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer especialmente aos meus pais por todo o apoio e sustento concedido durante estes anos, pela atenção e paciência que me transmitiram ao longo do meu percurso universitário e, em particular, na realização desta atividade.

Demonstro também a minha gratidão ao Professor Paulo Silva Lobo, orientador da dissertação, pela disponibilidade, a partilha de conhecimentos e por me continuar a auxiliar nesta caminhada motivando o meu interesse pelo conhecimento e pela vida académica.

Ao empreiteiro Carlos Goulart, da empresa Goulart-Construções, Lda (soluções de LSF), agradeço toda a sua disponibilidade em facultar material informativo essencial na realização desta atividade.

Agradeço ao Professor Sérgio Lousada pelo fornecimento de dados orçamentais essenciais na realização desta tarefa.

Agradeço também à Tânia por todo o carinho e contínuo estímulo que me transmitiu acreditando sempre em mim e nas minhas competências.

A todos os meus amigos e colegas de curso que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a realização desta dissertação, o meu sentido agradecimento.

Funchal, Janeiro 2015

David Gouveia

ÍNDICE

Resumo.....	III
Abstract	V
Agradecimentos.....	VII
Índice de Figuras	XIII
Índice de Quadros	XVII
Lista de abreviaturas	XVIII
1 Considerações gerais	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura e organização da dissertação.....	4
2 Estado de arte	5
2.1 Contextualização	5
2.2 Processos de fabrico	6
2.3 Elementos estruturais	8
2.3.1 Produtos de aço enformados a frio	9
2.4 Comportamento estrutural.....	12
2.4.1 Conceito de estabilidade do equilíbrio	12
2.4.2 Método de resistência direta (MRD).....	15
2.5 Vantagens e desvantagens	16
2.5.1 Método Construtivo LSF.....	16
2.5.1.1 Fatores limitadores do método construtivo em aço enformado a frio.....	17
3 Solução construtiva	19
3.1 Outros materiais utilizados na construção com LSF	20
3.1.1 Oriented strand board (OSB).....	20
3.1.2 Lã mineral	22
3.1.3 Placas de gesso cartonado	22

3.1.4 Isolamento acústico	23
3.1.5 Parafusos Auto perfurantes e roscantes	24
3.2 Caracterização do desempenho térmico das construções em aço enformado a frio	26
3.2.1 Isolamento integrado na cavidade	27
3.2.2 Isolamento pelo exterior	28
3.3 Análise integral da Solução	29
3.3.1 Fundações	29
3.3.2 Estrutura.....	30
3.3.2.1 Ligações	33
3.3.2.2 Paredes exteriores.....	35
3.3.2.3 Paredes interiores e tetos	37
3.3.2.4 Lajes de piso	38
3.3.2.5 Cobertura.....	39
3.3.3 Pormenores construtivos.....	40
3.4 Reabilitação	43
3.4.1 Limitações	46
4 Análise de viabilidade económica.....	49
4.1 Características que fazem do LSF uma solução a considerar no mercado da construção	49
4.2 Parâmetros a considerar na fase de orçamentação.....	50
4.3 Casos de estudo	52
4.3.1 Projetos	54
4.3.2 Estudo da solução LSF	56
4.3.3 Estudo da solução em betão armado.....	60
4.3.4 Comparação de Resultados.....	66
5 Considerações finais	69
5.1 Conclusões:	69
5.2 Notas finais:	69

5.3 Desenvolvimentos Futuros	70
Referências.....	71
Anexos	73
○ Anexo A - Regulamentação	73
○ Anexo B - Representação do processo de Enformagem a frio	75
○ Anexo C – Quadro de análise dos perfis mais usuais em LSF	77
○ Anexo D – Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol em LSF	79
○ Anexo E – Mapa orçamental do projeto de Palmela em LSF	81
○ Anexo F – Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol realizado na solução corrente (B.A.)	83
○ Anexo G – Mapa orçamental do projeto de Palmela realizado na solução corrente (B.A.)	85
○ Anexo H - Desenhos dos elementos de parede em LSF Ponta do Sol	87
○ Anexo I - Desenhos dos elementos de parede em LSF Palmela	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura de moradia em aço enformado a frio na zona da Lombada, Ponta do Sol (Goulart Construções Lda)	2
Figura 2- Processo de quinagem [<i>“Press braking”</i>] (Geraldes, 2012).....	7
Figura 3- Máquina perfilhadora/laminagem a frio de perfis de aço (Perfilhadora, 2014).....	8
Figura 4- Matéria-prima: Rolo de chapa de aço galvanizado usado para produzir perfis na solução construtiva LSF (Morreira, 2012)	8
Figura 5- Exemplo de perfis U enrijecido (C ou Eu) e U simples (U).....	9
Figura 6- Exemplo de perfis “Hat” e “Rack”	10
Figura 7- Tipos de perfis/secções de aço enformados a frios mais comuns usados no sistema construtivo LSF (Veríssimo, 2008).....	10
Figura 8- Chapas de aço enformadas a frio para aplicação em lajes como cofragem colaborante na solução construtiva em LSF (Veríssimo, 2008)	11
Figura 9- Perfil U simples (U) e U enrijecido (Ue ou C) (Veríssimo, 2008).....	11
Figura 10- Comportamento estrutural: (A) Instabilidade local; (B) Torção; (C) Empenamento (Veríssimo, 2008).....	13
Figura 11- Desenvolvimento da tensão crítica a medida que aumenta o nº de esforços na secção (Veríssimo, 2008).....	13
Figura 12- Colapsos da alma: (D) junto aos apoios; (E) na zona de aplicação de cargas concentradas	14
Figura 13- Fases do processo de endurecimento, antes e depois da laminagem a frio (Pinto, 2010) ..	14
Figura 14- Exemplo da distribuição das tensões ao longo da linha média da secção (Pinto, 2010)	15
Figura 15- Produção de perfis de aço (laminagem a frio) em obra (Rego, 2012).....	19
Figura 16- Ilustração das características de alguns parafusos <i>standard</i> : tipo de ponta, cabeça e fixação ao revestimento (Moreira, 2012).....	25
Figura 17- Ilustração da aplicação de isolamento térmico pelo exterior, sistema ETICS (Neves, 2011)	28
Figura 18- Construção da laje de fundação da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)	29

Figura 19- Exemplo de ancoragem entre estrutura metálica e fundação em betão armado (GoulartconstruçõesLda, 2013)	30
Figura 20- Esquema construtivo LSF (Portuguesa, 2014)	31
Figura 21- Estrutura em aço enformado a frio da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)	32
Figura 22- Pormenores de ligação entre perfis de viga com recurso a cantoneiras aparafusadas nos encontros.....	33
Figura 23- Pormenores de ligação entre perfis de viga por meio de cantoneiras aparafusadas nos encontros:	33
Figura 24- Pormenores de ligação: esquerda - ligação pilar-canal base; direita - viga de telhado com canal topo.....	34
Figura 25- Pormenor tipo de aplicação de faixas de travamento mais comuns.....	34
Figura 26- Representação tipo de uma parede exterior executada em LSF (Neves, 2011).....	35
Figura 27- Revestimento da estrutura da Obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013).....	36
Figura 28- Aplicação do revestimento exterior: EPS; Reboco impermeabilizante armado da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013).....	37
Figura 29- Esquema representativo da solução de paredes interiores: 1-Painel de gesso cartonado; 2- Lã de rocha; 3- Estrutura da parede (Neves, 2011).	37
Figura 30- Aplicação de revestimentos interiores nomeadamente aplicação de material acústico (lã de rocha) e gesso cartonado no teto e paredes (GoulartconstruçõesLda, 2013).....	38
Figura 31- Lajes tipo da solução em LSF: a) solução para laje de cobertura; b)solução para laje entre pisos (Neves, 2011).	38
Figura 32- Aplicação de poliureia projetada como impermeabilizante na cobertura da moradia da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013).....	40
Figura 33- Cobertura inclinada utilizada na solução construtiva de LSF (Futureng,2010).....	40
Figura 34- Remodelação da estrutura anexa à moradia da Lombada, Ponta do Sol com recurso da solução em aço enformado a frio (GoulartconstruçõesLda, 2013).....	44
Figura 35- Método painel com inclinação (Crasto, 2005).....	45
Figura 36- Método de Painéis escalonados (Crasto, 2005)	46

Figura 37- Reabilitação de cobertura de uma moradia em Allhos Vedros (Futureng, 2012)	47
Figura 38- Reabilitação de edifício em Leç XIV meira com construção de um piso totalmente com recurso a esta solução (Futureng, 2011).....	47
Figura 39- Planta da moradia da Ponta do Sol (Lombada)	54
Figura 40- Ilustração da planta do projeto de Palmela.....	55
Figura 41- Esboço da disposição dos pilares e vigas que foram adotadas na análise orçamental da solução corrente de alvenaria e B.A. para a obra de Palmela.....	61
Figura 42- Esboço da disposição dos pilares e vigas que foram adotadas na análise orçamental da solução corrente de alvenaria e B.A. para a obra da Ponta do Sol	62
Figura 43- Representação do processo de laminagem a frio [“Cold Rolling”] (Veríssimo, 2008).....	75

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Princípios básicos da construção sustentável admitidos também na construção de aço enformados a frio (adaptado de Geraldès, 2012)	3
Quadro 2- Dimensões <i>standard</i> dos perfis mais usados do tipo U simples, U enrijecido e cantoneira (L).....	12
Quadro 3- Vantagens da construção com elementos em aço enformado a frio (adaptado de Neves (2011) e Pires (2013)).....	16
Quadro 4- Desvantagens da construção com elementos em aço enformado a frio (adaptado de Neves (2011) e Pires (2013))	17
Quadro 5- Classes de OSB tendo em conta os fins e ambientes em que serão aplicados.....	21
Quadro 6- Descrição do tipo de parafusos, mais usuais na solução LSF, com respetivas aplicações .25 (adaptado de Rego, 2012).....	25
Quadro 7- Definição das características dos perfis tendo em conta a sua aplicação mais usual na solução LSF (adaptado de Geraldès,2012).....	32
Quadro 8- Custo e rendimentos de materiais e de mão-de-obra usados no orçamento da solução LSF rendimentos.....	58
Quadro 9- Descrição das quantidades e custos totais dos perfis usados nas paredes LSF para cada projeto	59
Quadro 10- Áreas das paredes dos diferentes projetos e valores de referência dos custos por unidade de construção de parede LSF	59
Quadro 11- Quantidades de cofragem, betão e aço para a obra da Ponta do Sol.....	64
Quadro 12- Custos das operações de construção da obra da Ponta do Sol	64
Quadro 13- Quantidades de cofragem, betão e aço para a obra de Palmela	65
Quadro 14- Custo das operações de construção da obra de Palmela.....	65
Quadro 15- Custos da estrutura associados aos projetos da Ponta do Sol e de Palmela.....	66
Quadro 16- Lista cronológica de algumas especificações reguladoras da aplicação desta solução construtiva (Moreira, 2012)	73
Quadro 17- Dados característicos dos diferentes perfis mais habituais na solução LSF	77
Quadro 18- Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol em LSF	79

Quadro 19- Mapa orçamental do projeto de Palmela em LSF	81
Quadro 20- Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol realizado na solução corrente (B.A.)	83
Quadro 21- Mapa orçamental do projeto de Palmela realizado na solução corrente (B.A.)	85

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI- American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members

B.A.- Betão armado

EPS- Poliestireno expandido

LSF- Light Steel Framing

LGSF- Light Gauge Steel Framing

MRD- Método de resistência direta

OSB- Oriented Stand Board

RAM- Região Autónoma da Madeira

Ue- Perfil U enrijecido

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 ENQUADRAMENTO

O conceito de construção em elementos estruturais de aço enformado a frio existe há cerca de um século e data do final da Segunda Guerra Mundial, onde o aço passou a ser um recurso abundante, desencadeando nas empresas metalúrgicas mais especialização no uso do metal.

No final da década de 40 e de 50, dada a devastação das habitações gerada pela guerra, foi no Japão que ocorreu o enorme crescimento da construção residencial em aço enformado a frio. Usou-se, inicialmente, com funções de paredes divisórias em grandes edifícios vindo posteriormente a ser empregue nos edifícios de habitação, com potencial para substituir na íntegra toda a estrutura de madeira das moradias.

Um outro motivo ocorreu nos anos 80 quando várias florestas antigas foram proibidas à indústria madeireira, gerando um aumento do preço dessa matéria-prima e consecutivamente a decadência das características da madeira usada nas construções e, em paralelo, movimentos de âmbito ecológico desenvolveram campanhas agressivas, o que motivou muitos construtores a passarem a usar o aço imediatamente como solução alternativa (Moreira, 2012).

Na década de 90 com o desenvolvimento da economia Asiática e do Médio Oriente, atingindo mínimos históricos do preço do aço com especial enfoque nos EUA e Austrália, observou-se um crescimento do mercado da construção com recurso a este tipo de solução (Pires, 2013).

Este método construtivo tem-se tornado cada vez mais aplicado, sendo amplamente empregue na construção de edifícios nos países desenvolvidos, como nos EUA, Japão, Austrália, Nova Zelândia, Reino Unido, norte da Europa e África do Sul. Por seu turno, mesmo países com pouca tradição nesta área, como é o caso de Portugal e Brasil, têm recentemente adotado esta solução.

Em Portugal, a entrada deste sistema no mercado surgiu pela importação de *franchisings* destinados a habitação unifamiliar. Os perfis eram importados ou fabricados por encomenda a fornecedores que os elaboravam com recurso a prensas quinadeiras (Fábrica de Perfis da Barca em Ponte da Barca e EDRAM em Constância - Distrito de Santarém). Só em 2003, com o início de produção de elementos estruturais em perfilhadora pela empresa Perfisa, S.A. (S. Pedro do Sul - Distrito de Viseu), é que o setor passou a ter um fornecedor nacional com produtos com qualidade criteriosa e capacidade de fabrico em enorme escala, tornando esta solução viável e competitiva no território português. Atualmente já existem outras empresas de idêntica qualificação, nomeadamente a Perficentro e a Etran (Moreira, 2012).

Na última década, o mercado da construção de estruturas de aço enformado a frio tem vindo a crescer sustentadamente e atualmente tornou-se uma alternativa realizável e eficiente comparativamente a

outras soluções construtivas. Este tipo de construção encontra-se associado a menores períodos de execução, uma boa eficiência térmica e acústica e a um elevado desempenho ambiental. Pretende-se uma construção competente, que respeite as contingências locais para que o impacto sobre o meio envolvente natural seja minimizado.

Como exemplo de bom desempenho das práticas de salubridade e consideração pelo meio envolvente em obra, isto é, sem material excedente espalhado em obra ou arredores prevendo também espaços verdes na periferia da construção, apresenta-se a imagem seguinte, execução da obra da Ponta do Sol (solução LSF).



Figura 1- Estrutura de moradia em aço enformado a frio na zona da Lombada, Ponta do Sol (Goulart Construções Lda)

Analisar os custos numa perspetiva equilibrada, isto é, desde a aplicação e posterior reutilização das matérias-primas (por exemplo em caso de demolição ou sobras), é o desafio primordial, mais do que ponderar apenas o custo de investimento, uma vez que, tendo em conta o carácter sustentável desta aplicação, estaremos a adquirir poupanças nos diferentes campos de ação, desde poupança de energia e água, aumento da durabilidade e ao mesmo tempo da produtividade (Pinheiro,2003).

Os princípios da construção sustentável aplicam-se a todas as fases da construção encaixando na perfeição neste método construtivo (ver Quadro1), desde a fase de projeto à demolição. O emprego destes princípios deve ser feito através de uma abordagem integrada em todas as etapas de construção: projeto, construção, operação/manutenção e demolição/deposição.

Quadro 1- Princípios básicos da construção sustentável admitidos também na construção de aço enformados a frio
(adaptado de Geraldês, 2012)

•Minimizar o consumo de recursos virgens;	•Proteger o ambiente natural;
•Maximizar a reutilização dos recursos;	•Criar um ambiente saudável e não tóxico;
•Utilizar recursos renováveis e recicláveis;	•Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

1.2 OBJETIVOS

Como é sabido, o setor da construção, em particular o setor da habitação, detém um enorme peso na economia nacional, tendo significativa responsabilidade no desenvolvimento social e económico do país. No entanto, é igualmente um setor que se encontra associado a significativos impactos ambientais, dado gerar poluição e ser um grande consumidor de matérias-primas bem como ser responsável por enormes consumos energéticos.

Nesse sentido, pretende-se com este trabalho dar a conhecer uma alternativa construtiva aos métodos correntes de construção, alvenaria e betão armado, através da aplicação de elementos estruturais de aço enformados a frio destacando-se pela sua versatilidade em colmatar algumas das lacunas ecológicas existentes através da aplicação de materiais com ciclos de vida mais aceitáveis.

De forma a avaliar as aptidões desta solução alternativa, LSF, abordam-se os parâmetros construtivos para todas as actividades (paredes exteriores e interiores e lajes/cobertura). Para o efeito de comparação entre soluções, LSF e betão armado, analisa-se a viabilidade económica desta prática recorrendo-se ao estudo de duas moradias familiares.

1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos fundamentais, sendo o primeiro denominado de considerações gerais, onde se apresenta o enquadramento histórico do aparecimento deste método construtivo, bem como os objetivos e atual organização desta atividade.

O segundo capítulo diz respeito ao estado de arte, onde será introduzida e contextualizada a prática construtiva em análise e serão definidos os processos de fabrico e o comportamento estrutural de forma simplificada, ou seja, será abordada a problemática da análise de estabilidade dos elementos construtivos (perfis) e as vantagens e desvantagens deste método construtivo.

No capítulo três, apresentando o estudo dos sistemas construtivos, serão analisados os materiais utilizados e todos os processos construtivos intervenientes.

Por seu turno, no quarto capítulo, intitulado de reabilitação, com recurso ao LSF, serão definidas as vantagens e limitações que resultam da aplicação dessa solução.

No capítulo final será estudada a viabilidade económica desta solução, com recurso à análise de dois projetos, considerando que estes são executados na Região Autónoma da Madeira (RAM). Neste âmbito, serão elaborados e comparados os orçamentos tendo em conta os elementos estruturais (fundações, pilares, vigas e laje) bem como as paredes exteriores e divisórias. É de notar que para a solução em LSF as paredes, sejam elas exteriores ou divisórias, são construídas por perfis de aço enformado a frio e têm idênticas funções estruturais.

ESTADO DE ARTE

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em meados de 1930 a produção de perfis de aço de secção fina tornou-se uma alternativa aos perfis laminados a quente, devido particularmente à carência do material em período de guerra. De forma a gerar uma base regulamentar que prescrevesse normas de utilização, o “American Iron and Steel Institute” apoiou uma pesquisa liderada por George Winter na Cornell University (Nova-Iorque, E.U.A.) que em 1946 culminou na promulgação da norma “Specification for the Design of Cold-Formed Steel Members” (Hancock et al. 2001).

Este investigador foi o impulsionador do desenvolvimento de diversos fatores que caracterizam os elementos enformados a frio, tais como a largura efetiva em aplicações à compressão, limites de resistência, modos de instabilidade local e global, dimensionamento e comportamento de perfis específicos com secção em Z e em C, comportamento das estruturas contraentadas, ligações por parafuso e soldadura, efeito da enformagem nas características do material, influência da ductilidade, função dos rigidificadores de extremidade e intermédios (*stiffeners*; dobras suplementares que são incorporadas nas extremidades ou troços retos dos perfis que têm como função melhorar o comportamento mecânico destes e a utilização do estudo probabilístico no dimensionamento (Moreira, 2012)).

A partir desta regulamentação, distintas normas têm vindo a ser desenvolvidas até aos dias atuais (ver anexo A).

Em Portugal, a verificação da segurança de estruturas de aço enformado a frio começou por ser gerida através da utilização de normas empíricas originais dos Estados Unidos da América (Método Prescritivo). Atualmente essa verificação é regida pelos intitulados Eurocódigos estruturais. Devido aos fenómenos de instabilidade complexos, o cálculo da resistência de elementos estruturais de aço enformados a frio resulta num processo moroso, envolvendo em alguns casos métodos de dimensionamento iterativos.

A edificação com estrutura de aço enformado a frio tem sido uma verdadeira adversária da construção mais convencional em países como os Estados Unidos da América, Canadá, Austrália e em vários países da Europa. Em Portugal, este tipo de estruturas tem sido utilizado fundamentalmente em substituição de perfis laminados a quente, normalmente aplicadas como madres de suporte de coberturas ou fachadas. A sua aplicação na construção de moradias residenciais unifamiliares tem vindo a desenvolver-se consideravelmente nos últimos anos (Moreira, 2012).

2.2 PROCESSOS DE FABRICO

Na construção, os perfis de aço usados podem ser divididos em 3 grupos:

- (i) Perfis laminados a quente;
- (ii) Perfis soldados;
- (iii) Perfis enformados a frio.

Na perspetiva do dimensionamento, os perfis laminados a quente e os constituídos por chapas soldadas compõem o grupo dos perfis pesados. Por sua vez, os perfis obtidos a partir da dobragem de chapas de aço de espessuras reduzidas, os perfis enformados a frio, são denominados de perfis leves.

No que diz respeito ao processo de transformação da chapa metálica lisa em elementos tridimensionais, existem essencialmente quatro tecnologias de fabrico, sendo as mais usuais a quinagem (*Press braking*) e a perfilagem (*Cold Rolling*), e de forma menos corrente a dobragem e prensagem com molde, sendo estas últimas reservadas a acessórios e painéis de revestimento.

Estes processos de fabrico tiram partido da ductilidade do aço, permitindo a obtenção de elementos de secção de parede muito fina, quando comparados com os conseguidos por laminagem a quente.

Para que se possa moldar ou dobrar sem ter de aquecer a chapa de aço esta tem de apresentar baixa espessura, normalmente entre os 0,3 mm e os 6 mm. É um material versátil devido ao facto de possibilitar a conceção de uma grande variedade de formas e dimensões adaptadas ao uso que se pretende, sem que resulte num incremento significativo do custo de produção (Moreira, 2012).

No que concerne ao processo de quinagem (ver Figura 2), este é empregado no fabrico de perfis relativamente mais simples, é um método menos industrializado, sendo a extensão dos elementos limitada pela dimensão da máquina (quinadeira) que os concebe, cujo tamanho é usualmente de 3 m. Contudo, existem equipamentos que possibilitam extensões até 8 m. Apesar deste mecanismo não ter o rendimento desejável, pode-se considerar economicamente viável para a produção de elementos “não-standard” em pequeno número (Geraldés, 2012).

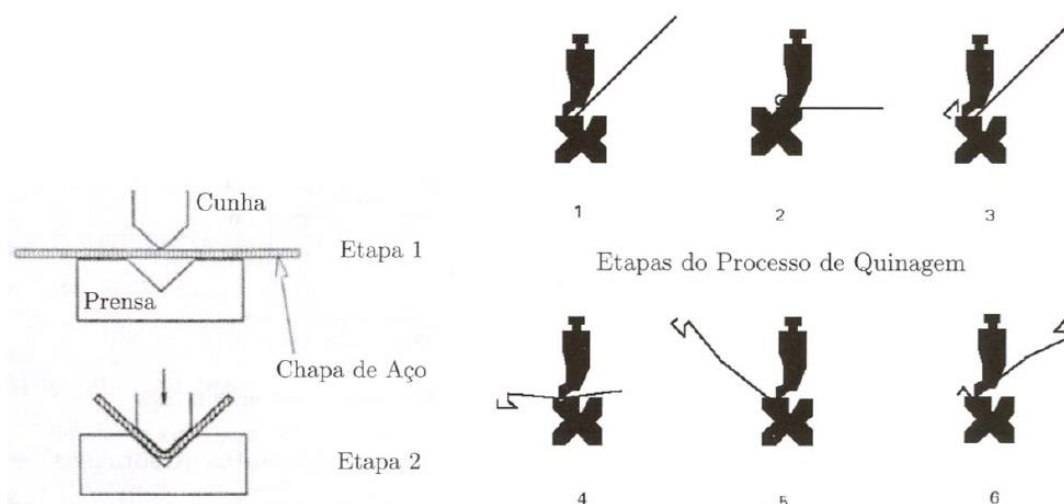


Figura 2- Processo de quinagem [*“Press braking”*] (Geraldès, 2012)

Por seu turno, a perfilagem (enformagem/laminagem a frio) é o procedimento mais correntemente utilizado (ver Anexo B). Consiste na produção sistematizada, normalizada e eficiente dos perfis metálicos estruturais e não estruturais, capacitando esta solução construtiva de maior competitividade face a outras. É usualmente a técnica mais utilizada quando se pretende atingir grandes quantidades de produção e perfis com elevada complexidade.

A chapa metálica é inserida na máquina perfilhadora, e através de uma sequência de pares de rolos, em que a quantidade de pares de rolos depende da complexidade da forma da secção que se pretende obter, irão deformá-la gradualmente e continuamente por fases, fechando o ângulo entre as duas paredes do perfil até atingir a geometria final desejada (ver Figura 3). Este procedimento pode incluir furações e indentações que podem ser efetuadas previamente ou incorporadas na sequência do processo de perfilagem.

Os perfis podem ser segmentados com a dimensão solicitada antes ou após este processo, estando o seu comprimento restringido essencialmente por questões de armazenamento e transporte.



Figura 3- Máquina perfiladora/laminagem a frio de perfis de aço (Perfilhadora, 2014)

2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo Rego (2012), no sistema construtivo de elementos enformados a frio os perfis estruturais são produzidos a partir de bobinas de aço (ver Figura 4) de qualidade estrutural revestidas com carbono em imersão contínua a quente de zinco, designado na norma EN1993-1-3 por S220GD+Z, com a particularidade da tensão de cedência base/média (f_{yb}) não ser inferior a 220 MPa.



Figura 4- Matéria-prima: Rolo de chapa de aço galvanizado usado para produzir perfis na solução construtiva LSF (Morreira, 2012)

No caso dos perfis não estruturais é frequentemente usado um aço macio, também com imersão contínua a quente de zinco, designado na EN1993-1-3 por DX51D+Z, cuja tensão de cedência não seja inferior a 140 MPa.

Em Portugal, um dos aços mais usados para produzir perfis através da laminagem a frio é o S280GD+Z, a que corresponde uma tensão de cedência base/média de 280 N/mm² e a tensão última média (f_u) de 360 MPa.

Por seu turno, a ductilidade, que influencia os processos de conformação, é correntemente garantida pela relação entre a tensão última e a tensão de cedência base (f_u/f_{yb}). No caso dos aços usados em Portugal, este rácio toma valores de cerca de 1.285, superior ao valor imposto no ponto 3.2.2 da EN1993, igual a 1.1.

A norma supracitada exige igualmente que este tipo de aço garanta que a extensão última seja, no mínimo, 15 vezes superior à extensão de cedência, de forma a garantir níveis de ductilidade adequados.

○ 2.3.1 PRODUTOS DE AÇO ENFORMADOS A FRIO

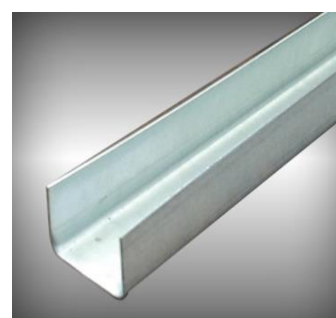
Segundo Geraldes (2012), os elementos estruturais de aço enformados a frio mais utilizados atualmente na construção podem dividir-se em duas categorias:

(i) **Perfis com eixo retilíneo e secção uniforme.** Estes elementos são, em geral, peças lineares (barras prismáticas) que são produzidas através de chapas com espessuras entre 1,2 e 6,4 mm, apesar de em casos específicos existirem perfis com geometrias variadas e adaptadas aos requisitos pretendidos.

As formas geométricas das secções mais vulgarmente utilizadas em estruturas de edifícios têm secção em C, U, Z, “Hat” e “Rack” (ver Figuras 5, 6 e 7).



Perfis C também designado de Ue

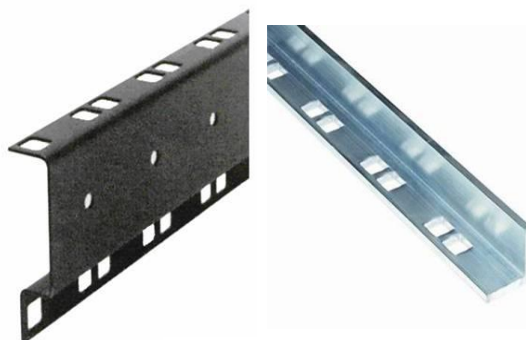


Perfil U

Figura 2- Exemplo de perfis U enrijecido (C ou Eu) e U simples (U)



Perfil “Hat”



Perfis “Rack”

Figura 3- Exemplo de perfis “Hat” e “Rack”

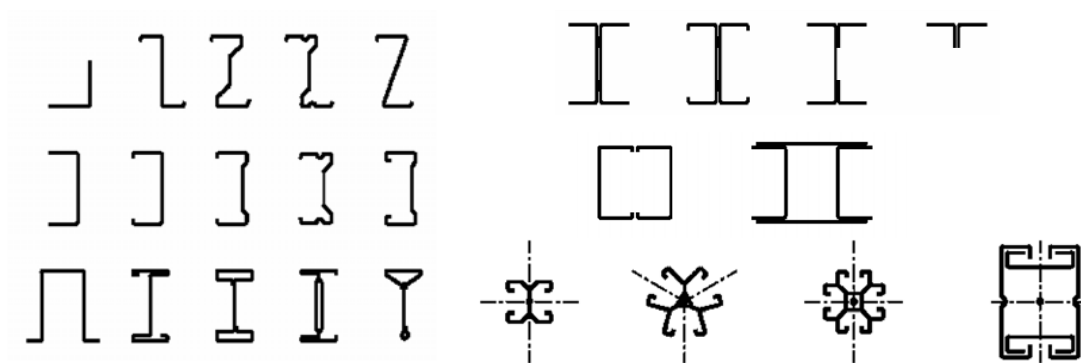


Figura 4- Tipos de perfis/secções de aço enformados a frios mais comuns usados no sistema construtivo LSF
(Veríssimo, 2008)

(ii) **Painéis de chapa e chapas perfiladas.** São elementos pré-fabricados, por moldagem frio ou conformação, de lâminas de aço galvanizadas por imersão a quente com espessuras que variam entre 0,5 e 1,9 mm (Geraldês, 2012).

São empregues em lajes mistas de aço-betão ou em estruturas de suporte de paredes, pavimentos e coberturas (ver Figura 8).

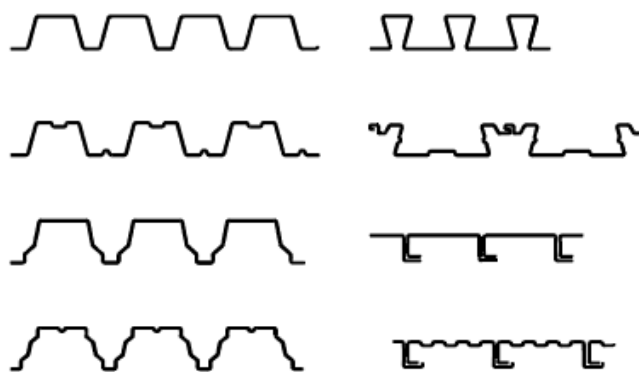


Figura 5- Chapas de aço enformadas a frio para aplicação em lajes como cofragem colaborante na solução construtiva em LSF (Veríssimo, 2008)

No que concerne à facilidade de fabrico e de integração com a construção e arquitetura em LSF existem dois tipos de perfil usados na maioria dos casos, que são o perfil U simples (U), usado como bloqueador e guia, e o U enrijecido (Ue ou C) cuja função é de reforço da alma dos perfis existentes sejam eles elementos de montante, viga, verga ou ombreira (ver Figura 9).

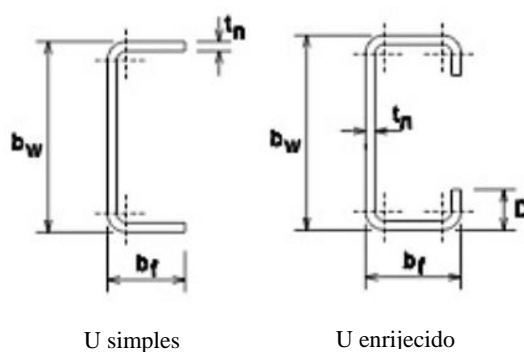


Figura 6- Perfil U simples (U) e U enrijecido (Ue ou C) (Veríssimo, 2008)

De acordo com o que está publicado no *site* da empresa Futureng (futureng, Dimensões dos perfis estruturais, 2012), devido ao reduzido mercado ainda vigente em Portugal na área de estruturas de aço enformado a frio, não há ainda a necessidade de produzir dezenas de secções diferentes, o que implicaria um incremento de custos logísticos e de armazenamento. Nesse sentido apenas são produzidos os perfis com a dimensão *standard* seguidamente indicadas no Quadro 2 (ver também Anexo C).

Quadro 2- Dimensões *standard* dos perfis mais usados do tipo U simples, U enrijecido e cantoneira (L)

Tipo	b_w(mm)	t_n(mm)	b_f(mm)	D (mm)	
U	93	1,5	43	–	
	153				
	204	2,0			
	255	2,5			
U_e ou C	90	1,5		15	
	150				
	200	2,0			
	250	2,5			
L	50	1,5	50		–
	100		100		

2.4 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

○ 2.4.1 CONCEITO DE ESTABILIDADE DO EQUILÍBRIO

A análise do comportamento estrutural dos perfis de aço enformados a frio é bastante complexa, envolvendo em muitos casos métodos de dimensionamento iterativos para que seja possível determinar a sua resistência estrutural. Acresce assim a necessidade de análise muito rigorosa de todos os fenómenos que o caracterizam, tais como os que são indicados por Veríssimo (2008):

- **Instabilidades de natureza global ou local:** Provocadas devido à elevada esbelteza das chapas que incorporam as paredes deste tipo de perfis, e na situação das secções de parede fina aberta, devido à baixa rigidez de torção (ver Figura 10).
 - (i) Fenómenos de instabilidade “global” – ocorrência de deformação do eixo da barra, sofrendo as suas secções transversais deslocamentos de corpo rígido no seu próprio plano (1 rotação e 2 translações). Como situações conhecidas temos a instabilidade de colunas (barras comprimidas), por flexão ou flexão-torção, e a instabilidade lateral de vigas (barras fletidas), por flexão-torção.
 - (ii) Fenómenos de instabilidade “local” – envolvem deformações das paredes da barra, permanecendo o seu eixo na configuração indeformada. É ainda vantajoso distinguir entre fenómenos de instabilidade local associados apenas a deslocamentos de flexão das paredes, onde os bordos longitudinais do perfil permanecem indeformados, e também deslocamentos de membrana, que incitam a deformações dos bordos longitudinais.

- **Elevada deformabilidade à torção:** Devido à baixa rigidez de torção e ao facto de que para diferentes tipos de secções o centro de corte não coincide com o centro de gravidade (ver Figura10).
- **Empenamento:** que afeta as secções de parede fina aberta quando sujeitas a torção. O tipo de condições de fronteira de uma barra relativamente a este modo de deformação tem grande influência na sua resistência mecânica (ver Figura10).

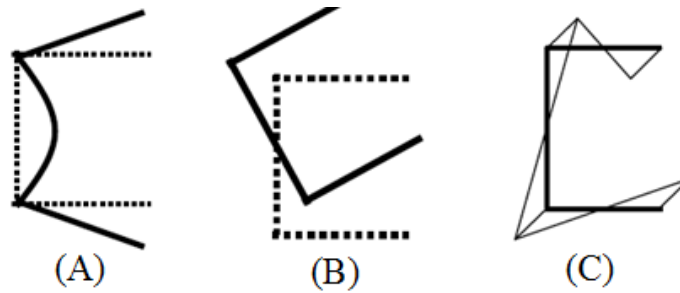


Figura 7- Comportamento estrutural: (A) Instabilidade local; (B) Torção; (C) Empenamento (Veríssimo, 2008)

- **Existência de Reforços (de extremidade e/ou intermédios):** Permitem melhorar o comportamento estrutural das secções, limitando a sua suscetibilidade à deformação local. Estes garantem pontos de apoio elástico das paredes da secção, reduzindo o comprimento livre de flexão e amplifica o valor da tensão crítica de instabilidade local (ver Figura 11).

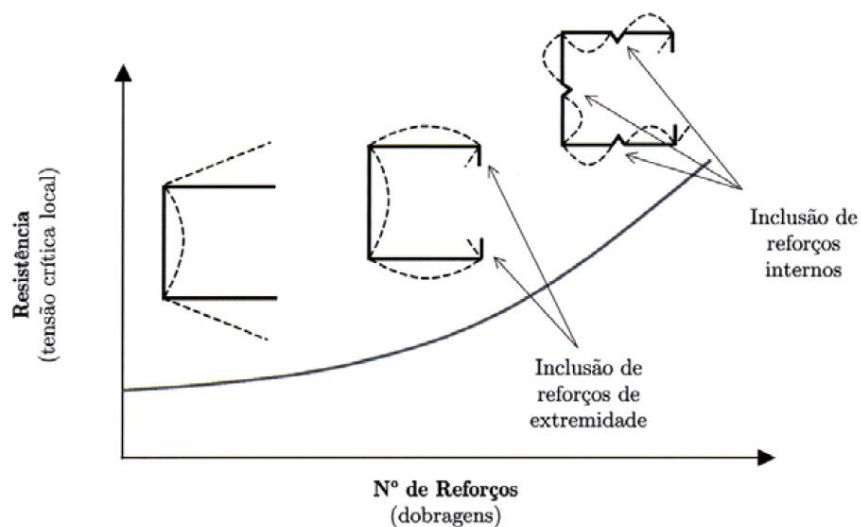
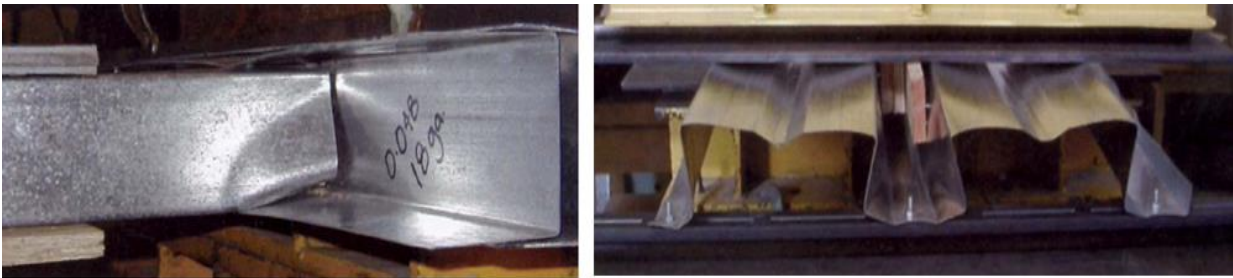


Figura 8-Desenvolvimento da tensão crítica a medida que aumenta o nº de esforços na secção (Veríssimo, 2008)

- **Colapso da alma (“web crippling”)**: Advém da elevada esbelteza das paredes que constituem as almas das secções, quando aplicadas forças concentradas ou nas zonas dos apoios (ver Figura 12). Tal comportamento consegue ser travado se existirem reforços nessas zonas. Usualmente, em edifícios de pequeno porte é corrente aplicar chapas de reforço na região dos apoios, as quais servem para conferir rigidez à torção e aumentar a resistência da alma para cargas concentradas.



(D)

(E)

Figura 9- Colapsos da alma: (D) junto aos apoios; (E) na zona de aplicação de cargas concentradas (Verissimo, 2008)

- **Endurecimento do aço junto dos bordos longitudinais na zona de dobragem da chapa**: Processo que se traduz num incremento da tensão de cedência e na diminuição da ductilidade do aço nos bordos longitudinais (ver Figuras 13 e 14).

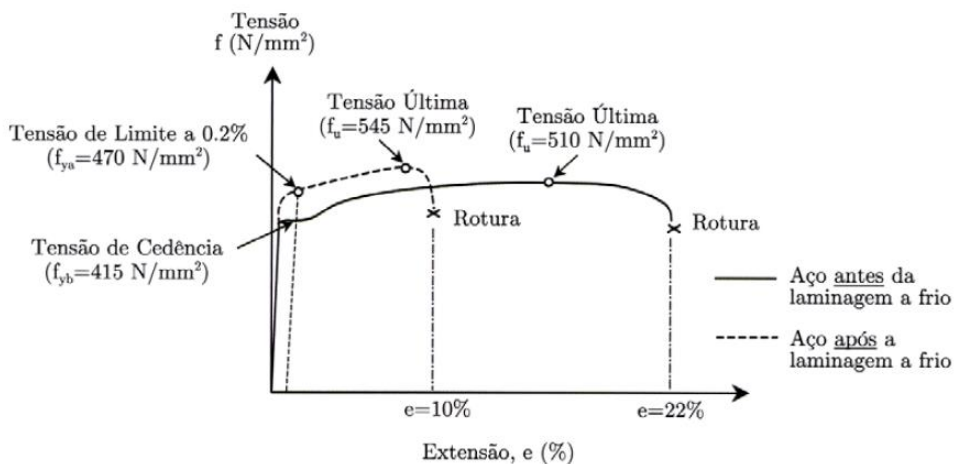


Figura 10- Fases do processo de endurecimento, antes e depois da laminagem a frio (Pinto, 2010)

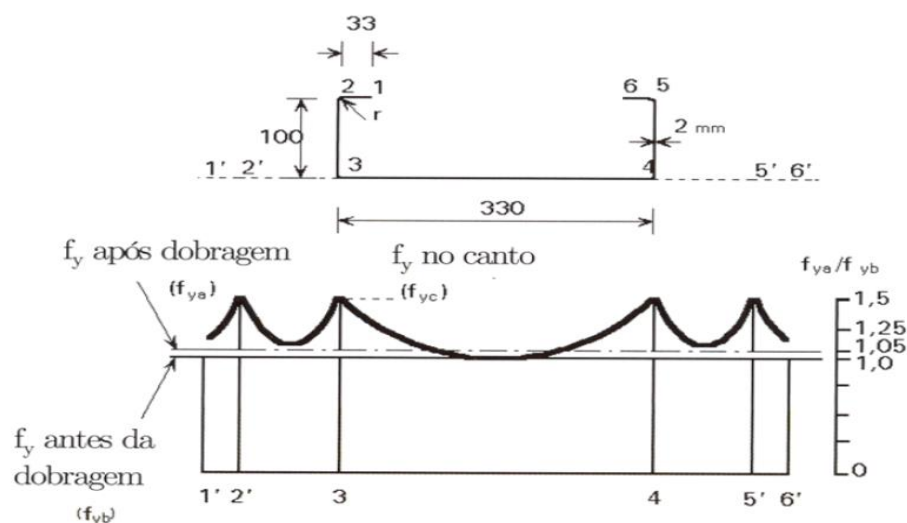


Figura 11- Exemplo da distribuição das tensões ao longo da linha média da secção (Pinto, 2010)

○ 2.4.2 MÉTODO DE RESISTÊNCIA DIRETA (MRD)

Segundo Pinto (2010), o Método de Resistência Direta (“Direct Strength Method” ou “DSM” na designação anglo-saxónica) é um procedimento alternativo de dimensionamento de perfis de aço enformados a frio exposto na regulamentação da AISI (“American Iron & Steel Institute”) no ano de 2004. Esta metodologia encontra-se também apresentada na norma geral: “North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members”.

A característica principal do MRD é de não recorrer ao cálculo de larguras efetivas nem de necessitar de processos iterativos para o cálculo das propriedades efetivas das secções.

O emprego deste método é muito expedito, existindo apenas como principal dificuldade a determinação das tensões críticas associadas a três modos de instabilidade:

- Modo local de placa;
- Modo distorcional;
- Modos globais.

Para efeitos de estudo de estabilidade do perfil, é obrigatório recorrer a programas computacionais. Atualmente existem diversos programas preparados para efetuar esta análise.

De notar o facto da dificuldade de cálculo para secções complexas, com múltiplos reforços, não implicar um grande acréscimo de dificuldade. Em contrapartida, se fosse através do cálculo de secções efetivas, para secções complexas tornar-se-ia um processo difícil e moroso, e em alguns casos seria mesmo impossível.

Este método apresenta várias limitações, uma vez que foi apenas concebido para a análise e determinação da resistência axial e de flexão sem ponderar os efeitos do esforço transversal, a existência de furações no perfil, o colapso da alma e o aumento de resistência devido ao endurecimento do aço durante o processo de enformagem (Pinto, 2010).

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS

○ 2.5.1 MÉTODO CONSTRUTIVO LSF

Como se percebe, o sector da construção civil está associada a diversos conceitos de progresso sustentável sejam eles ambientais ou socioeconómicos. Assim sendo, convém antever um bom planeamento (prevendo a longevidade dos edifícios planeando a conservação e manutenção dos mesmos), aproveitando as características do ambiente envolvente racionalizando o consumo dos materiais e energia de forma a minimizar a produção de resíduos e a usar materiais eco-eficientes (Neves, 2011).

Nesse sentido, deve-se ter em conta as diversas valências associadas a cada tipo de solução construtiva que se pretende usar. Assim sendo, para o caso em estudo é de extrema importância conhecer as competências que o caracterizam (ver Quadros 3 e 4).

Quadro 3- Vantagens da construção com elementos em aço enformado a frio (adaptado de Neves (2011) e Pires (2013))

As principais vantagens da utilização de perfis de aço enformados a frio são:
• Elevada eficiência estrutural, expressa pela ótima relação entre a elevada resistência mecânica e o reduzido peso;
• Grande versatilidade de fabrico, expressa pela possibilidade de produzir economicamente elementos com uma gama variada de geometrias e dimensões;
• Algumas secções são produzidas com a possibilidade de encaixarem sucessivamente umas nas outras, permitindo uma maior economia no seu armazenamento e transporte;
• Possibilidade de pré-fabricação em larga escala, fabricados com elevada precisão, possibilitando uma alto controlo da qualidade do produto acabado;
• Elevada rapidez de montagem;
• Inexistência de suscetibilidade ao ataque de fungos, xilófagos e térmitas;
• Apresentação de uma qualidade uniforme;

• Material resistente a vibração e a choques;
• Diminuição do uso de recursos naturais e energéticos e ainda redução da poluição realizada em obra comparativamente às construções convencionais.
• Aplicação de um material (aço) totalmente reciclável, mostrando uma elevada sustentabilidade;

Quadro 4- Desvantagens da construção com elementos em aço enformado a frio (adaptado de Neves (2011) e Pires (2013))

Desvantagens da construção com elementos em aço enformado a frio:
• Tal como para os elementos laminados a quente, o comprimento dos perfis LSF é limitado em função das dimensões do meio de transporte (atrelado/contentor) até ao local da obra, geralmente entre 6 m a 12 m de comprimento;
• Necessidade de tratamento superficial dos perfis de aço enformados a frio contra a corrosão, semelhante às técnicas usadas para os perfis laminados a quente;
• Necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para a sua fabricação e montagem.
• Comportamento estrutural que envolve vários fenómenos de instabilidade, o que implica um cálculo da resistência de secções e barras mais complexo que noutros tipos de elementos estruturais de aço, nomeadamente de aço laminado a quente.

✓ 2.5.1.1 FATORES LIMITADORES DO MÉTODO CONSTRUTIVO EM AÇO ENFORMADO A FRIO

Existem determinados fatores que são ainda obstáculos na implementação deste método construtivo, nomeadamente o comportamento térmico, devido à sua fraca inércia térmica. Porém, como supracitado, através da conjugação de materiais de elevada qualidade e com comportamentos térmicos muito aceitáveis consegue-se obter um desempenho térmico e acústico muito satisfatório.

Por seu turno, o maior entrave na produção de novas soluções construtivas, como é o caso do LSF, é a resistência cultural, estando patente na falta de informação da comunidade acerca da tecnologia aplicada, afetada do risco de não-aceitação relacionado com a falta de mão-de-obra especializada, não só por parte dos construtores e investidores como também pelos utilizadores finais.

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

Este sistema caracteriza-se por um nível de industrialização elevado em comparação com a construção convencional em betão armado, uma vez que grande parte dos elementos construtivos são produzidos em fábrica e não em estaleiro. Contudo, se a necessidade assim o exigir, é possível construir os perfis em obra (ver Figura 15).

Segundo Neves (2011), este método demonstra uma maior rapidez de construção em cerca de 60%, diminuindo a quantidade de mão-de-obra e equipamento necessários, proporcionando uma melhoria nas condições de higiene e segurança em obra, afetada de uma diminuição considerável da quantidade de desperdícios. Além disso, no final da vida útil das construções, o aço pode ser facilmente reutilizado ou reciclado.



Figura 12- Produção de perfis de aço (laminagem a frio) em obra (Rego, 2012)

3.1 OUTROS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO COM LSF

○ 3.1.1 ORIENTED STRAND BOARD (OSB)

O elemento de placa estrutural Oriented Strand Board (OSB) é produzido a partir de filamentos de madeira direcionadas em três camadas perpendiculares, o que amplifica as suas características de rigidez e resistência mecânica.

A madeira usada na produção de OSB advém de madeiras resinosas, compreendendo espécies tais como o choupo, o abeto e o pinheiro.

As fibras de celulose usadas medem até cerca de 10 cm de comprimento. Estas são secas e misturadas com resina de síntese e cera, o que promove a resistência à humidade. O facto destas lamelas se encontrarem dispostas em camadas com diferentes orientações, aumenta a coesão e estabilidade do painel. Este conglomerado de fibras de madeira encontra-se ligado com resinas e é prensado sob altas temperaturas (Geraldès, 2012).

Confirma-se ainda a importância deste material ser considerado sustentável e eco eficiente pelo facto de existir um elevado rendimento industrial, garantindo um aproveitamento de cerca de 90% da matéria-prima (Neves, 2011).

Estas placas OSB são utilizadas em coberturas para telhados, bases para paredes e pisos de construção, bem como para armações para mobiliário, tapumes e divisórias, decks e plataformas. Contribui, ainda, para o aumento do isolamento acústico e térmico do edifício e serve de base de fixação dos acabamentos das fachadas.

As dimensões das chapas de OSB mais comumente empregues no sistema LSF são 1,2 m de largura, entre 2,4 e 3,0 m de comprimento e com espessuras de 6,0 mm, 9,0 mm, 11,0 mm, 15,0 mm, 18,0 mm e 22,0 mm. As dimensões das placas são uma das bases para a conceção estrutural do sistema, visto que determinam as distâncias mais eficazes entre perfis, sendo submúltiplos de 1,2 m (usualmente 0,4 ou 0,6 m) (Rego, 2012).

Segundo a norma EN 300 (1997), são definidas 4 classes de OSB em função do respetivo ambiente em que será desenvolvida a obra. São contempladas as características mecânicas e propriedades físicas desejadas consoante a finalidade, seja para uso geral ou para fins estruturais (ver Quadro 5).

Quadro 5- Classes de OSB tendo em conta os fins e ambientes em que serão aplicados

• OSB/1 - Placas para usos gerais, incluindo decoração interior e mobiliário, em ambiente seco;
• OSB/2 - Placas para fins estruturais, em ambiente seco;
• OSB/3 - Placas para fins estruturais em ambiente húmido;
• OSB/4 - Placas para fins estruturais especiais em ambiente húmido.

Vantagens das placas OSB, de acordo com informação da empresa Jular Madeiras (Madeiras, 2014)

- Resistência mecânica elevada, comparável aos valores do contraplacado e de outros painéis estruturais de classe equivalente;
- Grande rigidez;
- Resistência à deformação, à rutura e à delaminação;
- Excelente relação entre resistência e peso;
- Grande durabilidade: trata-se de um painel dimensionalmente estável, que mantém intactos os seus níveis de desempenho ao longo do seu ciclo de vida (desde que utilizado de acordo com as respetivas recomendações de uso);
- Desempenho preciso e bem definido: painéis para fins estruturais com características físicas e mecânicas perfeitamente definidas, em conformidade absoluta com os requisitos de conceção e regras de construção, em ambiente seco ou húmido;
- Fácil de utilizar: o OSB pode ser facilmente serrado, furado, aplainado, fresado ou lixado. Pode ser pregado, cravado ou aparafusado junto ao bordo sem rachar. É também facilmente fixado e pintado;
- Sem defeitos estruturais, sem nós, poros ou descontinuidades;

Disponível em várias classes de resistência mecânica e numa vasta gama de dimensões, com superfície lixada ou não lixada, e acabamento com cantos retos ou com sistema macho-fêmea;

- Impacto ambiental reduzido: não são utilizadas árvores adultas no fabrico do OSB. A sua matéria-prima é constituída unicamente por madeira de pequena dimensão, proveniente de florestas geridas de forma sustentável. Além disso, o OSB é totalmente reciclável.

○ **3.1.2 LÃ MINERAL**

A lã mineral (ou lã de rocha) é um material isolante que é colocado no espaço entre os perfis, de forma a melhorar não só o comportamento acústico como também as características térmicas do elemento parede.

Este material é produzido a partir de rochas basálticas e outros minerais que quando elevadas a temperaturas na ordem de 1600°C e sob um procedimento de centrifugação dá origem a um tipo de fibras que posteriormente são associadas a resinas orgânicas e óleos impermeabilizantes originando uma massa idêntica à lã, que pode ser flexível ou rígida, dependendo da intensidade de compactação, e com diferentes formas desde mantas a painéis (Moreira, 2012)

Em alternativa à lã mineral, existem distintos materiais para o isolamento, nomeadamente a lã de vidro ou o poliuretano injetado.

Principais Vantagens da lã mineral:

- É incombustível e tem estabilidade mecânica até à temperatura de 750°C;
- Não liberta gases tóxicos e não provoca alergias;
- Excelente nível de absorção acústica e comportamento térmico;
- Não retém água devido à sua estrutura não capilar;
- Não altera com o passar dos anos;
- Permite a passagem do ar;
- Recupera sempre a espessura original após retirada a força que provoca deformação.

Aplicação da lã mineral:

- Paredes interiores, fachadas, pavimentos, coberturas;
- Proteção anti-incêndios (isolamento de condutas de ar condicionado);
- Barreiras corta-fogo;
- Correções acústicas.

○ **3.1.3 PLACAS DE GESSO CARTONADO**

O gesso cartonado é um elemento composto de gesso, água e diversos aditivos (consoante a necessidade de uso) originando uma pasta húmida que é envolta por duas camadas de papel, produzindo um tipo de sanduíche de papel e gesso. Após a secagem, é dividida numa variedade de formatos desejados e armazenado consoante a espessura e os aditivos que recebeu, sendo que esses aditivos irão proporcionar

características particulares tendo em vista o destino e os locais onde serão aplicados na construção, tal como em ambientes húmidos ou onde seja necessário uma adicional resistência ao fogo (Moreira, 2012).

Estes elementos são usados essencialmente como revestimento interior de paredes (exteriores e divisórias) e tetos. Este pode ser realizado pela sobreposição de dois ou mais painéis, dependendo da função e características que se pretende atribuir à parede.

Existem dois tipos de fixação entre as placas de gesso e a estrutura metálica, a mais comum é por fixação direta através de parafusos autoperfurantes e a outra solução, menos corrente, contempla a colagem destes elementos através de uma massa própria.

O procedimento mais usual para o tratamento das juntas entre painéis, é descrito por: 1.º aplicação de uma pasta de acabamento sobre a junta; 2.º sobreposição de uma tira de papel ou rede; 3.º lixagem da pasta, após endurecimento; 4.º revestimento final, incluindo a aplicação direta de pintura.

Vantagens das placas de gesso:

- Proporciona a redução de peso na edificação;
- Diminuição da espessura das paredes;
- Rapidez de execução;
- Não necessita de fundação e por isso pode ser aplicada sobre o piso pronto;
- Permite total liberdade na hora de projetar;
- A resistência deste material permite a fixação de objetos através do uso de buchas expansíveis adequadas para o efeito.

Aplicação:

- Este material é usado essencialmente como elemento interior;
- Limita-se à função de vedação e não tem função estrutural;
- Necessita de suporte (não é autoportante).

○ **3.1.4 ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Como sabido, como em qualquer solução construtiva, também o sistema LSF carece de previsão dos dois meios de transmissão da energia sonora: os sons de condução aérea e o som de impacto ou percussão. Nessa ótica, de prever a redução sonora, devem ser controladas três características particulares que são a massa dos elementos usados, o isolamento e a correta selagem das brechas entre painéis (com recurso a fitas e materiais destinados a essa função).

Em termos de isolamento acústico, uma vez que este tipo de solução goza de uma massa reduzida despreza-se a dissipação da energia sonora que é absorvida pela mesma.

Como se compreende, o desempenho acústico de um edifício acarreta uma extrema necessidade de qualidade de execução durante a fase de construção. Basicamente, a única falha que pode existir na solução em LSF, relativamente ao isolamento acústico, fica restringida ao facto de quando as exigências construtivas não são respeitadas na sua fase de construção, nomeadamente quando existam brechas que não colmatadas, a não aplicação de materiais absorventes onde foi prescrito pelo projetista ou a incorreta fixação, tornando a posterior identificação e resolução de problemas mais complexa.

Geralmente, as soluções construtivas de isolamento acústico compreendem a sobreposição de várias camadas com uma ligação rígida mínima, incorporando materiais absorventes nas aberturas dos elementos de parede. Para que estas sejam passíveis de obter um bom desempenho acústico, é necessário considerar as seguintes regras no ato da construção bem como estar patentes em projeto:

- Construção por sobreposição de camadas como gesso laminado ou chapa OSB;
- Maximizar a separação estrutural entre camadas;
- Separar a estrutura das camadas de revestimento através de perfis ou películas resilientes;
- Colmatação de vazios dentro das cavidades dos componentes de compartimentação através da introdução de material absorvente, como lã mineral;
- Evitar a propagação do ar entre elementos e compartimentos executando soluções de selagem.

○ **3.1.5 PARAFUSOS AUTO PERFURANTES E ROSCANTES**

Segundo Pires (2013), os parafusos utilizados na ligação das peças metálicas são de aço galvanizado, autoperfurantes e autoroscantes, ou seja, os parafusos abrem o seu próprio orifício no perfil, não sendo necessária furação prévia ou porca. De igual modo, os materiais que revestem a estrutura, tanto pelo interior, como pelo exterior, são fixos por parafusos. São utilizados vários géneros de parafusos (ver Figura 16), consoante o tipo de material que se deseja fixar, variando no tipo de cabeça, espessura, ponta e comprimento (ver Quadro 6).

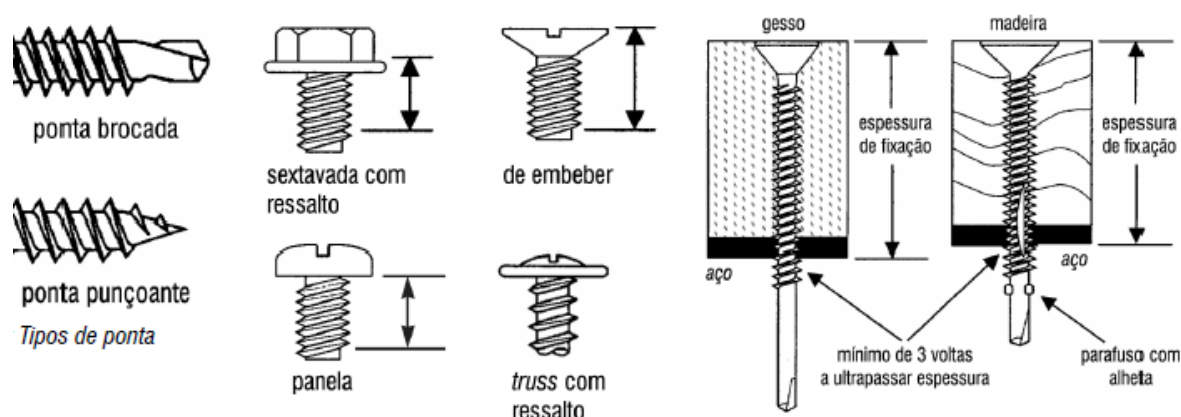


Figura 13- Ilustração das características de alguns parafusos *standard*: tipo de ponta, cabeça e fixação ao revestimento (Moreira, 2012)

Quadro 6- Descrição do tipo de parafusos, mais usuais na solução LSF, com respetivas aplicações (adaptado de Rego, 2012)

Tipo	Aplicação
4,2x13 mm de cabeça de estrela ligeiramente convexa	<ul style="list-style-type: none"> Permite as ligações entre aço-gesso ou aço-OSB;
6,3x19 mm de cabeça sextavada	<ul style="list-style-type: none"> Permite a ligação aço-aço quer para empalmar as almas das peças quer para ligações estruturais de realização de cabeceiras, pórticos e reforços de grande exigência de fixação;
6,3x38 mm ou parafuso 6,3x50mm	<ul style="list-style-type: none"> Permite fixações de aço-aço para ligações de elementos estruturais entre pisos
4,8x32 mm de cabeça de estrela e com broca de abas na extremidade	<ul style="list-style-type: none"> Serve para vencer o OSB de 12mm de parede e aparafusá-lo aos montantes verticais de parede
4,8x45 mm de cabeça de estrela e com broca de abas na extremidade	<ul style="list-style-type: none"> Serve para aparafusar o OSB de piso com 18 mm ao vigeamento metálica de piso/teto.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES EM AÇO ENFORMADO A FRIO

Como se compreende, é na fase de utilização que se verifica o maior impacto ambiental dos edifícios, particularmente devido à energia consumida para manter o conforto térmico apropriado aos utilizadores. No sentido de reduzir os custos e emissões de poluentes associados à energia consumida para a climatização artificial dos edifícios, é indispensável que estes permitam um bom desempenho térmico próprio, tendo em conta a zona climática em que se localizam.

De uma forma sintetizada, os parâmetros que caracterizam e influenciam diretamente o comportamento térmico de um edifício são designados:

- Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente;
- Inércia térmica dos elementos;
- Área e fator solar dos vãos envidraçados;
- Taxa de renovação de ar.

No caso do método construtivo de aço enformado a frio uma particularidade evidente é que detém massa específica baixa e conseqüentemente reduzida inércia térmica, podendo resultar numa excessiva oscilação da temperatura interior em zonas climáticas sujeitas a elevada amplitude térmica diária. Nesse sentido, e de forma a mitigar esta limitação, devem ser controlados parâmetros como a dimensão e orientação dos vãos envidraçados, dispositivos de proteção e capacidade isolante da envolvente construtiva. Permite ainda obter características de envolvente construtiva com coeficiente de transmissão térmica até $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, sem incremento da massa e com níveis de energia inferiores às soluções tradicionais (Moreira, 2012).

É de notar que, no caso das pontes térmicas, o efeito condutor será mais pronunciado quanto menor for o valor de transmissão térmica da zona corrente adjacente. Este efeito ocorre em particular em paredes não monolíticas, sendo o calor conduzido diretamente através da cavidade, assim como através dos elementos estruturais que fazem a ponte entre as duas faces.

As pontes térmicas podem existir por diversas razões:

- Geometria (cantos);
- Fenestrações (fendas);
- Ligações e interfaces estruturais;
- Penetrações na envolvente construtiva;
- Elementos estruturais (lintéis, suportes de revestimentos);
- Execução deficiente.

Nas zonas de ligação entre paredes, constituídas só por elementos de aço enformados a frio, é necessário que o efeito das pontes térmicas seja efetivamente considerado em fase de execução, uma vez que, nessas zonas específicas, os valores de transmissão térmica são superiores comparativamente às zona correntes intermédias (interior de paredes e tetos), sendo que neste último caso é usual preencher com material isolante (mantas de lã mineral/rocha) contendo esta lacuna.

Existem três formas de reduzir o efeito de ponte térmica na construção com aço:

- Eliminar a ponte térmica conservando toda a estrutura no lado interior do isolamento térmico;
- Isolar localmente qualquer elemento que atravesse a envolvente construtiva;
- Reduzir o efeito de transmissão térmica utilizando cortes térmicos.

○ **3.2.1 ISOLAMENTO INTEGRADO NA CAVIDADE**

A solução usualmente mais aceite para a melhoria (diminuição) do coeficiente de transmissão térmico dos elementos da envolvente, quando este efeito não é assegurado pelo revestimento, consiste na integração de materiais isolantes térmicos na constituição da mesma, de maneira a não proporcionar a circulação de ar no seu interior, usualmente com lã mineral (Neves, 2011).

○ 3.2.2 ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

O conceito de isolamento pelo exterior, conhecido também por *warm frame*, consiste na aplicação de uma camada de isolamento térmico pelo exterior da estrutura, formando uma envolvente vertical contínua.

A principal vantagem reside na eliminação de pontes térmicas uma vez que permite o isolamento do edifício, impedindo o ganho ou a perda de energia através dos elementos estruturais. A aplicação deste sistema permite aumentar a inércia térmica estrutural dado que a massa das paredes se encontra pelo interior do isolamento térmico.

Como exemplo de isolamento pelo exterior, temos o popular sistema ETICS (“External Thermal Insulation Composite Systems”), também denominado em países anglo-saxónicos como EIFS (“External Insulation and Finish System”) ou por sistema Capotto ou SATE (“Sistema de Aislamiento Térmico Exterior”) em Espanha.

É um sistema que pode ser fixo a um suporte rígido plano por colagem, mecanicamente ou por combinação das duas soluções, Pires (2013).

O sistema ETICS é composto por seis componentes distintos (ver Figura 17)

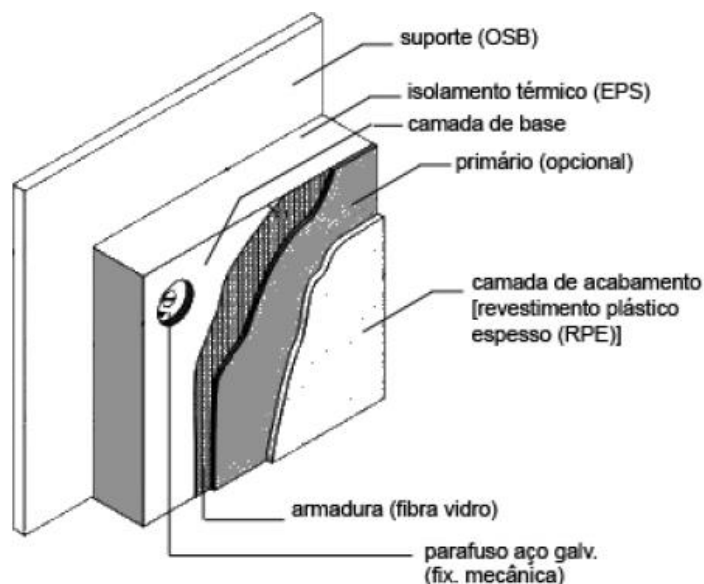


Figura 14- Ilustração da aplicação de isolamento térmico pelo exterior, sistema ETICS (Neves, 2011)

3.3 ANÁLISE INTEGRAL DA SOLUÇÃO

○ 3.3.1 FUNDAÇÕES

Neste tipo de solução construtiva as fundações não carecem de sapatas de suporte mas sim de um ensoleiramento geral, uma vez que todo o peso do edifício é distribuído pelas paredes exteriores e interiores. Tal como numa solução tradicional, a betonagem desta laje, em betão armado (o betão mais adequado será aquele que possua as características ideais de exigências do meio envolvente), é executada após a colocação de um betão de limpeza e de uma malha electrosoldada delimitando a área de construção. Em geral, todo o tipo de canalizações fica embebido nessa laje de fundação (ver Figura 18).

Na maior parte das vezes, é realizado um murete em todo o perímetro efetivo de construção, nivelado, geralmente com 150 a 200 mm de altura e com largura dependendo do perfil U considerado como guia inferior do painel a construir. Posteriormente, sobre toda a superfície deste murete é aplicado uma membrana betuminosa com função isolante, evitando a ascensão de humidade proveniente do exterior, promovendo assim o controlo de corrosão e conservando as propriedades dos perfis.

As ligações entre perfis e fundações, ou seja, as designadas ancoragens, são feitas diretamente sobre a laje tradicional ou sobre os muretes, através dos designados pernes, mais conhecidos por buchas químicas ou mecânicas.

Normalmente os perfis da base das paredes levam um perne de fixação de 1000 em 1000 mm e são reforçados por perfis com 200 mm de desenvolvimento, normalmente um perfil U enrijecido imediatamente inferior à largura do perfil U usado, sendo que o espaçamento entre os mesmos não deve ser superior a 1200 mm (ver Figura 19).



Figura 15- Construção da laje de fundação da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)



Figura 16- Exemplo de ancoragem entre estrutura metálica e fundação em betão armado (GoulartconstruçõesLda, 2013)

○ 3.3.2 ESTRUTURA

Esta técnica pressupõe a elaboração de elementos integrados que funcionam quase como um único elemento. A ideia de solução estrutural, em aço enformado a frio, parte do princípio em que as cargas da construção são distribuídas por todos os elementos estruturais, onde cada um arrecada parte desse carregamento.

Em traços gerais, este conceito é composto por painéis estruturais de aço galvanizados, perfis verticais/montantes e horizontais/guias ou de travamento (ver Figura 20), com uma envolvente interior feita com painéis de gesso cartonado, interior de paredes (divisórias e exteriores) e laje com isolamento acústico composto por lã de rocha e pelo exterior com placas OSB, isolamento térmico ETIC e acabamento final.

Quanto às lajes ou pisos intermédios, estas são orientadas pelo mesmo princípio estrutural dos painéis, composta por perfis de aço galvanizado com espaçamento com semelhante modulação usada em toda a estrutura. Esta noção é igualmente satisfeita na execução de coberturas planas ou inclinadas.

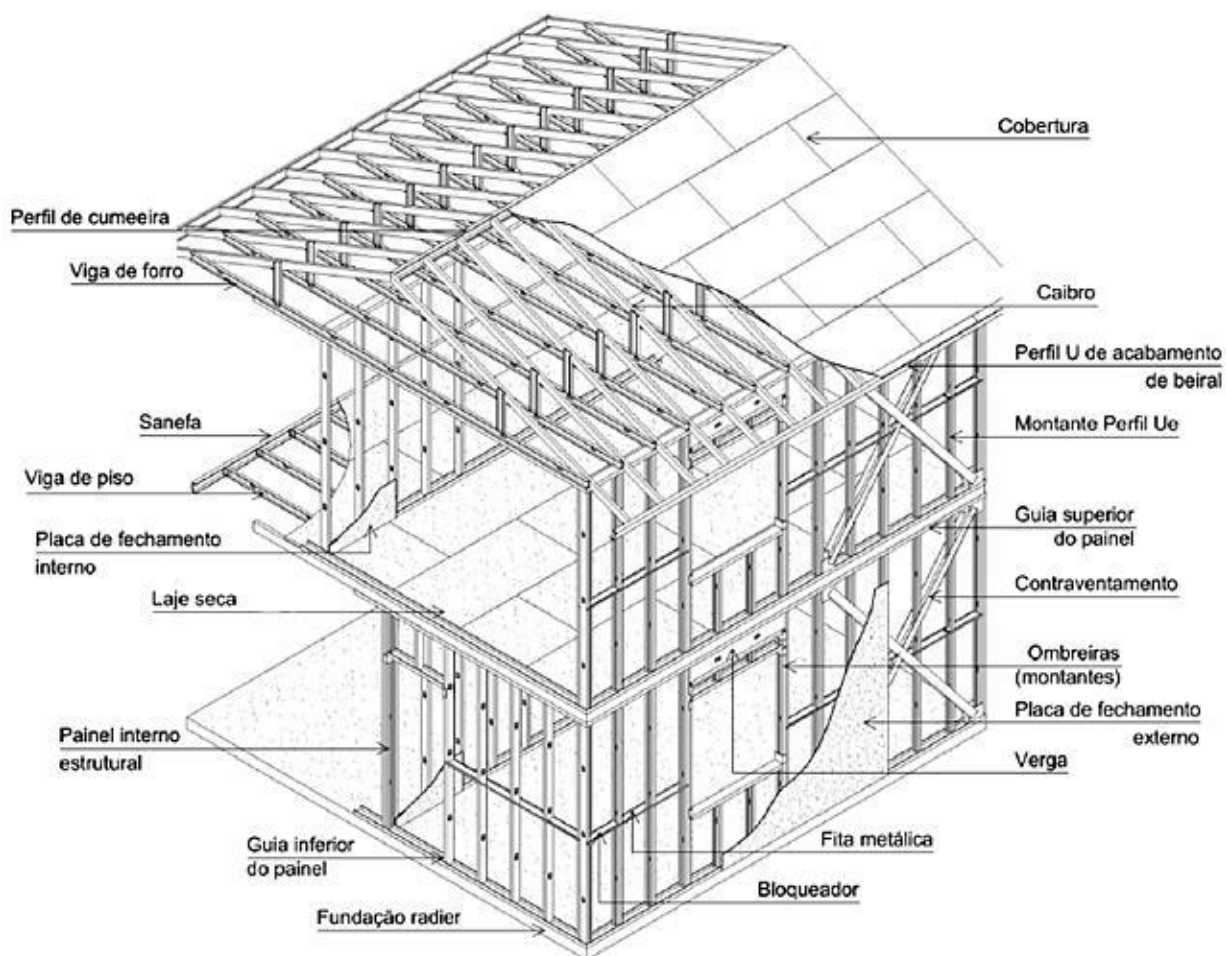


Figura 17- Esquema construtivo LSF (Portuguesa, 2014)

Segundo o empreiteiro Carlos Goulart, a construção de habitações unifamiliares correntes com recurso a liga metálica leve utiliza perfis verticais de forma a produzir elementos contínuos de parede, com perfis em geral espaçados de 600mm ou de 400 mm. Isto para paredes retas. Podem ser usadas modulações distintas se a exigência de carga assim o determinar. Se for uma parede curva, os perfis serão espaçados de 100, 200, 300 ou 400 mm, de acordo com as especificidades da situação.

Estes elementos (perfis) variam tanto na secção como na espessura, consoante o tipo de solução escolhida e as cargas a que o edifício ficará submetido (ver Quadro 7).

Os elementos metálicos são cortados e aparafusadas usando ferramentas apropriadas. A cada elemento horizontal corresponde um elemento vertical, os quais são devidamente ligados através de parafusos. Unem-se as paredes entre si com parafusos galvanizados. O facto de as peças serem galvanizadas permite que a sua durabilidade seja bastante elevada (Geraldês, 2012).

Quadro 7- Definição das características dos perfis tendo em conta a sua aplicação mais usual na solução LSF
(adaptado de Geraldes,2012)

Paredes estruturais	<ul style="list-style-type: none">• Perfis com chapas de espessuras entre 0,8 e 1,5 mm
Pisos e cobertura	<ul style="list-style-type: none">• Perfis com chapas de espessura até 2,5 mm
Estrutura das paredes	<ul style="list-style-type: none">• Perfis com alturas da secção entre os 80 e os 150 mm, e espessura da chapa compreendida entre os 0,8 e os 2 mm.
Estrutura das lajes	<ul style="list-style-type: none">• A altura mínima da secção dos perfis é de 150 mm a máxima pode atingir os 300 mm, com espessura da chapa variável entre 1,5 e 4 mm.

A ligação dos diferentes elementos estruturais é habitualmente obtida através de aparafusamento (ver Figura 21). Outra alternativa menos usual é a ligação por soldadura, a qual implica um incremento dos períodos de construção e torna a aplicação mais complexa. Por outro lado, o desmantelamento do edifício, no final da sua vida útil, também se torna mais complicado, pelo que é pouco utilizada.

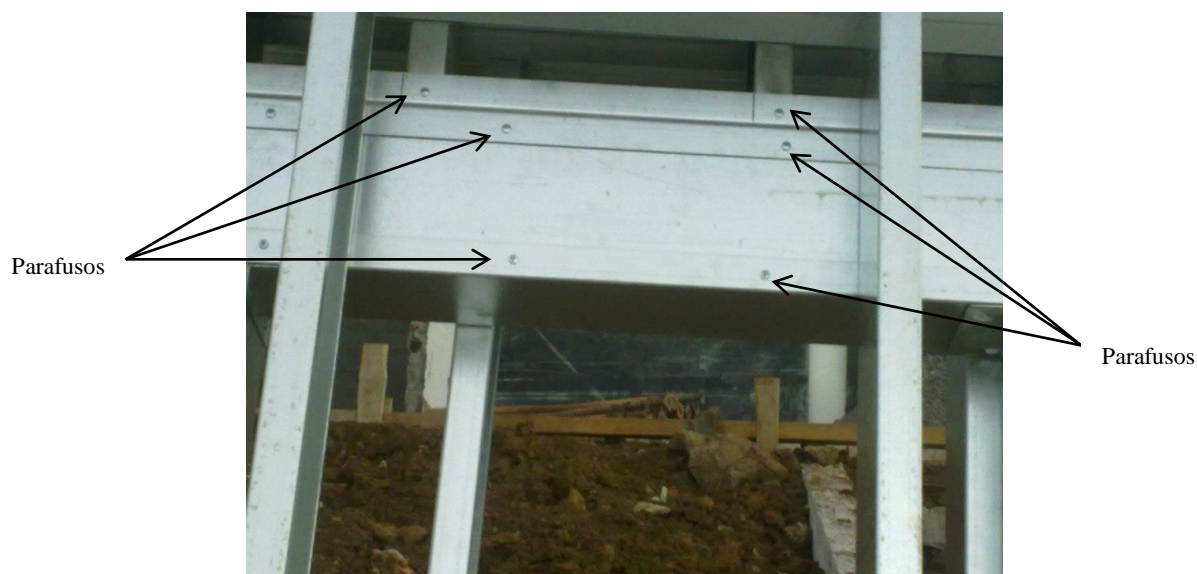


Figura 18- Estrutura em aço enformado a frio da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)

✓ 3.3.2.1 LIGAÇÕES

Como é sabido, neste sistema construtivo há a necessidade de garantir a ligação entre todos os elementos de forma a se obter uma solução homogénea. Desta feita, para se conseguir uma solução uniforme recorre-se a elementos de ligação singulares, regularmente, elementos de cantoneira ou elementos lamelares em aço enformado a frio devidamente aparafusados aos componentes intervenientes.

Como exemplo destas singularidades, encontra-se em Moreira (2012) alguns dos pormenores tipo seguidamente ilustrados nas figuras 22 a 24.

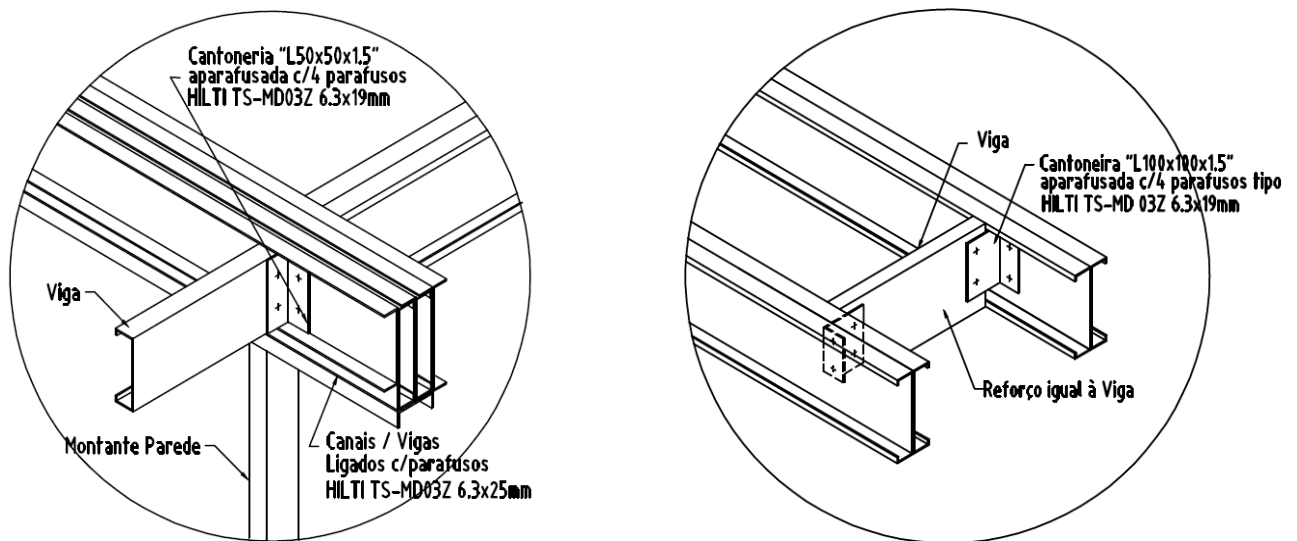


Figura 19- Pormenores de ligação entre perfis de viga com recurso a cantoneiras aparafusadas nos encontros

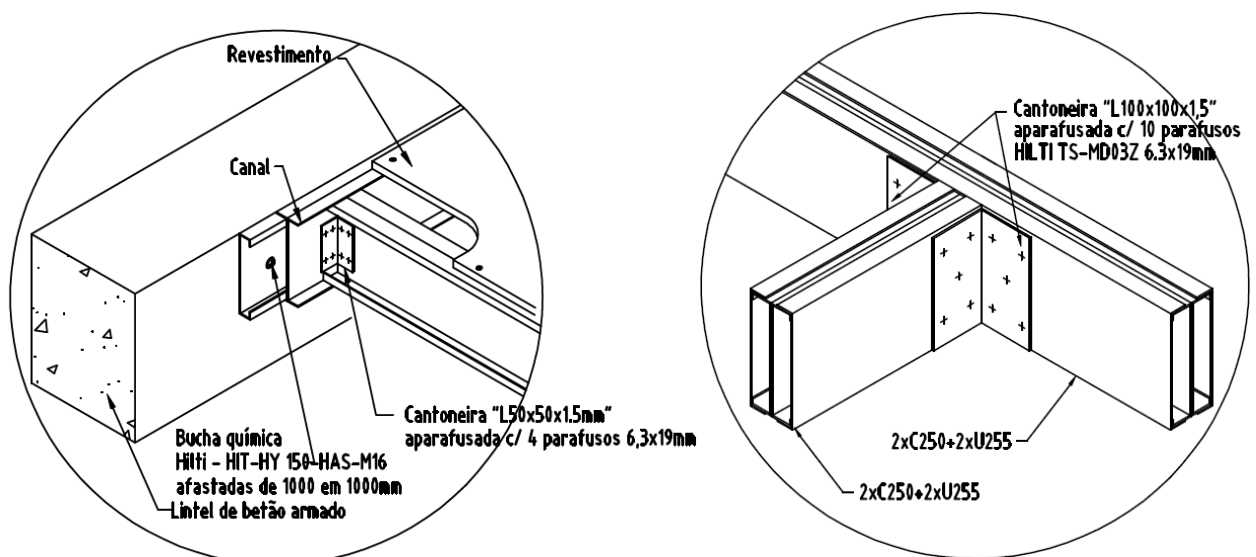


Figura 20- Pormenores de ligação entre perfis de viga por meio de cantoneiras aparafusadas nos encontros: Esquerda- situação de reabilitação /solução mista betão – LSF; direita- ligação entre lintéis, solução LSF

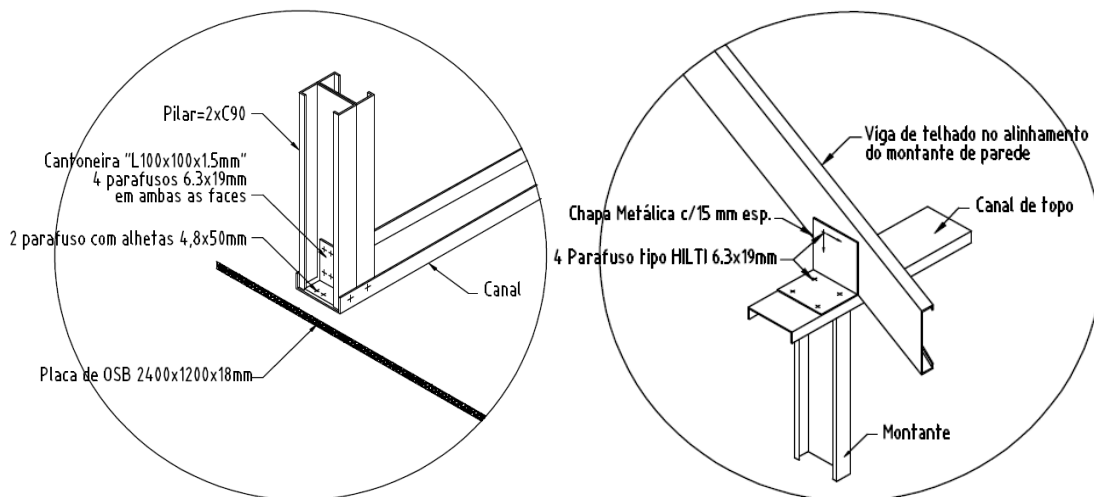


Figura 21- Pormenores de ligação: esquerda - ligação pilar-canal base; direita - viga de telhado com canal topo.

De forma a se obter uma melhor estabilidade dos elementos perfilados, recorre-se às faixas de travamento que usualmente são elementos de aço enformado a frio devidamente galvanizado, com as mesmas propriedades mecânicas dos perfis, variando entre os 100 e os 150 mm de largura e com espessuras de 1,5 a 2 mm. Estes elementos auxiliares podem ser colocados consoante a necessidade expressa em projeto. Usualmente são colocados e aparafusados a meia altura do elemento vertical (perfil), como ilustrado na Figura 25, ou diagonalmente, abrangendo todos os perfis da parede (*X-bracing*-2 faixas; *V-bracing*- 1faixa). Pode ainda ser utilizado o método *K-bracing*, que utiliza perfis tipo U fixados dentro dos montantes da estrutura primária, funcionando em conjunto com a estrutura tanto à tração como a compressão (comportamento de treliça), mas uma vez que ocupa espaço no interior das paredes e dificulta a colocação do isolamento e instalações é um método menos corrente.

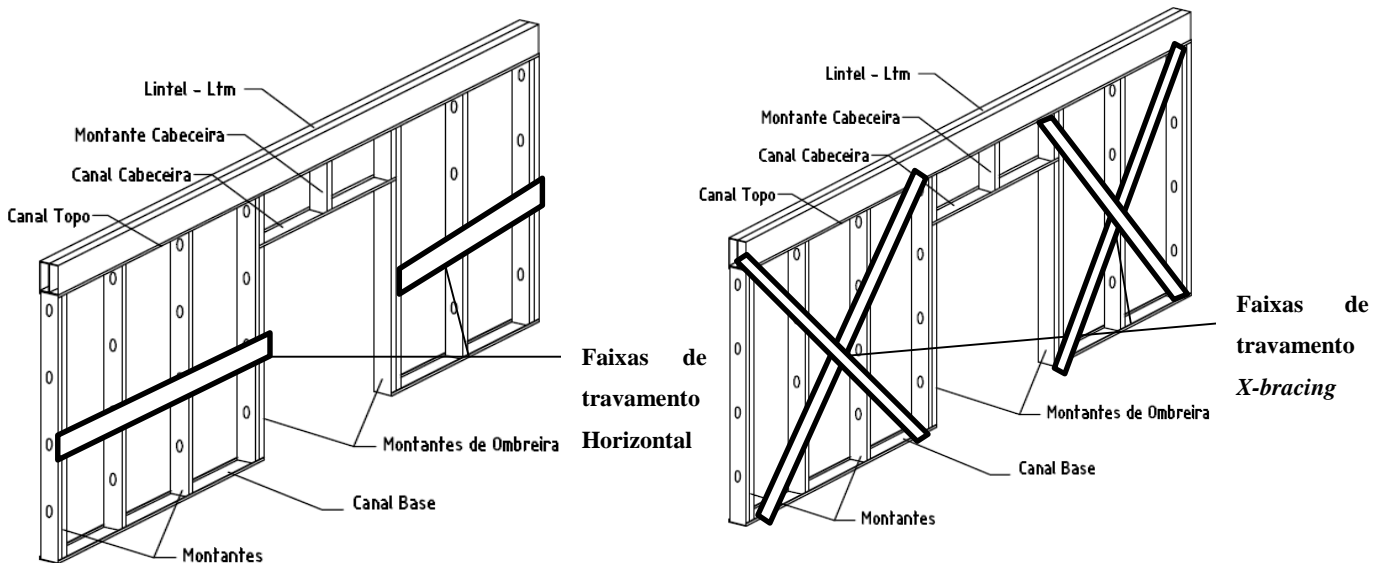


Figura 22- Pormenor tipo de aplicação de faixas de travamento mais comuns

✓ 3.3.2.2 PAREDES EXTERIORES

Os elementos de parede exterior, nesta solução LSF, são produzidos de forma a satisfazer diferentes comportamentos desde estruturais, acústicos e térmicos.

Estas paredes são geralmente envoltas pela aplicação de elementos compósitos com dupla função, de isolamento térmico e acústico e por material de revestimento e acabamento superficial (ver Figura 26).

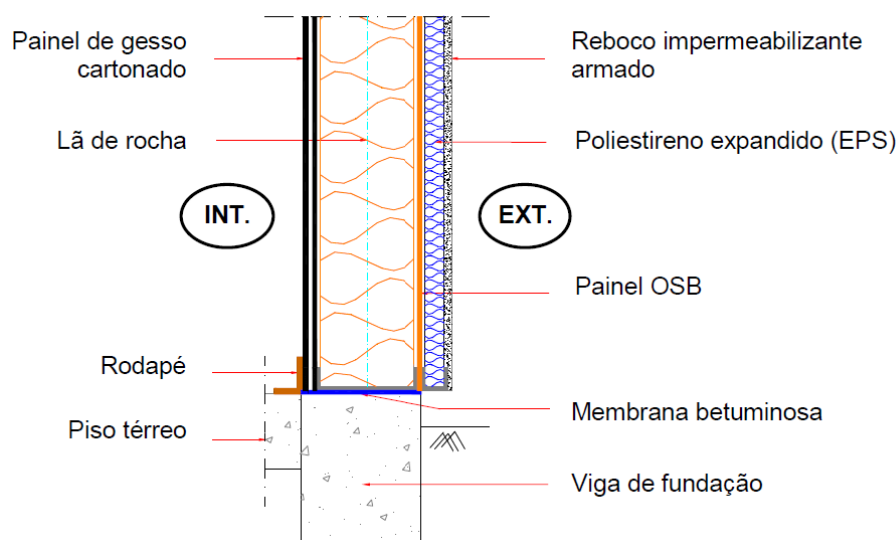


Figura 23- Representação tipo de uma parede exterior executada em LSF (Neves, 2011).

Consiste na aplicação de painéis OSB, consoante a exigência ambiental, através de aparafusamento aos perfis, com posterior colocação de poliestireno expandido (EPS) (ver Figura 27), com a espessura em função da proteção térmica desejada, através de colagem ou fixação com parafusos autoroscantes.

Seguidamente, é aplicado uma camada de base cuja composição tem como produto-base cola acrescida de cimento Portland, cerca de 30% do peso total da pasta.

Sobre o EPS é colocada uma nova camada de base (cimento cola) (ver Figura 28) com sobreposição de uma rede de fibra de vidro ou, menos comum, uma rede metálica com função de aumentar a resistência mecânica ao revestimento, cujo espessamento depende do grau de resistência ao choque desejado, que ficará embebida na íntegra nessa camada de base.

É aplicado um primário (uma pintura opaca) composta por uma base de resinas em solução aquosa tendo como vantagem a redução da absorção e melhora as condições de aderência com a camada de final.

Por último, é aplicado a camada de acabamento/revestimento plástico espesso (RPE) sob a forma de uma pasta, existe numa variedade de texturas e cores. Por ser um material que quando endurecido tem elevada elasticidade evita desta forma a manifestação de fissuras.

Normalmente, pelo lado interior das paredes exteriores, imediatamente logo ao OSB, é colocado uma barreira “para-vapor”, usualmente em papel *Kraft*, para que o isolamento térmico não fique húmido devido a penetrações de água pelo exterior ou por condensação de vapor de água proveniente do interior, garantindo a durabilidade e o desempenho do material isolante. De seguida é colocado nas cavidades entre perfis, usualmente, duas camadas de lã de rocha. Posteriormente são aparafusados, diretamente sobre a estrutura metálica, os painéis de gesso cartonado. Quando exigido, devido a razões estéticas, acústicas ou térmicas pode ser colocado mais que uma camada de painéis de gesso cartonado, por fim, pode ser aplicado qualquer tipo de acabamento final como tinta ou azulejos.



OSB

OSB+EPS+ impermeabilização

Figura 24- Revestimento da estrutura da Obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)



Figura 25- Aplicação do revestimento exterior: EPS; Reboco impermeabilizante armado da obra da Lombada, Ponta do Sol (GoulartconstruçõesLda, 2013)

✓ 3.3.2.3 PAREDES INTERIORES E TETOS

Os elementos de parede interior são do tipo sanduíche, revestidas com painéis de gesso cartonado, cujas cavidades interiores são preenchidas, usualmente, com lã de rocha (ver Figura 29).

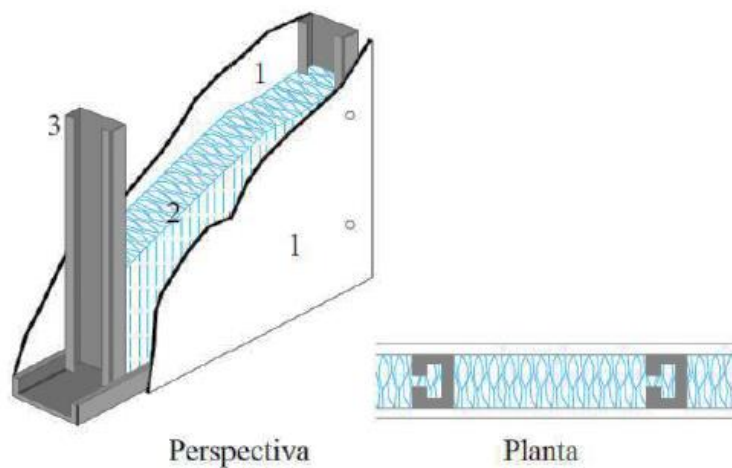


Figura 26- Esquema representativo da solução de paredes interiores: 1-Painel de gesso cartonado; 2- Lã de rocha; 3- Estrutura da parede (Neves, 2011).



Figura 27- Aplicação de revestimentos interiores nomeadamente aplicação de material acústico (lã de rocha) e gesso cartonado no teto e paredes (GoulartconstruçõesLda, 2013)

✓ 3.3.2.4 LAJES DE PISO

Existem múltiplas soluções construtivas para as lajes de piso, sendo que usualmente são executadas com perfis C. Utilizam-se perfis estruturais mais resistentes devido às sobrecargas significativas a que a laje estará sujeita.

Os perfis a utilizar para o vigeamento de piso devem ser escolhidos de acordo com os vãos e com as cargas a suportar. Estes poderão ser simples ou múltiplos, designação que depende do valor da sobrecarga e da seleção para o espaçamento entre vigas (30, 40, 48, 60 cm).

Existem dois tipos de soluções construtivas mais usuais que podem ser observados na Figura 31.

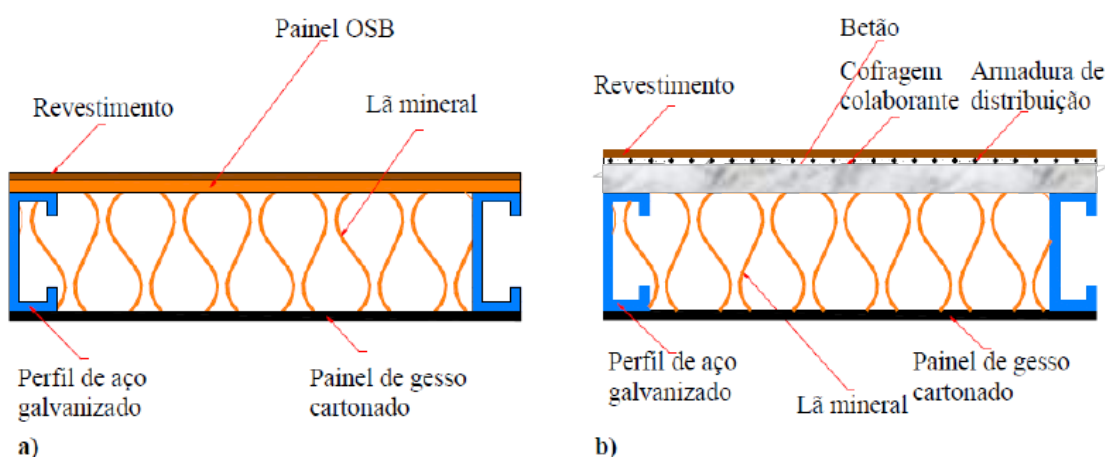


Figura 28- Lajes tipo da solução em LSF: a) solução para laje de cobertura; b) solução para laje entre pisos (Neves, 2011).

Geralmente, o revestimento estrutural das lajes de piso é concretizado através de placas de OSB, podendo, opcionalmente, adotar-se uma utilização de painéis de aglomerado de madeira e cimento ou

painéis metálicos de cofragem colaborante com laje de betão armado de reduzida espessura. No caso desta última solução, mesmo ao apresentar baixa aptidão em termos de reciclagem e reutilização dos materiais, é a solução termicamente mais eficiente, sobretudo em zonas onde a amplitude térmica é mais elevada o que gera, por ter mais massa, um aspeto positivo na inércia térmica deste tipo de solução construtiva, o que geralmente é muito baixa.

Sobre a laje de piso pode ser assente todo o tipo de pavimento/acabamento.

No que diz respeito a execução do lado interior da laje de piso é, geralmente, composta por duas camadas de isolamento acústico (lã de rocha) nas cavidades entre perfis, para melhorar o comportamento acústico e eliminar o ruído ôco, e posteriormente colocado painéis de gesso cartonado, com a devida fixação com parafusos autoroscantes e selagem das uniões entre as placas.

✓ 3.3.2.5 COBERTURA

As coberturas podem ser planas ou inclinadas e podem ser executadas tendo em conta diferentes métodos construtivos.

No caso das coberturas planas, os métodos utilizados são estruturalmente semelhantes aos das lajes de piso, exigindo apenas um reforço do isolamento térmico e garantir a impermeabilização da mesma (ver Figura 32).

Existem alguns métodos que permitem garantir a estanquidade e a funcionalidade das coberturas, um desses métodos pressupõe que após a elaboração da estrutura de cobertura é fixado os painéis de OSB e sobre estes painéis será aplicado uma barreira “pára-vapor”, com posterior aplicação de um isolamento térmico (constituído por placas de poliestireno expandido moldado, EPS), um outro método consiste numa solução de impermeabilização, geralmente uma tela de PVC com fixação mecânica e vulcanização. Existe ainda uma outra solução mais corrente (ver Figura 32), que consiste em, após a colocação das placas OSB, usar como impermeabilização poliureia projetada, passível de numa fase posterior ser aplicada uma tela e aplicação de brita. Esta solução, quando bem aplicada, torna-se estanque e é uma solução mais rentável.

No que respeita às coberturas inclinadas, a estrutura é composta por asnas de aço galvanizado, sendo que a impermeabilização da cobertura pode ser executada pela aplicação de telha cerâmica, metálica, asfáltica ou PVC (ver Figura 33). Se se adotar pela utilização da telha cerâmica, a impermeabilização deve ser reforçada através da aplicação de uma subtelha ou através de telas de impermeabilização.

De semelhante forma, como nas coberturas planas, a solução de isolamento acústico é habitualmente em lã de rocha, sendo posteriormente forrado com painéis de gesso cartonado pelo interior.



Figura 29- Aplicação de poliureia projetada como impermeabilizante na cobertura da moradia da Lombada, Ponta do Sol
(GoulartconstruçõesLda, 2013)



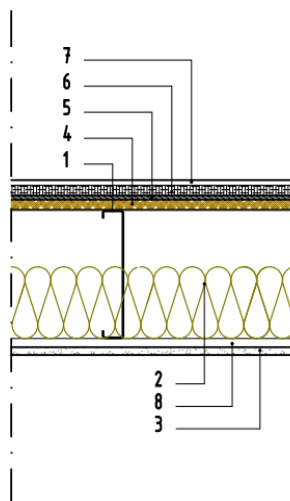
Figura 30- Cobertura inclinada utilizada na solução construtiva de LSF (Futureng,2010)

○ 3.3.3 PORMENORES CONSTRUTIVOS

Abordou-se anteriormente o tema das singularidades dos elementos construtivos, e tal como mencionado no início deste trabalho, este método depende muito da aplicação de soluções padronizadas que quando bem executadas influenciam o comportamento global do empreendimento, minorando custos de manutenção/reparação a longo prazo. Dá-se agora destaque às soluções mais comumente usadas, segundo a empresa Futureng (técnico responsável pelos desenhos, João Santos).

Pormenores tipo

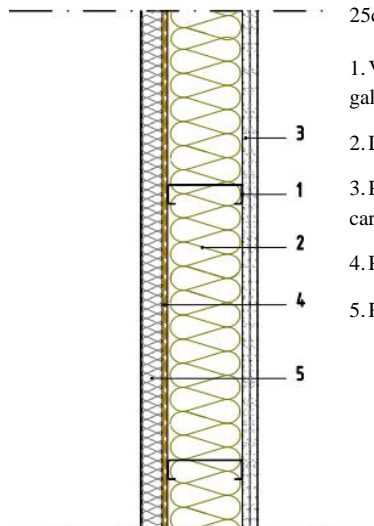
Piso entre fogos



Legenda:

- 35cm de espessura
1. Viga em aço galvanizado C250
 2. Lã mineral 60+60mm
 3. Placa de gesso cartonado 15mm
 4. Placa OSB 18mm
 5. Painel de isolamento 20mm
 6. Placa cimentícia 19mm
 7. Revestimento do piso
 8. Perfil omega

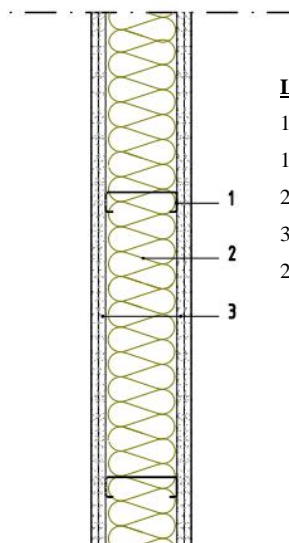
Parede exterior



Legenda:

- 25cm de espessura
1. Viga em aço galvanizado C150
 2. Lã mineral 60+60mm
 3. Placa de gesso cartonado 2x13mm
 4. Placa OSB 11mm
 5. Reboco Térmico 60mm

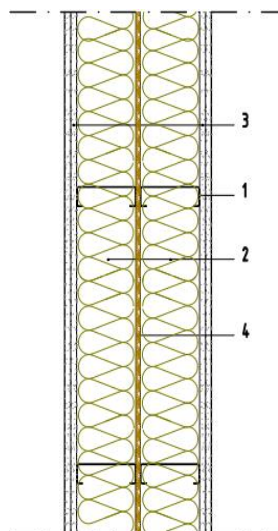
Parede divisória de compartimento



Legenda:

- 14.5cm de espessura
1. Viga em aço galvanizado C90
 2. Lã mineral 45+45mm
 3. Placa de gesso cartonado 2x13mm

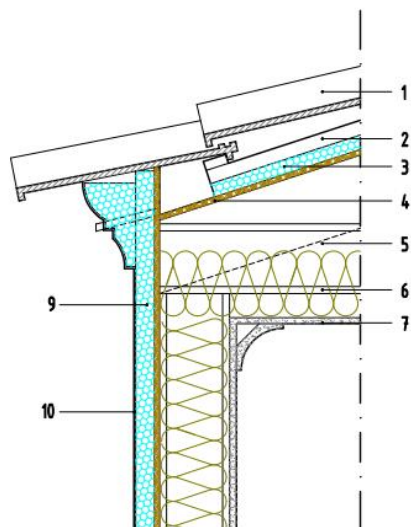
Parede divisória entre fogos



Legenda:

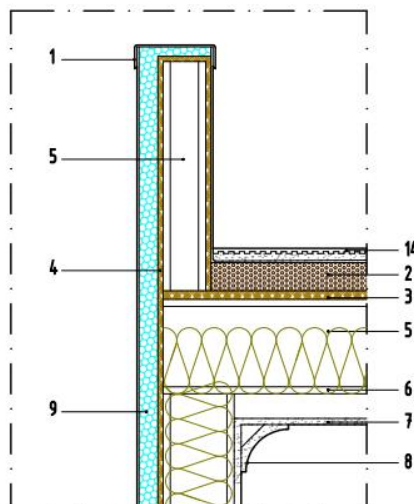
- 24.5cm de espessura
1. Viga em aço galvanizado C90
 2. Lã mineral 45+45mm
 3. Placa de gesso cartonado 2x13mm
 4. Placa OSB 11mm

Pormenor da cobertura inclinada



des

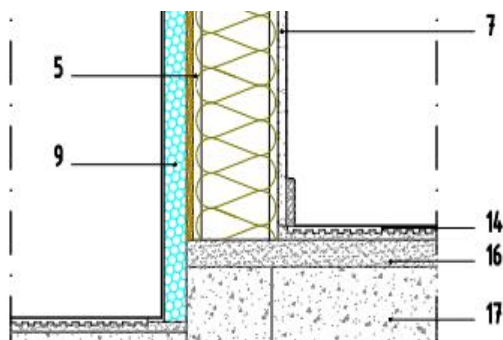
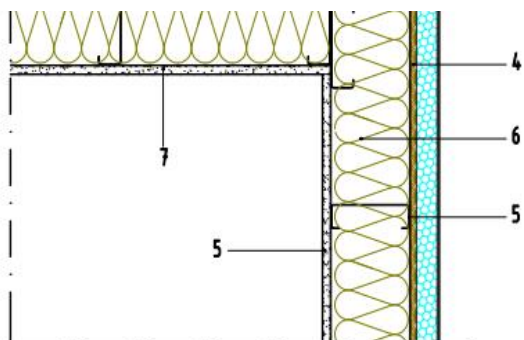
Pormenor da cobertura plana



1to térreo

Legenda:

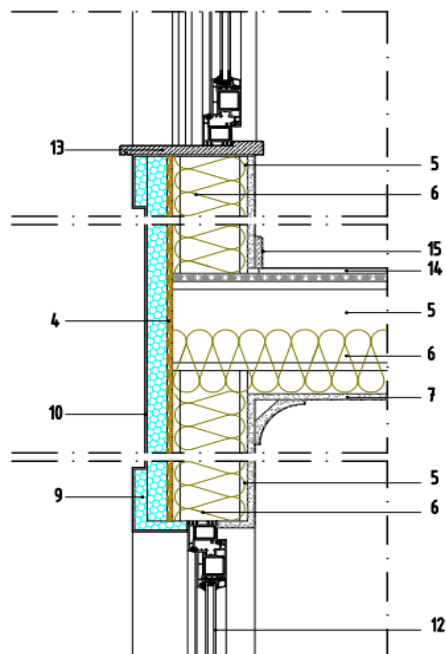
1-Rufo metálico; 2-Painel oxiasfalto; 3- Placa OSB 18mm; 4- Placa OSB 11mm; 5- Viga em aço galvanizado; 6- Lã mineral 60+60mm; 7- Placa de gesso cartonado; 8- Sanca; 9- Poliestireno expandido 40mm; 10- Reboco acrílico; 14-Revestimento do piso.



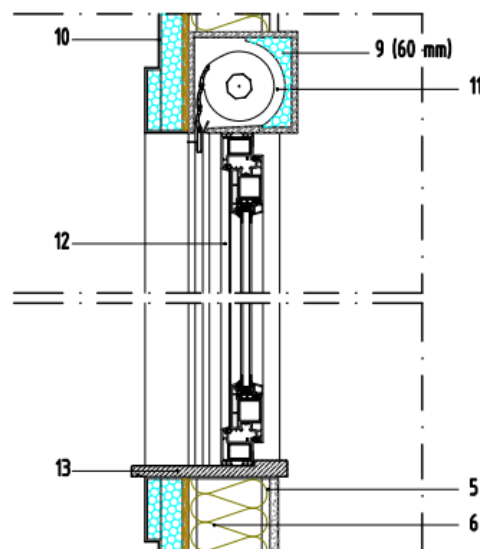
Legenda:

4- Placa OSB 11mm; 5- Viga em aço galvanizado; 6- Lã mineral 60+60mm; 7- Placa de gesso cartonado; 9- Poliestireno expandido 40mm; 14-Revestimento do piso; 16-Betonilha; 17- Laje.

Pormenor da fachada com a caixilharia



Corte vertical da caixilharia com caixa de estore



Legenda:

4- Placa OSB 11mm; 5- Viga em aço galvanizado; 6- Lã mineral 60+60mm; 7- Placa de gesso cartonado; 9- Poliestireno expandido 40mm; 10- Reboco acrílico; 11- Aglomerado de cortiça 50mm; 12- Caixilharia PVC; 13- Pedra; 14- Revestimento do piso; 15- Rodapé.

3.4 REABILITAÇÃO

O uso de elementos estruturais de aço enformados a frio em reabilitação de estruturas antigas ou em remodelações tornou-se bastante aliciante e competitivo, comparativamente a outras soluções tradicionais, devido à sua baixa relação peso/resistência. A utilização de materiais mais leves reduz as dificuldades de transporte e elevação.

Mostra ser especialmente vantajoso na substituição de pisos em madeira ou telhados já degradados, uma vez que, devido ao reduzido peso dos materiais empregues, frequentemente elimina a necessidade de reforçar a estrutura do edifício e em alguns casos é uma alternativa possível para dividir espaços ou acrescentar um novo piso, diminui a carga sobre a estrutura e ainda melhora o desempenho face a possíveis abalos sísmicos. Resolve ainda outros problemas de engenharia que se tornariam difíceis ou extremamente caros usando betão armado ou aço laminado a quente (Moreira, 2012).

Tem como vantagem apreciável a rapidez de construção, a redução ou mesmo eliminação de cofragem, não necessita de abertura de roços, menor consumo de água com consequente eliminação de tempos de

cura ou secagem e ainda possibilita menos ruído e escombros após demolição. Permite manter o aspeto existente, trazendo melhorias significativas a nível de conforto.

Como exemplo de reabilitação, com recurso a LSF, temos a remodelação da estrutura anexa à moradia da Ponta do Sol (ver figura 34), onde executou-se uma ampliação e contenção/reforço da cobertura da construção pré-existente



Figura 31- Remodelação da estrutura anexa à moradia da Lombada, Ponta do Sol com recurso da solução em aço enformado a frio (GoulartconstruçõesLda, 2013)

Destaca-se o facto de que em locais de difícil betonagem ou porque é desejada a redução de sobrecargas adicionais, ou simplesmente devido a questões arquitetónicas e estéticas, uma solução interessante pode ser obtida através do recurso a aço enformado a frio.

Um dos métodos é denominado painel com inclinação, executado com perfis “U_e” verticais com diferentes comprimentos (montantes) e aparafusado nos perfis “U”, em que um ficará inclinado (guia superior) e outro como guia inferior do painel. No perfil inclinado é parafusada a estrutura dos degraus formada por perfis “U_e” dobrados, conforme apresentado na Figura 35.

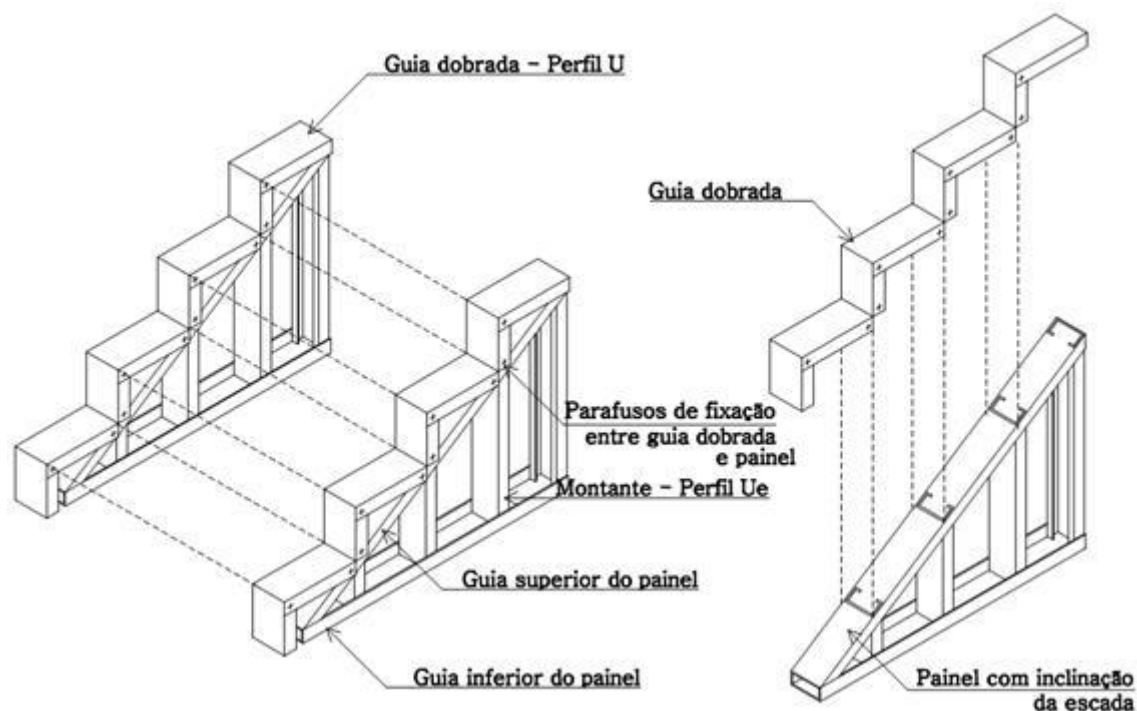


Figura 32- Método painel com inclinação (Crasto, 2005)

Após a montagem do painel, a estrutura pode ser fechada (espelhos e pisos) com peças de madeira maciça, painéis rígidos de OSB, painéis compostos, entre outros.

Segundo Crasto (2005), outra forma de executar escadas é denominada de painéis escalonados. Este método consiste na execução de um painel com a altura dos degraus definidos a partir do comprimento dos montantes onde serão apoiados os painéis dos degraus, desta forma se obtém o escalonamento necessário para a inclinação da escada, detalhado na Figura 36.

O painel do degrau se consiste em dois perfis “Ue” e dois “U” parafusados, formando o apoio do degrau onde será aplicado o contrapiso. Posteriormente a estrutura pode ser fechada (espelhos e pisos), tal como no exemplo anterior, por painéis rígidos de OSB entre outros.

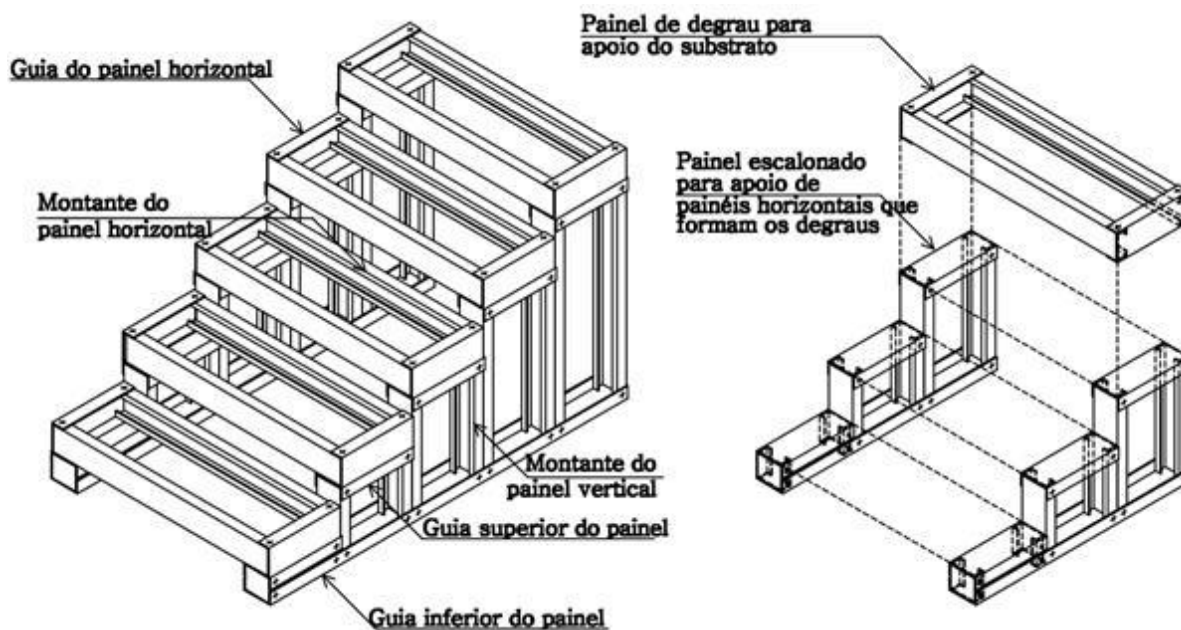


Figura 33- Método de Painéis escalonados (Crasto, 2005)

○ 3.4.1 LIMITAÇÕES

Por seu turno, existem certas limitações tais como na contenção de fachadas, sendo necessária uma estrutura adequada nomeadamente em betão armado ou em aço laminado a quente que garanta a estabilidade e reforço da fachada debilitada, por exemplo através da execução de uma cinta perimetral em betão armado no topo das paredes exteriores para permitir a sua estabilização. Posteriormente pode-se dar continuidade à construção com a aplicação de uma estrutura metálica LSF com função de cobertura ou de novo piso.

No caso de ser necessário garantir a ligação entre paredes exteriores existentes, de forma a garantir um certo comportamento de diafragma ao piso, recorre-se a elementos estruturais constituídos por materiais com maior capacidade à compressão.



Figura 34- Reabilitação de cobertura de uma moradia em Allhos Vedros (Futureng, 2012)



Figura 35- Reabilitação de edifício em Leça da Palmeira com construção de um piso totalmente com recurso a esta solução (Futureng, 2011)

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA

4.1 CARACTERÍSTICAS QUE FAZEM DO LSF UMA SOLUÇÃO A CONSIDERAR NO MERCADO DA CONSTRUÇÃO

Mesmo que a solução LSF custe o mesmo que uma solução tradicional, é de notar que a primeira solução poderá ser mais interessante, dados os seguintes fatores (engenhariaeconstrução.com, 2014):

- **Valor Imobiliário**

Como exemplo, temos a redução da secção das paredes, isto é, resulta num acréscimo de área útil. Para além dessa diminuição de secção, o edifício detém materiais que compõe os isolamento térmico e acústico com espessuras elevadas o que reduz significativamente as pontes térmicas e as condensações.

- **Mais área interna**

Usualmente, a secção das paredes LSF tem menos 0,120 m do que as paredes das soluções correntes (alvenaria), o que mostra que por cada metro linear de parede exterior são ganhos 0,12 m² de espaço interior.

- **Menos mão-de-obra**

Como é sabido, numa construção tradicional uma grande percentagem do custo final está associada à mão-de-obra. Em contra partida, nas habitações com estrutura em LSF poupa-se mais na mão-de-obra e, desta forma, para igual orçamento, pode-se investir mais na qualidade dos materiais básicos.

- **Manutenção mais fácil**

Na solução LSF, um especial enfoque vai para a diminuição do risco de condensações, superficiais e do interior das paredes, devido às características do isolamento térmico e temperatura interior, suprimindo os malefícios estimulados pela presença de fungos e bolores, não só nos materiais aplicados no edifício como no mobiliário e essencialmente na saúde dos ocupantes (Mendonça, 2005).

- **Construir para vender**

As estruturas em aço galvanizado adaptam-se a qualquer tipo de projeto. Apesar das inúmeras vantagens, tais como o conforto, segurança e rapidez de construção(o revendedor poderá reaver o seu investimento em menos tempo), a aparência exterior e interior é semelhante a qualquer outro edifício

- **Outros fatores**

Existem diversos fatores que preveem uma maior competitividade do LSF no futuro. Um deles é a maior experiência dos trabalhadores. Presentemente, todo o custo de formação dos trabalhadores é sustentado pelas empresas construtoras, na sua maioria de proporção familiar.

4.2 PARÂMETROS A CONSIDERAR NA FASE DE ORÇAMENTAÇÃO

Nesta seção abordam-se alguns conceitos gerais que devem ser tidos em conta na fase de planeamento de uma obra. É de notar que alguns dos parâmetros referidos são comuns a qualquer tipo de obra. Para o efeito, contactou-se um empreiteiro associado ao ramo LSF permitindo assim aprender alguns conceitos/experiências relativamente ao processo de orçamentação.

De acordo com o empreiteiro Carlos Goulart, fundador da empresa Goulart-Construções Lda, com vasta experiência na construção com LSF, na fase de orçamentação devem ser consideradas as seguintes etapas:

1º Montagem do estaleiro de obra - Calcular o custo e as condições para resguardar o material na obra. Também ter em conta o custo dos transportes associados à obra e encargos com transitários e seguros.

2º Estudo do meio envolvente e das suas necessidades particulares - Analisar em que situação se encontra o terreno, se há necessidade de efetuar desaterro ou aterro com posterior cálculo do custo dessa parcela, se é necessário outros realizar trabalhos como por exemplo a consolidação de terras, muros de vedação ou de suporte.

3º Análise das diversas especialidades - As especialidades como água, eletricidade, gás e telefone, se estão já implantadas junto ao terreno ou ainda não estão, e se é necessário contar com todas ou não no orçamento.

Necessidade de planeamento das questões inerente as compatibilizações das diferentes especialidades, de forma a evitar o corte desnecessário de perfis aquando da colocação das mesmas em obra.

4º Calcular quantidades e tipos de betão a usar nas diferentes operações de construção - Calcular o betão de limpeza, o betão da laje de fundação e muretes de apoio às paredes. Deve ser tido em conta, antes de betonar a laje de fundação, o material necessário para as canalizações bem como os locais e posições previstos no projeto de cada especialidade, ter em conta a canalização para fossas ou dreno no pavimento, o que evita a posterior abertura de roços na laje para implantar esses serviços. As restantes especialidades a implantar devem igualmente ser previstas e colocadas logo nas posições certas para evitar custos acrescidos.

5º Cálculo das quantidade de perfis - Para as paredes exteriores, como para as paredes interiores, laje divisória e cobertura.

Deve ser tido em consideração o cálculo dos perfis que fazem a ligação, ou seja os perfis de base e topo

das paredes. Deve também contar com os perfis de reforço e de travamentos das paredes, fitas de travamento e de junção.

6º Calcular as quantidades de áreas a revestir - OSB para as paredes exteriores, contar com abas, muretes, todas as partes a revestir pelo exterior com OSB3 de 11 mm: A quantidade determinada para a execução desta parcela será igual á parcela de revestimento térmico ETICS a aplicar.

Ter em consideração o tipo de cobertura, se plana ou se de telha. Neste último caso deve-se descontar a quantidade de OSB da cobertura e calcular a quantidade de OSB3 de 18mm macheado para a laje divisória e cobertura plana se for esse o caso. As quantidades a usar de OSB nestas parcelas serão as mesmas a aplicar em gesso laminado e o dobro em placas de lã de rocha a aplicar nos tetos.

Se a cobertura for plana, calcular os custos dos materiais de acabamento a aplicar, por exemplo: mosaicos, pedra serrada, brita, seixo ou argila expandida. Deve ser tido em conta que qualquer que seja o acabamento, a impermeabilização é o mais importante. Deve ser usado o produto com garantia de estanquidade. Um material considerado eficiente é a poliureia, a qual existe em várias cores, podendo ter função de acabamento.

No caso das paredes divisórias as áreas a revestir serão as mesmas tanto para o gesso laminado como para a lã de rocha, com duas camadas de gesso cartonado e lã de rocha.

7º Calcular as especialidades- redes de águas, esgotos, gás, parte elétrica completa com os respetivos equipamentos, nomeadamente aspiração central, pré-instalação para ar condicionado, contar com os custos de alarme, sensor de inundação nas casas de banho e cozinha, sensor de fumo e deteção de fuga de gás, também a parte de robótica e controlo de estores, iluminação e aparelhagens diversas como por exemplo a climatização. Calcular o custo do solar térmico mais adequado para a instalação, devendo ser calculado o sistema completo e não só a pré-instalação, visto ser obrigatória a instalação do equipamento completo para a licença de habitação. Ter em conta o tipo de iluminação a instalar, se normal se de leds. Em algumas obras tem que ser montada uma mini-etar devido a não existir rede de saneamento cujo custo deverá ser considerado.

8º Calcular o custo dos revestimentos a aplicar - Tanto no caso das paredes como dos pavimentos, é preferível o cliente escolher os materiais antes de se entregar o orçamento. As louças sanitárias devem ser bem discriminadas no orçamento, assim como as carpintarias, móveis de cozinha, casa de banho, roupeiros e portas. Ter em conta o custo da pintura, sancas ou outro tipo de acabamentos.

9º As caixilharias - Se o cliente mostrou interesse em algum tipo de caixilharia, orçamentar esse mesmo tipo. Se não, apresentar duas opções; alumínio de corte térmico e pvc. Deve ser tido em conta o tipo de vidro e o tipo janelas (de correr ou abrir). Os estores também devem merecer atenção, visto haver vários tipos, pelo preço e qualidade é sempre preferível a instalação de estores compactos, podem ser de comando elétrico, por fita ou por manivela.

10º Diversos - Em muitas situações, a obra a executar não tem projeto de LSF. Essa opção não é familiar para a maioria dos projetistas, tem que ser incluída no orçamento referente a cada construção. Um projeto bem elaborado facilita muito a construção no que concerne aos prazos de execução, na redução de possíveis desperdícios, racionalização de recursos humanos promovendo assim uma maior eficiência de execução e controlo das atividades, sendo que os montadores das paredes só têm que respeitar as medidas do projeto de cada parede, assim como as medidas dos vãos definidos para as caixilharias a aplicar, tornando todo o processo muito mais célere.

4.3 CASOS DE ESTUDO

Pretende-se com este estudo comparar e conhecer as capacidades desta solução enquanto alternativa aos sistemas construtivos convencionais, em particular como alternativa às estruturas em betão-armado com alvenaria, que é a solução mais comum. Assim, estudou-se a viabilidade económica de dois projetos de habitação unifamiliar, com cobertura plana, sendo que estas construções se encontram localizados na zona da Lombada, Ponta do Sol, e outro em Palmela, Setúbal.

Neste âmbito foram elaborados e comparados os orçamentos das duas obras para a Região Autónoma da Madeira, sejam estas executadas em LSF ou pela solução convencional de alvenaria e betão armado.

Foram avaliadas as características relevantes para a comparação, isto é, que sejam intervenientes cruciais de comparação entre as diferentes soluções construtivas. Assim, foram analisadas as fundações e a parte exclusivamente estrutural intrinsecamente ligada ao projeto, desde aplicação de perfis e painéis, acabamento exteriores e interiores bem como a aplicação do sistema ETICS. Por outro lado, arredores, aterros, desaterros e restantes atividades paralelas (ex: piscina, saneamento (fossas), acessos entre pisos (escadas pré-fabricadas), pedonais e rodoviários, acabamentos de revestimento superficiais (tintas e vernizes, colocação de pedras ornamentais e soalhos), colocação de envidraçados e caixilharias, bem como restantes subempreitadas, desde eletricidade, canalização, picheiros e instalações de AVAC e multimédia, não foram considerados para efeitos de orçamentação, uma vez que são atividades semelhantes nas soluções construtivas em análise.

Para efeitos de estudo, e de forma a simplificar a análise, foi considerado o mesmo número de trabalhadores (1oficial+3serventes) e o mesmo custo horário de mão-de-obra, sem considerar necessidades de alojamento temporário nem custos inerentes a implementação de um estaleiro. O custo da mão-de-obra utilizado nas atividades de betão, aço e cofragem já se encontram associadas ao custo composto das mesmas, baseados no levantamento de dados de obras correntes, sendo que para os restantes atividades afetas ao LSF, serão definidas para valores tipo de mão-de-obra (oficial=9,70 €/h; servente= 7,94 €/h) obtidos através do *site* de rendimentos (orçamentos.eu, 2014 - *site* que disponibiliza dados orçamentais [materiais, mão-de-obra e equipamentos]) e de dados de produtividade que foram

disponibilizados pelo empreiteiro, nomeadamente tempos de execução das diversas operações de construção inerentes a colocação de perfis, sistema ETICS e OSB.

Para as questões de betonagem, optou-se por betão pronto uma vez que tem várias vantagens (norma NP EN-206-1), tais como:

- Melhoria da qualidade e segurança na construção.
- Maior rapidez, racionalidade e eficácia na execução da obra.
- Redução dos custos da não qualidade.
- Proteção ambiental do meio e do consumidor.
- Segurança sobre o plano técnico (antes, durante e depois do fabrico).
- Simplificação da organização da obra/estaleiro.
- Qualidade e eficácia de serviço.
- Racionalização económica.

Considera-se ainda que as betonagens serão feitas através de autobetoneiras com auxílio de camiões bomba. O betão de limpeza a usar nas diferentes soluções, desde ensoleiramento geral na solução LSF ou mesmo nas bases das sapatas na solução corrente de alvenaria, será um C12/15 com classe de abaixamento S2 (50 a 90mm), segundo a norma NP EN-206-1, 2008.

Dado que os dois projetos se localizam em zonas superiores a 1000 m de distância do mar e inserem-se num ambiente moderadamente húmido, estaremos a falar de projetos cuja exposição ambiental se enquadra na classe XC3. De forma a simular uma solução típica da construção civil na RAM, considerou-se um betão C25/30 de classe de consistência/abaixamento S3 (100 a 150 mm), segundo a norma NP EN-206-1, 2007.

Salienta-se ainda que para questões de análise de armaduras, nos diferentes elementos construtivos na solução de betão armado, adotou-se taxas de armadura consideradas correntes, tendo em conta alguns projetos de betão semelhantes.

Para o efeito de estudo, considerou-se ainda semelhantes condições de terreno, isto é, com as mesmas características mecânicas, nomeadamente um terreno rochoso, possibilitando a execução de fundações do tipo superficial.

○ 4.3.1 PROJETOS

O esboço seguinte corresponde à planta de uma moradia unifamiliar de piso térreo que se situa na Região Autónoma da Madeira, nomeadamente no concelho da Ponta do Sol, zona da Lombada. Possui cerca de 208 m² de ensoleiramento geral, um perímetro de 68 m, cerca de 131 m² de parede exteriores e 211 m² de paredes interiores (incluindo paredes divisórias e restantes superfícies verticais interiores- ver Anexo H - elementos de parede). Este projeto contempla também a execução de uma cobertura plana.

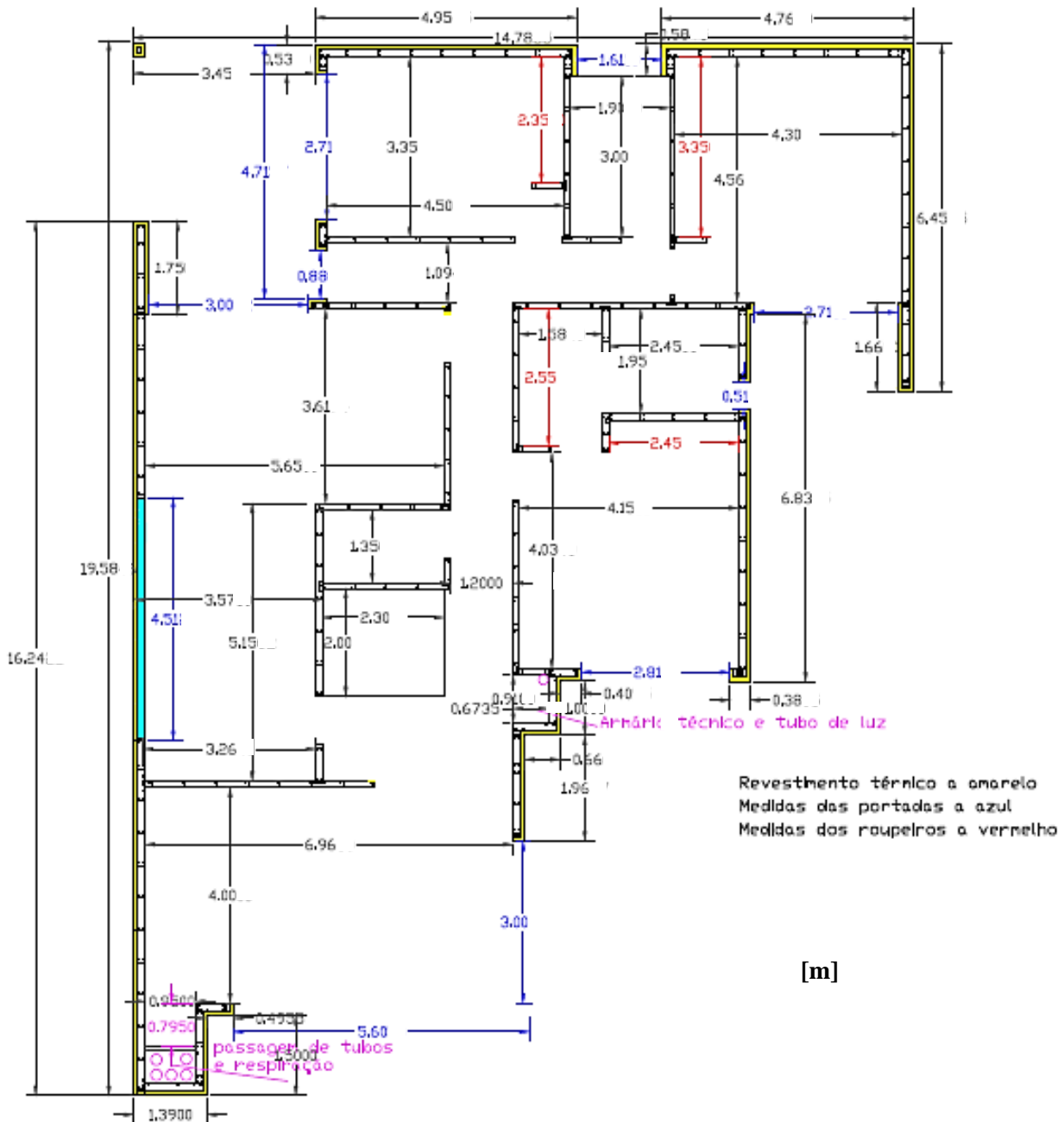


Figura 36- Planta da moradia da Ponta do Sol (Lombada)

Por seu turno, o projeto representado na figura seguinte corresponde a uma moradia unifamiliar com dois pisos que se encontra localizada em Setúbal, na freguesia de Palmela. Possui 51,9 m de perímetro, um ensoleiramento de 108 m², cerca de 113 m² de cobertura e uma área de paredes exteriores com cerca de 247 m² (ver Anexo I - elementos de parede). Contempla também uma escada em espiral pré fabricada de acesso entre pisos. Tal como no projeto anterior este também contempla a execução de uma cobertura plana.

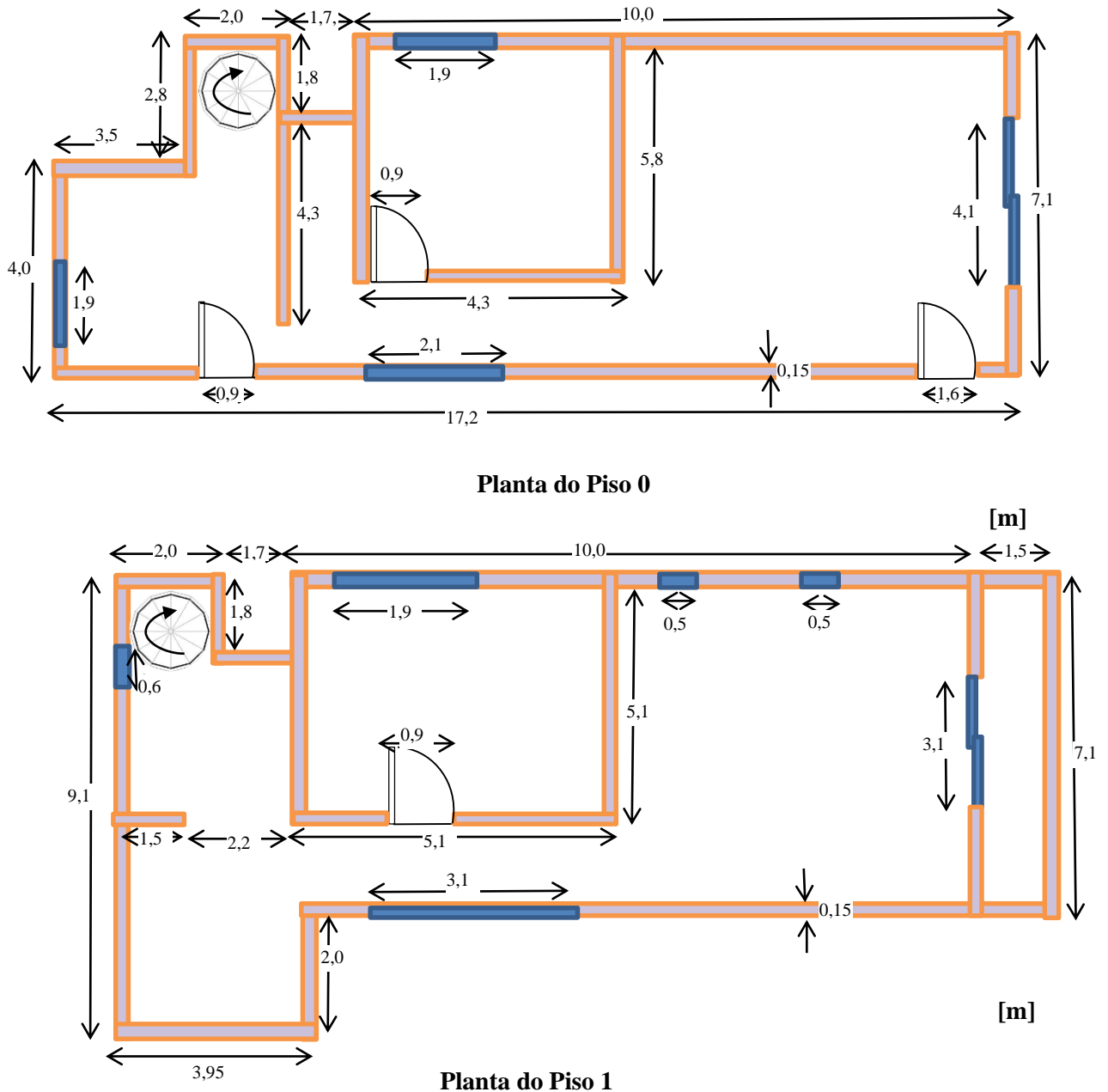


Figura 37- Ilustração da planta do projeto de Palmela

Para efeito de análise, as medições foram efetuadas através do estudo dos projetos no programa AutoCAD. Salienta-se o facto de que os dados recebidos, provenientes do empreiteiro Goulart, já vinham com os desenhos das fachadas e divisórias, projetos que foram seguidos nas medições efetuadas.

Através da análise de catálogos e de diálogos com o empreiteiro Carlos Goulart, nomeadamente acerca das condições de envio dos materiais do Continente para a RAM (considerou-se apenas 1 contentor de 12 m para ambas as obras, segundo indicações do empreiteiro), fornecedores mais correntes e os diferentes fatores a ter em conta neste método construtivo (tipos de perfis mais usados, técnicas construtivas, entre outras), foi possível elaborar os orçamentos para as obras analisadas.

○ **4.3.2 ESTUDO DA SOLUÇÃO LSF**

Neste estudo, teve-se em consideração diferentes parâmetros de análise, tais como o transporte de materiais, as fundações, os elementos de parede interior e exterior e cobertura.

No que concerne ao transporte de materiais entre Portugal continental e a Região Autónoma da Madeira (R.A.M), considerou-se o custo do transitário, o custo de um contentor de 12 m (com capacidade até 25 toneladas) e um seguro do transporte. Este parâmetro é igualmente satisfeito para ambos os projetos em LSF, segundo indicação do empreiteiro.

No parâmetro de fundações foram tidos em conta vários fatores, tais como: fixação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto; colocação de betão de limpeza C12/15; malha electrosoldada supondo uma taxa média de armadura com cerca de 5 kg/m² (valores obtidos após comparação com projetos semelhantes) com um desperdício, devido a sobreposição, de 25%; betonagem com betão C25/30 e, por fim, a construção de um murete nivelado ao longo de todo o perímetro de construção.

Para ambos os casos, e após troca de impressões com o empreiteiro Goulart sobre estas dimensões, adotou-se um ensoleiramento geral com malha eletrosoldada com h=0,15 m de espessura.

O lintel construído ao longo do perímetro de construção tem 0,20 mx0,15 m, uma vez que o perfil guia de fixação tem 0,20 m de largura e por ser necessária uma certa altura para a passagem de componentes de outras componentes, como, por exemplo, cabos multimédia, aspiração central, tubos de água e eletricidade que ficarão embutidos no chão-falso (ficando ao mesmo nível que o topo do murete). Nesse âmbito, analisou-se a cofragem, colocação de armadura (taxa média de armadura de 110kg/m³, após comparação com outros projetos) e betonagem, com as mesmas características do betão usado no ensoleiramento geral.

Os pernes de fixação (ancoragens), entre o perfil U guia e o murete, são introduzidos no murete através de furação, fixação de bucha e posterior inserção do perne (varão roscado) até cerca de 0,25 m de

profundidade e distam entre si de 1 m e são reforçados com perfis U enrijecidos, de desenvolvimento imediatamente inferior à largura do perfil U guia, com 0,20 m de desenvolvimento, ao qual será acrescentado o aperto de uma rosca, cujo objetivo será de ligação final de todos os componentes.

No que diz respeito aos elementos de parede, quer sejam interiores/divisórias ou exteriores (ver Anexos I e J), estas soluções contemplam diferentes tipos de perfis nomeadamente perfis C90, C150, C200, U93, U153e U204 e ainda faixas de travamento. Para o estudo, considerou-se as dimensões definidas em projeto, nomeadamente paredes retas com perfis afastados de 0,60 m e com altura de 2,65 m. Esta dimensão (altura) também corresponde ao pé-direito e foi realizada considerando a dimensão entre as extremidades de cada perfil vertical.

Nas paredes exteriores considerando a colocação de OSB adequado para ambiente húmido e com fins estruturais, o que remete para OSB/3 de 11 mm (1,2 m x 3,0 m). Este material será colocado em toda a envolvente exterior, incluindo a superfície de cobertura e murete de bordo da mesma. É de notar que este material tem de ser disposto de forma aparelhada, tal como se se tratasse de alvenaria corrente. Considerou-se ainda a colocação de parafusos a cada 0,30 m.

Ainda nos elementos de parede, foi estudada a colocação de isolamentos pelo exterior através da solução ETICS, nomeadamente a colocação de EPS 100 com espessura de 50 mm (de acordo com o projeto), uma camada de base, colocação de armadura de fibra de vidro e camada de acabamento em toda a superfície das paredes exteriores. Considerou-se ainda a colocação de perfis de arranque do sistema ETICS em todo o perímetro e alguns elementos (buchas de expansão) com função de fixação do EPS numa fase inicial da aplicação do mesmo.

No interior das paredes (sejam exteriores ou divisórias) e tetos, foram consideradas duas camadas de isolamento acústico (lã de rocha, de acordo como projeto) de forma a melhorar o índice de isolamento à transmissão por via aérea.

Pelo interior, incluindo tetos e paredes divisórias, considerou-se a colocação de painéis de gesso cartonado com aplicação de fitas tapa-juntas. A colocação das placas verticais foi considerada a partir do topo superior do murete até a extremidade de cada perfil vertical (2,65 m).

Por fim, considerou-se a impermeabilização e estanquidade da cobertura através da aplicação de poliureia projetada em toda a área de cobertura, incluindo o murete de bordo da cobertura, e ainda a aplicação de uma tela geotêxtil e de brita.

Através da consulta de fontes *online* (orçamentos.eu (2014); futureng, (2014); Madeiras, J. (s.d.) (2014)) bem como através de diálogos com o empreiteiro e catálogos de algumas empresas especializadas no fabrico de materiais usados no LSF (Perfisa [perfis]; Jular madeiras [OSB]; Stomix Portugal [Etics]; Knauf [gesso cartonado e lã de rocha]; Hilti [parafusos]; entre outros) obteve-se diferentes valores de custos que foram utilizados ao longo deste documento. Como é sabido, os valores dos materiais variam

entre fornecedores. Como tal, optou-se por fazer uma média dos valores apresentados pelas várias empresas, resultando na apresentação dos diferentes quadros seguidamente apresentados.

Apresenta-se, no quadro seguinte, o custo dos materiais mais usados na solução LSF, nomeadamente custo dos perfis, OSB (com função de revestimento de fachadas exteriores e de cobertura), isolamento acústico, solução ETICS, impermeabilização da cobertura, entre outros (ver restantes custos de materiais nos anexos E, e F para a solução LSF). É ainda apresentado os respetivos rendimentos e consequentemente produtividade e mão-de obra, considerando uma equipa de 4 trabalhadores (valores tipo fornecidos pelo empreiteiro nomeadamente rendimentos de colocação de perfis, OSB, ETICS e impermeabilização, sendo que os restantes dados foram retirados do site de rendimentos (orçamentos.eu, 2014) que é um *site* que disponibiliza dados orçamentais [materiais, mão-de-obra e equipamentos] de obras correntes regularmente atualizadas).

Quadro 8- Custo e rendimentos de materiais e de mão-de-obra usados no orçamento da solução LSF rendimentos

Materiais		Unit (€)	Unid	Mão-de-obra	
				Rend (H.h/m ²)	MO (€/unid)
Estrutura LSF	C90	1,7	m	0,8	6,7
	C150	2,2			
	C200	3,5			
	U93	1,5			
	U153	2			
	U204	3,2			
OSB	OSB3 de 11mm- [1,2*3,0]	7,1	m ²	0,4	3,4
Isolamento	Lã de Rocha (<i>rockwool alphasock</i>)	4,6		0,2	1,7
ETICS	EPS100- e= 50mm	6,6		m ²	3,2
	Camada de base (massas sotomix)	1,2			
	Armadura (fibra de vidro)	1,6			
	Camada de acabamento-RPE	4,2			
	Perfil de arranque e canto	4,8	m		
	Bucha de expansão	0,2	unit		
Gesso cartonado		3,8	m ²	0,3	2,5
OSB	OSB3 de 18mm- [1,2*3,0]	10,7	m ²	0,4	3,4
Impermeabilização (cobertura)	Aplicação de poliureia	43,1		0,1	0,8
Tela geotêxtil de cobertura		1,0		0,1	0,8
Brita cobertura- e=0,15m; brita: n°2		18,5	m ³	0,1	0,8

Definiu-se o objetivo de conhecer o custo por m² de paredes construídas com a solução LSF. Uma vez que os elementos de parede são muito heterogéneas pois as análises por m² variam ao longo do elemento dependendo da área de estudo, seja ela um canto superior ou inferior, ou mesmo numa secção intermédia do elemento, a definição desse valor reveste-se de dificuldade acrescida. Porém, efectuou-se uma estimativa desse custo tendo em conta o estudo detalhado das quantidades de perfis necessárias para cada projeto analisado. Nessa ótica de estudo determinou-se o custo global dos perfis em cada obra, apresentado no quadro seguinte.

Quadro 9- Descrição das quantidades e custos totais dos perfis usados nas paredes LSF para cada projeto

Perfis	Ponta do Sol		Palmela	
	Quant (m)	Total (€)	Quant (m)	Total (€)
C90	471,9	793,4	647,5	1088,7
C150	500,3	1093,5	158,7	2098,8
C200	631,6	2180,6	94,9	327,7
U93	339,4	502,2	230,0	340,4
U153	287,8	570,9	150,0	297,6
U204	49,4	157,8	-	-
Fitas	37,6	47,4	290,0	365,7
	Soma=	5345,7	Soma=	4519,0

Conhecendo as áreas de parede a construir (ver Anexos G e I) o custo total dos perfis para cada obra, os rendimentos de mão-de-obra, descritos anteriormente para os constituintes das paredes (ver Quadro 8), nomeadamente perfis, OSB 11mm, sistema ETICS, isolamentos e gesso cartonado, lembrando que as áreas destes constituintes correspondem às áreas das paredes, obteve-se um valor de referência de custo por m² para a operação de construção em questão (ver Quadro 10).

Quadro 10- Áreas das paredes dos diferentes projetos e valores de referência dos custos por unidade de construção de parede LSF

	Ponta do Sol		Palmela	
	Quant.	Unid	Quant.	Unid
P. exterior	131,0	m²	247,1	m²
P. interior	211,4		100,3	
Soma áreas	342,4		347,4	
Custo LSF	99,0	€/m²	100,3	€/m²
Valor referência médio	100 €/m²			

Conclui-se que o custo por metro quadrado de paredes, na solução LSF, tem como valor de referência os 100 €/m², para ambos os projetos. Este valor de referência é resultado do rácio entre o custo total do material mais a mão-de-obra pela soma das áreas de paredes LSF construídas.

o **4.3.3 ESTUDO DA SOLUÇÃO EM BETÃO ARMADO**

Para esta solução também foram considerados diversos critérios habituais, nomeadamente a colocação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto, fundações do tipo superficiais, betonagem do piso térreo (este piso corresponde a um massame térreo semelhante ao elaborado em LSF; tal facto levou a que se tenha considerado este piso em conjunto com os elementos de fundação no estudo de Betão armado, para ter uma comparação mais justa e realista), execução dos elementos estruturais (pilares e vigas) bem como a colocação de alvenarias, isolamentos acústicos e térmicos, e, por fim, construção de lajes, sendo que estas possuem características de piso intermédios, no caso da obra de Palmela, ou de cobertura.

Em função desta análise começou-se por definir nos diferentes projetos o posicionamento dos pilares e vigas, tendo em conta a arquitetura e critérios correntes para este tipo de construção. Esse posicionamento para as diferentes obras é apresentado nos esquemas seguintes.

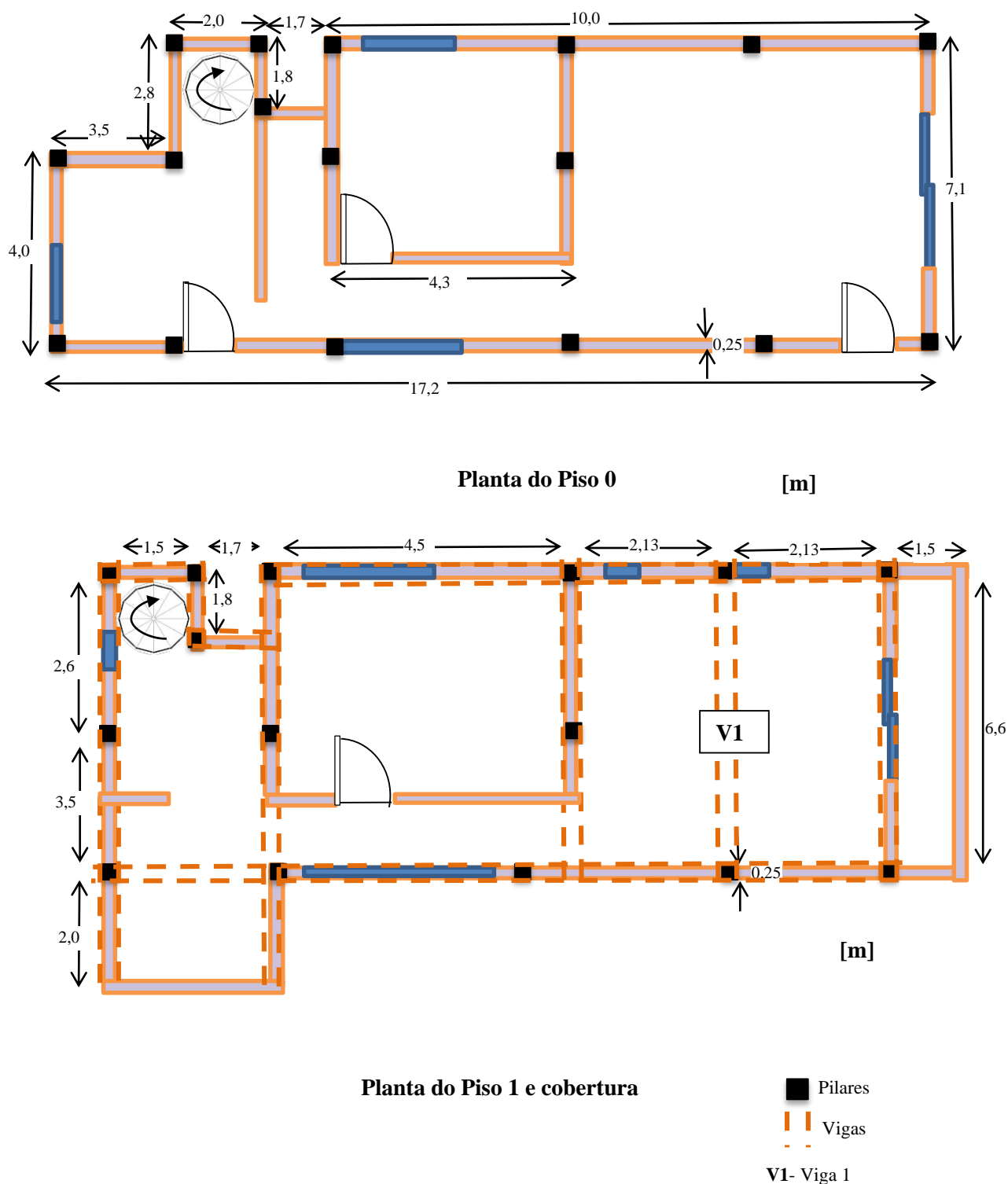


Figura 38- Esboço da disposição dos pilares e vigas que foram adotadas na análise orçamental da solução corrente de alvenaria e B.A. para a obra de Palmela

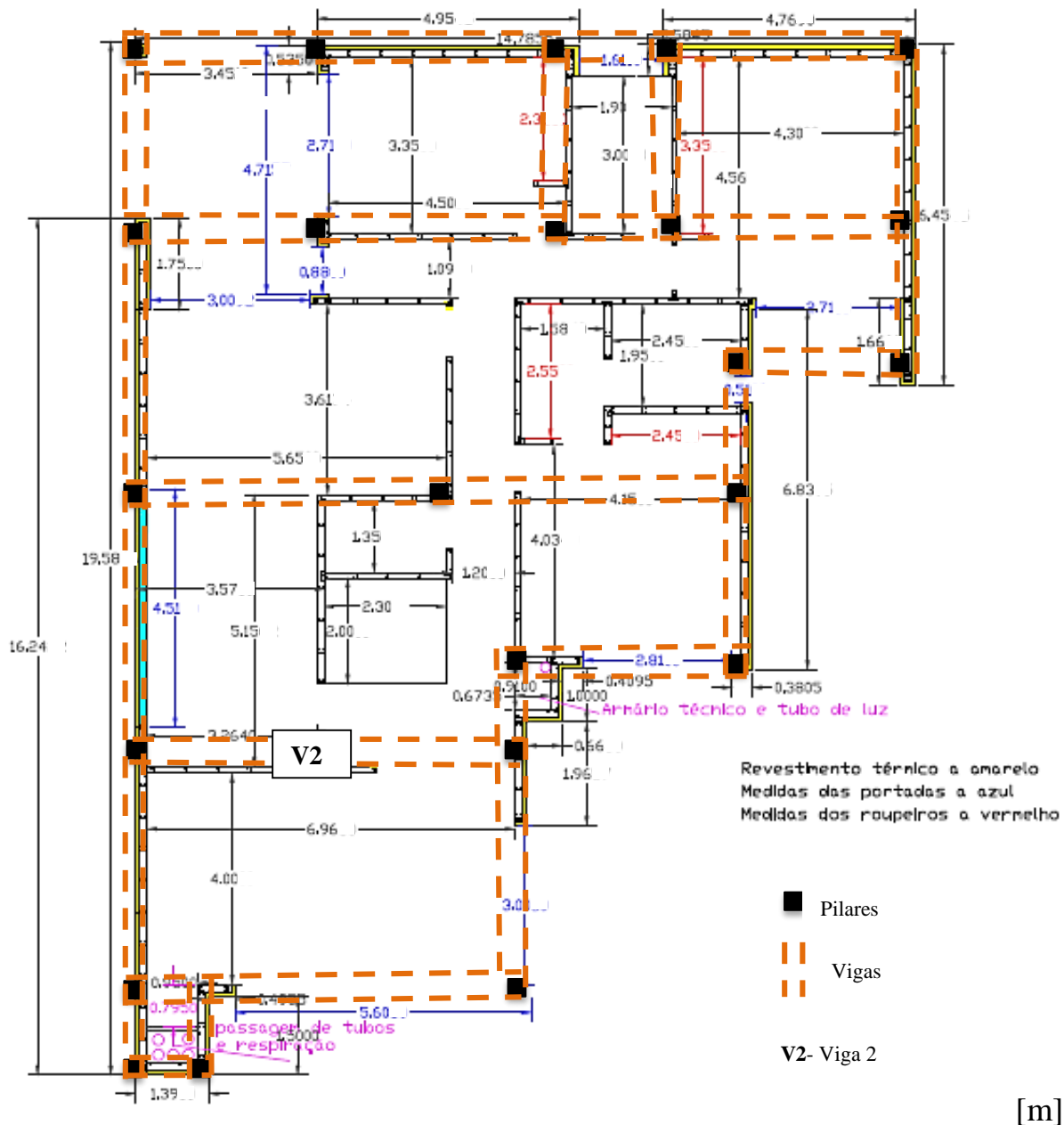


Figura 39- Esboço da disposição dos pilares e vigas que foram adotadas na análise orçamental da solução corrente de alvenaria e B.A. para a obra da Ponta do Sol

De forma a estabelecer um valor para a espessura das lajes, de ambas as obras, foi tido em conta os vãos mais condicionantes, com cerca de 4,8 m.

Para efeitos de comparação e por razões construtivas adotou-se uma espessura de 0,16 m tanto para piso intermédio (obra de Palmela) como também de cobertura para ambas as obras, respeitando regras habituais de pré-dimensionamento.

Para além da altura da laje, foi tida em consideração a sua execução, nomeadamente o processo de cofragem, armadura e betonagem tanto da laje como do murete perimetral da cobertura. É de notar que

a armadura adotada (A500 NR) corresponde a valores de taxas médias de armadura para obras do tipo das obras analisadas. Para as lajes considerou-se 80 kg/m³, e para o murete 90 kg/m³.

No que concerne às vigas, o procedimento de pré-dimensionamento adotado teve em conta a expressão seguinte:

$$(1) \quad \frac{L}{12} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

L = comprimento da viga entre pilares

h = altura da viga

Como exemplo desta análise temos as vigas mais condicionantes indicadas nos projetos como sendo V1 e V2, respetivamente referentes à obra de Palmela e à obra da Ponta do Sol.

Considerando L as dimensões das vigas entre pilares, medidos desde a linha média dos pilares, temos:

$$V1 \rightarrow L \approx 6,8\text{m} \rightarrow 0,57\text{ m} \leq h \leq 0,69\text{ m}$$

$$V2 \rightarrow L \approx 6,0\text{m} \rightarrow 0,50\text{ m} \leq h \leq 0,60\text{ m}$$

Como foi possível constatar no pré-dimensionamento das vigas, para ambas as obras, teríamos espessuras de viga na ordem dos 0,5 a 0,7 m, contudo tendo em conta que estamos a elaborar vigas para moradias onde as cargas são moderadas, considerando que a análise foi feita para a viga condicionante, considerou-se vigas com 0,25 m x 0,5 m.

No caso dos pilares, dadas as necessidades das espessuras das paredes e para garantir a qualidade da betonagem, considerou-se pilares de secção quadrada com 0,25 m, o que dá uma área superior à que seria necessária por razões de resistência.

No que às fundações diz respeito, tendo em conta o tipo de terreno considerado (rocha) e as cargas reduzidas resultantes em ambas as obras, considerou-se fundações superficiais do tipo sapata rígida.

Por simplificação, foram consideradas dimensões usuais de sapatas em moradias. Para efeito de estudo admitiu-se, de forma simplificada, fundações do tipo sapatas quadradas com dimensões 1x1x0,5 m, em ambos os projetos.

Para os diferentes elementos da estrutura (laje, vigas, pilares e sapatas), considerou-se as diferentes questões inerentes às fases de cofragem, aço e betão. Foi feita a análise orçamental considerando taxas médias de armadura (T.M.A.) correntes para cada atividade (ver Quadros 11, 12, 13 e 14).

Para o cálculo dos pilares (cofragem, armadura e betonagem) manteve-se a mesma altura e distancias que em LSF, com altura de 2,65 m medido desde a face inferior da laje do piso térreo até à face inferior da laje. Considerou-se ainda a distância até a face superior das fundações de 0,50 m.

A altura entre pisos é de 2,85 m medidos desde a face superior da laje térrea até à face superior da laje de piso ou de cobertura.

No caso da betonagem das vigas, mediu-se as mesmas até às extremidades da laje, tendo em conta as intersecções entre vigas. Neste âmbito, o cálculo da cofragem em ambas as obras foi elaborado considerando dimensões de cofragem exterior de 0,5 m, pelo interior 0,34 m e face inferior da viga 0,25 m. Foram tidas em conta as zonas de ligação pilar – viga (extrauiu-se essas áreas que se encontravam em excesso).

No que concerne às lajes, considerou-se como zonas de cofragem e betonagem as zonas interiores delimitadas pelas faces interiores das vigas.

O custo unitário de cada operação de construção advém da consulta de valores correntes, utilizados por empresas de construção nas suas orçamentações.

Quadro 11- Quantidades de cofragem, betão e aço para a obra da Ponta do Sol

Projeto: Ponta do Sol				
Designação	Quantidades			
	Cofragem (m2)	Betão (m3)	Aço (kg)	T.M. A. (kg/m3)
Sapatas	46,0	13,0	632,5	55,0
Vigas	118,4	13,2	1579,5	120,0
Pilares	77,1	4,8	722,3	150,0
Lajes	181,4	29,0	2322,112	80,0

Quadro 12- Custos das operações de construção da obra da Ponta do Sol

Custo de atividades- Ponta do Sol				
Atividade	Designação	Unid	Preço	Preço total
Cofragem	Sapatas	m2	16,8	773
	Vigas		16,8	1989
	Pilares		16,8	1294
	Lajes		16,8	3048
Betão	Sapatas	m3	93,0	1209
	Vigas		97,1	1279
	Pilares		93,0	448
	Lajes		92,0	2670
Aço	Sapatas	kg	1,27	803
	Vigas		1,27	2006
	Pilares		1,27	917
	Lajes		1,27	16017

Quadro 13- Quantidades de cofragem, betão e aço para a obra de Palmela

Projeto: Palmela				
Designação	Quantidades			
	Cofragem (m²)	Betão (m³)	Aço (kg)	T.M. A. (kg/m³)
Sapatas	34,0	8,5	467,5	55,0
Vigas	100,8	6,4	749,4	120,0
Pilares	107,2	6,7	1005,0	150,0
Lajes (piso 1 + cobertura)	236,1	37,8	3022,3	80,0

Quadro 14- Custo das operações de construção da obra de Palmela

Custo de atividades				
Operações de construção	Designação	Unid	Preço (€)	Preço total (€)
Cofragem	Sapatas	m ²	16,8	571
	Vigas		16,8	1694
	Pilares		16,8	1801
	Lajes (1+cob)		16,8	3967
Betão	Sapatas	m ³	93,0	791
	Vigas		97,1	607
	Pilares		93,0	623
	Lajes (1+cob)		92,0	3476
Aço	Sapatas	kg	1,27	594
	Vigas		1,27	952
	Pilares		1,27	1276
	Lajes (1+cob)		1,27	3838

Previu-se, ainda, para a solução em betão armado, a construção de paredes exteriores com dois panos de alvenaria de blocos furados de betão corrente, 0,50x0,20x0,15 e 0,50x0,20x0,10 m³, assentes em argamassa de cimento e areia com traço 1:5 com isolamento de lã de rocha pelo interior dos panos, que segundo o *site* de rendimentos (orçamentos.eu, 2014 - que é um *site* que disponibiliza dados orçamentais [materiais, mão-de-obra e equipamentos] de obras correntes regularmente atualizados) perfaz um custo por m² construído de aproximadamente 20 € (ver Anexos F e G).

Em relação às paredes interiores, novamente através da consulta do *site* de rendimentos anteriormente citado, adotou-se um pano de alvenaria não resistente de bloco furado de betão (0,50x0,11x0,15 m³) assentes em com custo por m² construído de aproximadamente 9 € (ver Anexos D;E; F e G), sem a aplicação de revestimentos superficiais.

Considerou-se ainda que a cobertura plana contempla a impermeabilização com uma membrana elástica à base de poliuretano com mais uma camada de acabamento com revestimento elástico à base de

poliuretano alifático. Tal como na solução LSF será aplicado uma tela geotêxtil com colocação de brita sobre a mesma.

Falta ainda apresentar a análise dos elementos construídos e, como tal, foi comparado o custo por m² de construção dos elementos estudados, nomeadamente as fundações, paredes exteriores e interiores bem como a cobertura. Para o efeito, foram avaliados os elementos em LSF e de betão, nos diferentes projetos, contemplando o custo dos materiais usados e mão-de-obra por unidade de tarefa, nas diferentes atividades de cada fase de construção, pormenorizadas nos quadros em anexo D; E; F e G.

No caso das fundações, foi tida em consideração na solução LSF a parcela de colocação de uma malha electrosoldada, betonagem do betão de limpeza bem como do ensoleiramento geral, por outro lado, na solução de betão armado foi analisada a elaboração e betonagem das sapatas bem como o massame térreo (piso térreo), uma vez que, quando comparado com a outra solução construtiva (LSF) esta análise tornasse mais realista e justa.

No estudo das paredes exteriores incluiu-se o custo da elaboração e betonagem dos pilares e vigas.

Por fim, atendeu-se as lajes onde considerou-se a execução e betonagem das mesmas, bem como a impermeabilização, colocação de tela geotêxtil e brita sobre a mesma.

○ 4.3.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Como consequência da elaboração dos orçamentos dos projetos em análise (ver Anexos D;E; F e G), foram obtidos os seguintes resultados que se encontram expostos no quadro seguinte.

Quadro 15- Custos da estrutura associados aos projetos da Ponta do Sol e de Palmela

	LSF (€)	B.A. (€)	Diferença (%)	Diferença média (%) LSF vs B.A.
Ponta do Sol	47284	49134	3,8	4,1
Palmela	44887	46985	4,4	

Uma das principais conclusões desta análise tem em consideração que ambos os projetos realizados na RAM em alvenaria corrente e betão armado (B.A.) são significativamente mais caros (cerca de 4,1%) do que a solução alternativa LSF.

Este resultado foi o expectável, uma vez que, segundo pessoas do ramo LSF consultadas era de esperar que a solução LSF fosse menos onerosa. A variação associada a esta análise encontra-se fundamentalmente associada às oscilações de custo de mercado, nomeadamente custos de materiais, e de tempo de execução das diferentes atividades laborais. Desta forma, os resultados obtidos parecem

indicar que a solução de aço enformado a frio poderá ser economicamente mais vantajosa face à solução corrente de alvenaria e betão armado.

Acrescenta-se que, naturalmente, a execução em LSF na Região Autónoma da Madeira (RAM) quando comparada com a sua execução em Portugal continental, é um pouco mais dispendiosa. Isto deve-se aos encargos inerentes ao transporte de material do continente para a ilha da Madeira, acrescendo no valor orçamental cerca de €3500 (resultado do preço do transitário e do aluguer do contentor [preço do contentor + seguro], valores obtidos através da empresa Transinsular).

Conclui-se que parece haver potencial para que num futuro próximo esta solução possa se difundir ainda mais no mercado como uma solução que conduz a uma redução na fatura final da obra. Como referido no início deste trabalho, esta solução ainda se encontra numa fase de implementação, e, como tal, ainda não tomou as mesmas proporções que a solução corrente no mercado atual. Contudo, segundo o que se encontra disponibilizado no *site* da empresa futureng (Futureng, 2014), a aposta na massificação da construção pode resultar numa considerável redução de custos, nomeadamente para a construção de vivendas ou urbanizações. Para este tipo de construção em massa a maior parte dos elementos podem ser previamente elaborados em armazém, tornando este método tanto mais eficiente quanto mais vezes se repetirem os elementos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

○ 5.1 CONCLUSÕES:

Refere-se de seguida, as principais observações sobre o estudo desenvolvido na presente dissertação, através de um resumo dos principais resultados e conclusões.

Dada a complexidade deste tipo de soluções prevê-se que seja preciso efetuar um projeto para as diversas especialidades para que estas fiquem bem enquadradas. Por ser uma actividade complexa precisa-se de uma equipa especializada e como tal é necessário investir na instrução dos operários.

No capítulo de reabilitação, as conclusões mais importantes focam-se no baixo peso dos perfis o que proporciona um aligeiramento das sobrecargas, na estrutura reabilitada, maior facilidade de elevação e montagem dos dos perfis promovendo uma eficiência construtiva muito mais célere e competitiva face as soluções correntes.

Pelo estudo integral dos elementos de parede o valor de referência por unidade de parede parece ser aproximadamente 100 €/m².

A principal diferença da construção LSF realizada na Região da Autónoma da Madeira em comparação com Portugal continental está intrinsecamente ligada ao valor do transitário e aluguer de contentor.

Pela análise orçamental entre as duas obras, segundo as duas prespetivas (LSF e betão armado), concluiu-se que teremos uma diferença de 4,1% entre soluções em que a solução LSF encontra-se como sendo a menos onerosa o que coincidiu com o esperado, segundo pessoas entendidas no ramo.

Conclui-se que é uma solução que satisfaz todos os requisitos de níveis de conforto acústico e térmico.

○ 5.2 NOTAS FINAIS:

Como desfecho deste estudo, apresenta-se seguidamente algumas notas:

- este tema foi aliciante, na medida em que permitiu adquirir maior conhecimento sobre uma área pouco conhecida nos âmbitos académicos, ou pelo menos não muito divulgada como alternativa às soluções correntes de betão armado e alvenaria;
- realça-se o facto de que, num futuro próximo, o autor da presente dissertação gostaria de ter a possibilidade de se debruçar mais acerca do conceito associado à instabilidade dos perfis neste tipo de construção.
- este trabalho permitiu conhecer de forma muito explicita as vantagens desta solução, apresentando-se como uma alternativa viável, devido à capacidade de suporte de cargas

(descarregadas por todos os elementos verticais (perfis)), pela capacidade de vencer grandes vãos, ao baixo peso dos elementos e à rápida edificação associada ao baixo custos de mão-de-obra. Considera-se assim que esta é uma solução com potencial construtivo e que apresenta imensas valências que podem fazer esta solução uma alternativa economicamente vantajosa e eficiente.

○ **5.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Com base no estudo desenvolvido na presente dissertação, expõe-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Aferir quais os melhores métodos computacionais para proceder à análise e dimensionamento estrutural, e estudar os tipos de treliça que melhor se adequam à generalidade das situações;
- Analisar o comportamento estrutural e a viabilidade de construção de edifícios em LSF com número de pisos superior ao estudado nesta dissertação;
- Efetuar uma análise comparativa entre os métodos utilizados na norma europeia relativa ao dimensionamento de perfis enformados a frio (EN1993-1-3) e a norma americana, North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members (AISI, 2007).
- Quantificar parâmetros de conforto associados a térmica e a acústica de soluções correntes em LSF.

REFERÊNCIAS

- APEB, G. d. (maio de 2008). Guia para a utilização da NP EN-206-1 - A especificação do betão. (4ª). *betão de limpeza*. (s.d.). Obtido em 18 de junho de 2014, de <http://orcamentos.eu/ficha-rendimento-betao-de-classe-c1215-com-10cm/>
- Crasto. (2005). *Escadas LSF*. Obtido em 30 de 10 de 2014, de <http://www.riberto.com.br/light%20steel%20framing/escada.html>
- engenhariaeconstrucao. (s.d.). *Vantagens do sistema Lsf*. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de <http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/07/vantagens-do-sistema-lsf.htm>
- etics eps100 de 40mm*. (s.d.). Obtido em 16 de junho de 2014, de <http://orcamentos.eu/ficha-de-rendimento-etics-com-placa-eps100-de-40mm/>
- Futureng. (21 de Setembro de 2012). *Dimensões de perfis*. Obtido de <http://www.futureng.pt/dimensoes-dos-perfis-estruturais>
- Futureng. (Janeiro de 2014). Obtido de <http://www.futureng.pt/lsf-habitacao-social>
- Futureng. (s.d.). *Reabilitação*. Obtido em 13 de Janeiro de 2014, de <http://www.futureng.pt/lsf-e-a-reabilitacao>
- Futureng. (s.d.). *Sistema Light Gauge Steel Farming*. Obtido em 3 de janeiro de 2014, de http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Light%20Gauge%20Steel%20Framing.pdf
- Geraldes, I. P. (2012). *Sustentabilidade da Construção de Habitação Social com recurso a Liga Metálica Leve*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e tecnologia e Universidade Nova de Lisboa.
- Hancock, G., & Murray, T. E. (2001). *Cold-formed Steel Structures to the Aisi Specification 1st ed*. CRC Press.
- Madeiras, J. (s.d.). *OSB (oriented strand board, ou aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas)*. Obtido em 20 de Setembro de 2014, de http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=20
- Mendonça, L. V. (Setembro de 2005). Condensações em edifícios. *Arquitectura & Vida*.
- Moreira, H. M. (2012). *Utilização de Perfis Enformads a Frio em Obras de Reabilitação*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Construção e Reabilitação.

- Neves, S. d. (2011). *Estudo da Aplicabilidade de Sistemas Construtivos no Desempenho da Sustentabilidade na Engenharia Civil*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Orçamentos eu-Rendimentos*. (s.d.). Obtido em 10 de maio de 2014, de <http://orcamentos.eu/ficha-de-rendimento>
- orcamentos.eu. (s.d.). *Alvenaria de blocos de betão*. Obtido em 16 de junho de 2014, de <http://orcamentos.eu/ficha-de-rendimento-alvenaria-de-bloco-betao-50x20x25cm/>
- Orcamentos.eu- Betão*. (s.d.). Obtido em 8 de maio de 2014, de <http://orcamentos.eu/precos-de-materiais/precos-de-betao-pronto/>
- Perfiladora. (s.d.). *rolling-machine*. Obtido em 10 de 8 de 2014, de <http://www.rolling-machine.com.pt/6-keel-machine/2-1b.jpg>
- Pinto, A. E. (2010). *Estabilidade Local de Perfis de Aço Enformados a Frio*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Pires, J. M. (2013). *O Método Prescritivo na Construção de Moradias em Aço Leve*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto superior Técnico de Lisboa.
- Portuguesa, A. (s.d.). *Arquitetura Portuguesa*. Obtido em 20 de 8 de 2014, de <http://arquiteturaportuguesa.blogspot.pt/2013/02/lsf.html>
- Qualidade, N. E.-2.-1.-I. (2007). *Betão: Parte 1 - especificação, desempenho, Produção e conformidade. Norma Portuguesa - classes de exposição relacionadas com as ações ambientais*.
- Rego, D. J. (2012). *Estruturas de Edifício em Light Steel Farming*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e tecnologia e Universidade Nova de Lisboa.
- Reis, A. C., Farinha, M. B., & Farinha, J. (2010). *Tabelas técnicas*. Lisboa: Edições Técnicas E.T.L.,L.da.
- Standardization, E. C. (julho de 2006). *Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications*. Obtido em 20 de setembro de 2014, de <http://www.nqic.net/Uploadfiles/20120331145501367.pdf>
- Veríssimo, H. A. (2008). *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço Enformados a Frio de Acordo com o Eurocódigo 3*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Estruturas, Instituto Superior Técnico de Lisboa.

ANEXOS

○ ANEXO A - REGULAMENTAÇÃO

• Regulamentação

Apresenta-se seguidamente uma lista por ordem cronológica de algumas especificações/guias/normas reguladoras da aplicação desta solução construtiva segundo Moreira (2012):

Quadro 16- Lista cronológica de algumas especificações reguladoras da aplicação desta solução construtiva (Moreira, 2012)

1946 - <i>Specification for the Design of Light Gauge Steel Structural Members</i> , AISI (E.U.A.);
1949 - <i>Light Gauge Steel Design Manual</i> , AISI (E.U.A.);
1974 - AS 1538 - <i>Australian Standard for the design of cold-formed structural members</i> (Australia);
1975 - BS 449-2 Addendum No. 1 - <i>The use of cold formed steel sections in building</i> , British Standards Institute (Reino Unido);
1987 - BS 5950 - <i>Structural use of steelwork in building, Part 5: code of practice for design of cold-formed sections</i> , British Standards Institute (Reino Unido);
1991 - Load and Resistance Factory Design Specification for Cold-Formed Steel Structural Members, AISI (E.U.A.);
1993 - Eurocode 3 - <i>Design of Steel Structures, Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting</i> , CEN (U.E.);
1996 - <i>Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members</i> , AISI (E.U.A.) (combinação dos métodos ASD e LRFD); - AS/NZS 4600 - <i>Cold-formed steel structures</i> , Standards Australia/Standards New Zealand (Australia, Nova Zelândia); - EN 10143 - <i>Continuously hot-dip coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape</i> , CEN (U.E.);
1997 - <i>Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing</i> , National Association of Home Builders / AISI (E.U.A.);
2007 - AISI S100 - <i>North American specification for the design of cold-formed steel structural members</i> , AISI (E.U.A., Canada, Mexico);
2008 - EN 1090-2:2008+A1 - <i>Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures</i> , CEN (U.E.);
2009 - EN 1090-1:2009+A1:2011 (E) - <i>Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components</i> , CEN (U.E.); - EN 10346:2009 - <i>Continuously hot-dip coated steel flat products - Technical delivery conditions</i> , CEN (U.E.).

○ ANEXO B - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE ENFORMAGEM A FRIO

Representação esquemática dos componentes da máquina de laminagem de aço a frio e as respetivas etapas do procedimento, desde o desenrolar da bobine de chapa de aço galvanizado até ao formato final dos perfis a utilizar na solução construtiva LSF.

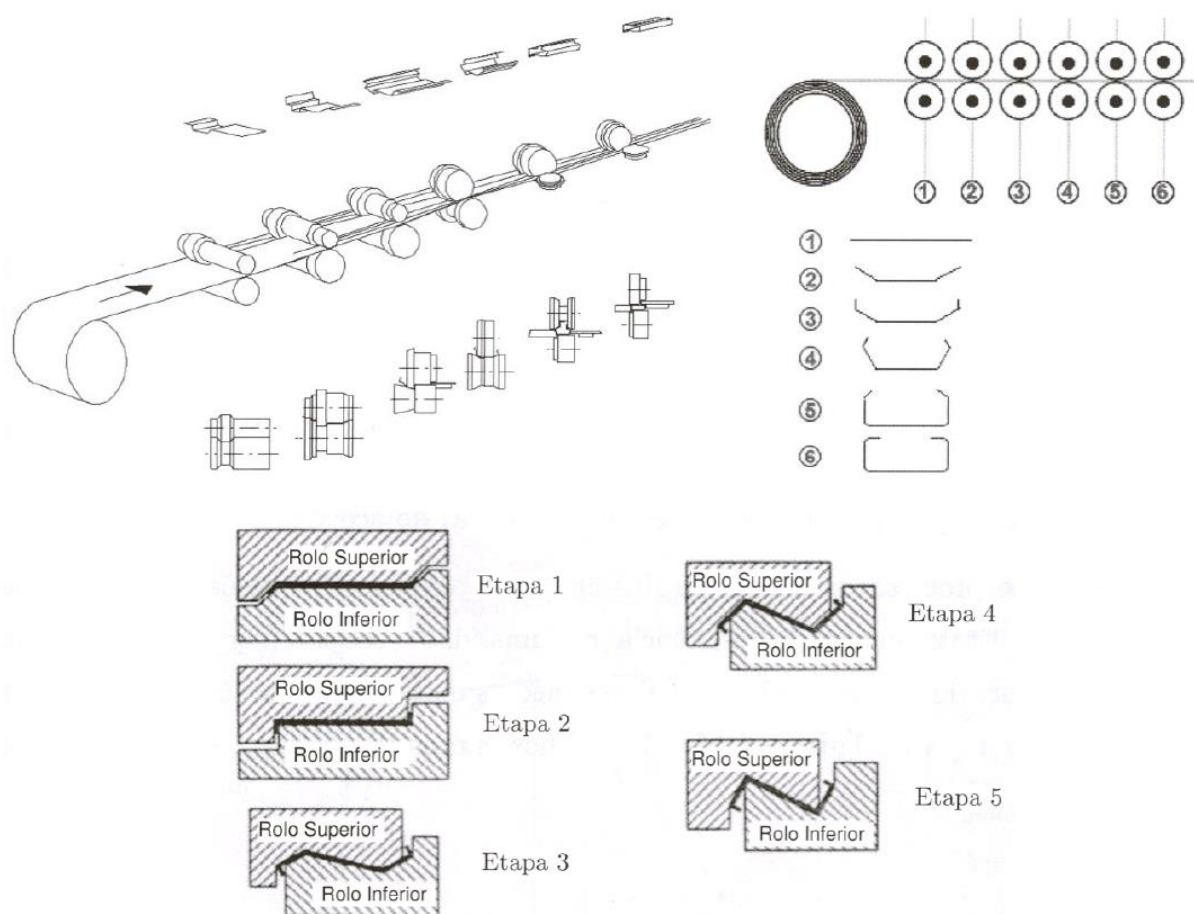


Figura 40- Representação do processo de laminagem a frio [“Cold Rolling”] (Veríssimo, 2008)

○ ANEXO C – QUADRO DE ANÁLISE DOS PERFIS MAIS USUAIS EM LSF

Quadro 17- Dados característicos dos diferentes perfis mais habituais na solução LSF

Perfis	bw (mm)	tn (mm)	Bf (mm)	D (mm)	Área (mm ²)	Volume (mm ³)	Volume (m ³)	Kg/perfil 12m
C90	90	1,5	43	15	300	3600000	0,0036	28,1
C150	150	1,5	43	15	390	4680000	0,0047	36,5
C200	200	2	43	15	616	7392000	0,0074	57,7
U93	93	1,5	43	—	264	3168000	0,0032	24,7
U153	153	1,5	43	—	354	4248000	0,0042	33,1
U204	203	2	43	—	570	6840000	0,0068	53,4
Fitas	150	1,5	—	—	225	2700000	0,0027	21,1

○ ANEXO D – MAPA ORÇAMENTAL DO PROJETO DA PONTA DO SOL EM LSF

Quadro 18- Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol em LSF

Mapa Orçamental- Obra na RAM - LFS			
Obra:		Data:	
Local:	Ponta do Sol-Lombada	Nº Projeto:	
Dono da Obra:		Nº Obra:	

Perímetro (m)	68,08
Ensoleiramento / Cobertura (m2)	207,74
Paredes exterior (m2)	131,00
Paredes interior (m2)	211,4

Designação	Quantidades	Unidades	EQ Unit (€)	M Unit (€)	MO Unit (€/h)	(€ /unidade)	Total (€)
TRANSPORTE DE MATERIAL							
Transitário (transinsular)	1,0		450,0			450,0	450,0
Contentores - 12m até 25ton	1,0	-	3000,0			3000,0	3000,0
Seguro	1,0		50,0			50,0	50,0
							3500,0
FUNDAÇÕES							
Fixação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto (P=68,08m; tábuas de 2º0,50º0,026m); 1 Oficial+2 ajudantes estruturistas; pregos de aço de 20x100mm	34,0	m²				5,5	187,2
Colocação de Betão de limpeza - C12/15 - S2 -agregado máximo de 12mm - e=0,1m; Aensoleiramento=207,74m2; Serviço de bombagem;	20,8	m³				60,0	1246,4
Colocação de malha electrosoldada quadrada -supondo taxa média de armadura de 5,10kg/m2 + arame de atar +espaçadores	1059,5	kg				1,4	1483,3
Betonagem - Betão C25/30 - S2;agregado máximo 25mm; Aensoleiramento=207,74m2; Serviço de bombagem	31,2	m³				93,0	2898,0
Murete em betão C25/30- S3 c/ 20*15cm; agregado máximo 25mm	Cofragem	27,2	m²			9,0	245,1
	Armadura total	183,8	kg			1,2	220,6
	Betonagem em obra	2,0	m³			92,0	187,9
							6468,5
Estrutura							
Colocação de perfis (12m)	C90	471,9			1,7		
	C150	500,3			2,2		
	C200	631,6			3,5		
	U93	339,4			1,5		
	U153	287,8			2,0	6,7	
	U204	49,4			3,2		
	Fitas de travamento	37,6			1,3		
	Perfis para Pernos/buchas químicas	17,6			2,2		
							7679,7
EXTERIOR							
OSB	OSB3 de 11mm- [1,2*3,0]	131,0			7,1	3,4	10,5
Isolamento	Lã de Rocha rockwool alphasock				4,6	1,7	6,3
ETICS	EPS100- e= 50mm				5,5		
	Fassa A96 – cimento cola para EPS	131,0	m²		1,2	26,8	42,8
	Armadura (fibra de vidro)				1,6		
	Camada de acabamento-RPE				4,2		
	Perfil de arranque e canto	68,1	m			3,5	
	Bucha de expansão	20,0	-			0,2	
							15482,6
COBERTURA							
OSB	OSB3 de 18mm- [1,2*3,0]				10,7	3,4	14,1
Impermeabilizações	Aplicação de poliureia	207,7	m²		35,0		35,0
Tela geotêxtil de cobertura - IMPERSEP 120 - 2*100					1,0	0,8	1,9
Colocação de Brita na cobertura- e=0,15m; brita: nº2		31,2	m³		15,0	0,8	15,8
							11073,7
INTERIOR							
INTERIOR - PAREDES INTERIORES							
Colocação de placas de gesso cartonado (placa Gyptec BA13a normal) + fitas tapa-juntas	Face interior das paredes exteriores	131,0					820,6
	Paredes interiores	422,8			3,8	2,5	6,3
	Lado interior da cobertura	207,7	m²				1301,3
Isolamento lã de rocha	Paredes interiores	422,8			4,6	1,7	6,3
	Lado interior da cobertura	415,5					2657,6
Leca	Enchimento	20,8	m³		8,0	2,0	10,0
							207,7
							10247,2
PARAFUSOS AUTO-PERFURANTES	11000 Parafusos						511,6

○ ANEXO E – MAPA ORÇAMENTAL DO PROJETO DE PALMELA EM LSF

Quadro 19- Mapa orçamental do projeto de Palmela em LSF

Mapa Orçamental- Obra na RAM - LSF			
Obra:		Data:	
		Nº	
Local:	Setúbal - Palmela	Projeto:	
Dono da Obra:		Nº Obra:	

Perímetro (m)	51,9
Ensoleiramento (m2)	108,21
Laje Piso 1 / Cobertura (m2)	113,06
Paredes exterior (m2)	247,1
Paredes interior (m2)	100,3

Designação	Quantidades	Unidades	EQ Unit (€)	M Unit (€)	MO Unit (€/h)	(€ /unidade)	Total (€)
TRANSPORTE DE MATERIAL							
Transitário (transinsular)	1,0		450,0			450,0	450,0
Contentores - 12m até 25ton	1,0	-	3000,0			3000,0	3000,0
Seguro	1,0		50,0			50,0	50,0
							3500,00
FUNDAÇÕES							
Fixação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto (P=52,52m; tábuas de 2*0,25*0,026m); 1 Oficial+2 ajudantes estruturistas; pregos de aço de 20x100mm;	26,0	m ²				5,5	142,7
Colocação de Betão de limpeza - C12/15 - S2 -agregado máximo de 12mm - e=0,1m; Aensoleiramento=108,21m2; Serviço de bombagem;	10,8	m ³				60,0	649,3
Colocação de malha electro-soldada quadrada -supondo taxa média de armadura de 5,10kg/m2 + arame de atar +espaçadores	551,9	kg			-	1,4	772,6
Betonagem - Betão C25/30 - S2;agregado máximo 25mm; Aensoleiramento=108,21m2; Serviço de bombagem	16,2	m ³				93,0	1509,5
Murete em betão C25/30- S3 c/ 20*15cm; agregado máximo 25mm	Cofragem	20,8	m ²			9,0	186,8
	Armadura total	140,1	kg			1,2	168,2
	Betonagem em obra	1,6	m ³			92,0	143,2
							3572,4
Estrutura							
Colocação de perfis (12m)	C90	647,5				1,7	
	C150	158,7				2,2	
	C200	94,9				3,5	
	U93	230,0				1,5	
	U153	150,0	m	-		2	6,7
	U204	-				-	
	Fitas de travamento	290,0				1,3	
Pernos/buchas químicas	9,6				1,3		
							5111,0
EXTERIOR							
OSB	OSB3 de 11mm- [1,2*3,0]	247,1				7,1	3,4
Insolamento	Lã de Rocha rockwool alparock	494,1				4,6	1,7
ETICS	EPS100- e= 50mm					5,5	
	Fassa A96 – cimento cola para EPS	247,1	m ²	-		1,2	26,8
	Armadura (fibra de vidro)					1,6	
	Camada de acabamento-RPE					4,2	
	Perfil de arranque e canto	51,9	m			3,5	
Bucha de expansão	30,0				0,2		
							5,7
							21396,2
LAJE PISO 1 e COBERTURA							
OSB (Laje piso 1 + cobertura)	OSB3 de 18mm- [1,2*3,0]	222,5				10,7	3,4
Impermeabilizações	Aplicação de poliureia		m ²	-		35,0	
Tela geotêxtil de cobertura - IMPERSEP 120 - 2*100		113,1				1,0	0,8
Colocação de Brita na cobertura- e=0,15m; brita: nº2		17,0	m ³			15,0	0,8
							7566,0
INTERIOR							
INTERIOR - PAREDES INTERIORES							
Colocação de placas de gesso cartonado (placa Gyptec BA13a normal) + fitas tapa-juntas	Face interior das paredes exteriores	247,1					
	Paredes interiores	200,6	m ²	-		3,8	2,5
	Lado interior da cobertura	221,3					6,3
Isolamento lã de rocha	Paredes interiores	200,6				4,6	1,7
	Lado interior da cobertura	442,5					6,3
Leca	Enchimento	10,8	m ³			8,0	2,0
							10,0
							8341,2
PARAFUSOS AUTO-PERFURANTES	11000 Parafusos						
							511,6

○ ANEXO F – MAPA ORÇAMENTAL DO PROJETO DA PONTA DO SOL REALIZADO
NA SOLUÇÃO CORRENTE (B.A.)

Quadro 20- Mapa orçamental do projeto da Ponta do Sol realizado na solução corrente (B.A.)

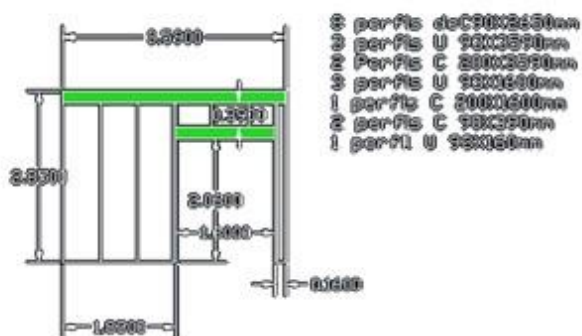
Designação	Quantidades	Unidades	(€ /unidade)	Total (€)	
ESCANTILHÃO					
Fixação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto (P=68,08m; tábuas de 2*0,50*0,026m); 1 Oficial+2 ajudantes estruturistas; pregos de aço de 20x100mm	34,0	m ²	5,5	187,2	
				187,2	
FUNDAÇÕES					
Sapatas quadradas (1x1x 0,5m) (26pilares)	Cofragem de madeira e=26mm; 0,250m*1,10m;	46,0	m ²	16,8	772,8
	Betão de limpeza-C12/15 - S2; e=0,1m	2,3	m ³	59,4	136,6
	Armadura - A500 NR-T.M.A.=55kg/m ³	632,5	kg	1,3	803,3
	Betonagem em obra (C25/30 S3 D=25mm) + vibração	13,0	m ³	93,0	1209,0
				2921,7	
PISO TÉRREO					
Malha electrosoldada no alicerce térreo - Taxa média de armadura de 5,1kg/m ²	1324,3	m ²	1,4	1787,9	
Betonagem - Betão C25/30 - S2;agregado maximo 25mm; Apisotérreo=207,64m ² ; Serviço de bombagem	41,5	m ³	92,0	3822,4	
				5610,3	
EXTERIOR					
PAREDES EXTERIORES					
Pilares (0,25x0,25x2,85m)	Armadura- A500 NR -T.M.A. =150kg/m ³	722,3	kg	1,3	939,0
	Fornecimento e aplicação de cofragem semi tradicional em pilares com 25x25cm de secção, incluindo descofragem.	77,1	m ²	16,8	1295,3
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	4,8	m ³	93,0	446,4
Vigas (0,25x0,5)	Armadura- A500 NR -T.M.A. =120kg/m ³	1579,5	kg	1,3	2053,4
	Fornecimento e aplicação de cofragem semi tradicional em vigas com 0,25x50cm de secção, incluindo descofragem.	118,4	m ²	16,8	1989,1
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	13,2	m ³	97,1	1281,7
Alvenaria - blocos de betão constituída por 2 panos, 1 com 50x20x15cm outro com 50x20x10cm, assente com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	99,1	m ²	34,7	3433,4	
Isolamento	Lã de Rocha	131,0	m ²	10,5	1375,5
				12813,8	
COBERTURA					
Laje- Fornecimento e execução de lajes maciças em betão armado com 16cm de espessura em betão da classe C25/30, incluindo cofragem tradicional melhorada e armaduras em aço A500NR (densidade 113kg/m ³)	Cofragem - laje + murete em madeira	180,2	m ²	16,8	3027,4
	Armadura-laje- A500 NR-T.M.A.=80 kg/m ³	2306,1	kg	1,3	2974,9
	Armadura-murete da laje-A500 NR	569,2	kg	1,3	739,9
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	28,8	m ³	92,0	2649,6
Impermeabilização de coberturas, realizada através do sistema aparente Masterseal 640 "BASF Construction Chemical", composta por: membrana elástica impermeabilizante à base de poliuretano, Masterseal 640 Membrane "BASF Construction Chemical", aplicada através de broxa, rolo ou pistola; e camada de acabamento com revestimento elástico à base de poliuretano alifático,	207,7	m ²	19,5	4050,9	
Tela geotextil de cobertura - IMPERSEP 120 - 2*100	207,7		2,1	436,3	
Colocação de Brita na cobertura- e=0,15m; brita: n°2	41,5	m ³	20,9	867,1	
				14746,0	
INTERIOR					
INTERIOR - PAREDES INTERIORES					
Pano interior de parede de fachada de 15 cm de espessura de alvenaria, de bloco furado de betão, para revestir, cor cinzento, 50x11x15 cm, resistência normalizada R10 (10 N/mm ²), assente com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5	211,4	m ²	15,0	5855,5	
				5855,5	

○ ANEXO G – MAPA ORÇAMENTAL DO PROJETO DE PALMELA REALIZADO NA SOLUÇÃO CORRENTE (B.A.)

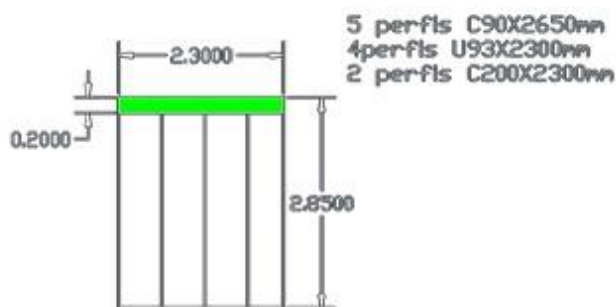
Quadro 21- Mapa orçamental do projeto de Palmela realizado na solução corrente (B.A.)

Designação	Quantidades	Unidades	(€/unidade)	Total (€)	
ESCANTILHÃO					
Fixação do escantilhão ao terreno segundo os limites definidos em projeto (P=22m; tábuas de 2*0,50*0,026m); 1 Oficial+2 ajudantes estruturistas; pregos de aço de 20x100mm	25,9	m ²	5,5	142,6	
				142,6	
FUNDAÇÕES					
Sapatas quadradas (1x1x0,5m) (16pilares)	Cofragem de madeira e=26mm; 0,250m*1,10m;	34,0	m ²	16,8	571,2
	Betão de limpeza-C12/15 - S2; e=0,1m	1,7	m ³	59,4	101,0
	Armadura - A500 NR-T.M.A =55kg/m ³	467,5	kg	1,3	593,7
	Betonagem em obra (C25/30 S3 D=25mm) + vibração	8,5	m ³	93,0	790,5
				2056,4	
PISO TÉRREO					
Malha electrosoldada no alicerce térreo - Taxa média de armadura de 5,1kg/m ²	689,8	m ²	1,4	931,3	
Betonagem - Betão C25/30 - S2;agregado máximo 25mm; Apisotérreo=24m ² ; Serviço de bombagem	27,1	m ³	92,0	2488,8	
				3420,1	
EXTERIOR					
PAREDES EXTERIORES					
Pilares (0,25x0,25x2,85m)	Armadura- aço A500 NR -T.M.A.= 151kg/m ³	1005,0	kg	1,3	1276,4
	Fornecimento e aplicação de cofragem semi tradicional em pilares com 25x25cm de secção, incluindo descofragem.	107,2	m ²	16,8	1801,0
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	6,7	m ³	93,0	623,1
Vigas (0,25x0,50)	Armadura- aço A500 NR -T.M.A.120kg/m ³	749,4	kg	1,3	951,7
	Fornecimento e aplicação de cofragem semi tradicional em vigas com 30x60cm de secção, incluindo descofragem.	100,8	m ²	16,8	1693,4
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	6,2	m ³	97,1	602,0
Alvenaria - blocos de betão constituída por 2 panos, 1 com 50x15x25cm outro com 50x10x25cm , assente com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	Colocação dos blocos	225,9	m ²	34,7	7826,4
Isolamento	Lã de rocha	247,1	m ³	10,5	2594,2
				18102,8	
LAJE PISO 1					
Laje- Fornecimento e execução de lajes maciças em betão armado com 16cm de espessura em betão da classe C25/30, incluindo cofragem tradicional melhorada e armaduras em aço A500NR (densidade 70kg/m ³)	Cofragem - laje	123,00	m ²	16,8	2066,4
	Armadura-laje- A500 NR-T.M.A.=70kg/m ³	1575,00	kg	1,3	2000,3
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração	19,70	m ³	92,0	1812,4
				5879,1	
COBERTURA					
Laje- Fornecimento e execução de lajes maciças em betão armado com 16cm de espessura em betão da classe C25/30, incluindo cofragem tradicional melhorada e armaduras em aço A500NR (densidade 113kg/m ³)	Cofragem - laje + murete	143,1	m ²	16,8	2403,4
	Armadura-laje- A500 NR	1447,2	kg	1,3	1866,9
	Armadura-murete da laje-A500 NR	450,7	kg	1,3	572,4
	Betonagem c/bomba C25/30;XC1;S3 + vibração (laje e murete)	21,9	m ³	92,0	2014,8
Impermeabilização de coberturas, realizada através do sistema aparente Masterseal 640 "BASF Construction Chemical", composta por: membrana elástica impermeabilizante à base de poliuretano, Masterseal 640 Membrane "BASF Construction Chemical", aplicada através de broxa, rolo ou pistola; e camada de acabamento com revestimento elástico à base de poliuretano alifático,		148,1	m ²	19,5	2362,4
Tela geotêxtil de cobertura - IMPERSEP 120 - 2*100		145,1		1,3	182,9
Colocação de Brita na cobertura- e=0,15m; brita: n°2		22,6	m ³	20,9	472,6
				9875,4	
INTERIOR					
INTERIOR - PAREDES INTERIORES					
Pano interior de parede de fachada de 15 cm de espessura de alvenaria, de bloco furado de betão, para revestir, cor cinzenta, 50x11x15 cm, resistência normalizada R10 (10 N/mm ²), assente com argamassa de cimento ao traço 1:5		100,3	m ²	15,0	3009,0
				3009,0	

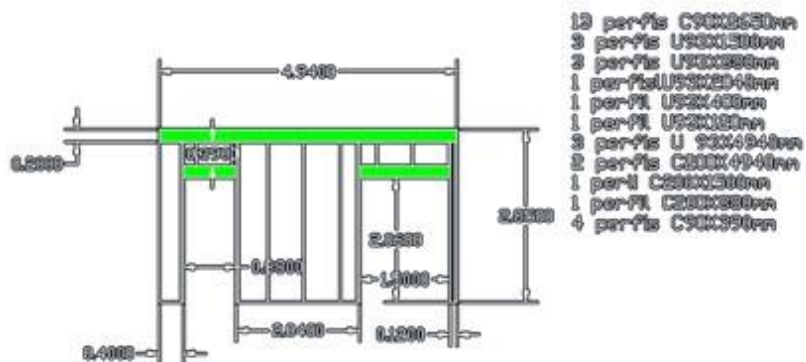
○ ANEXO H - DESENHOS DOS ELEMENTOS DE PAREDE EM LSF PONTA DO SOL



LSF 90-CORREDOR- ESCADA



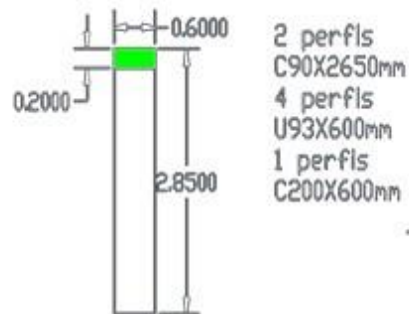
LSF 90 COZINHA – Q.JANTAR



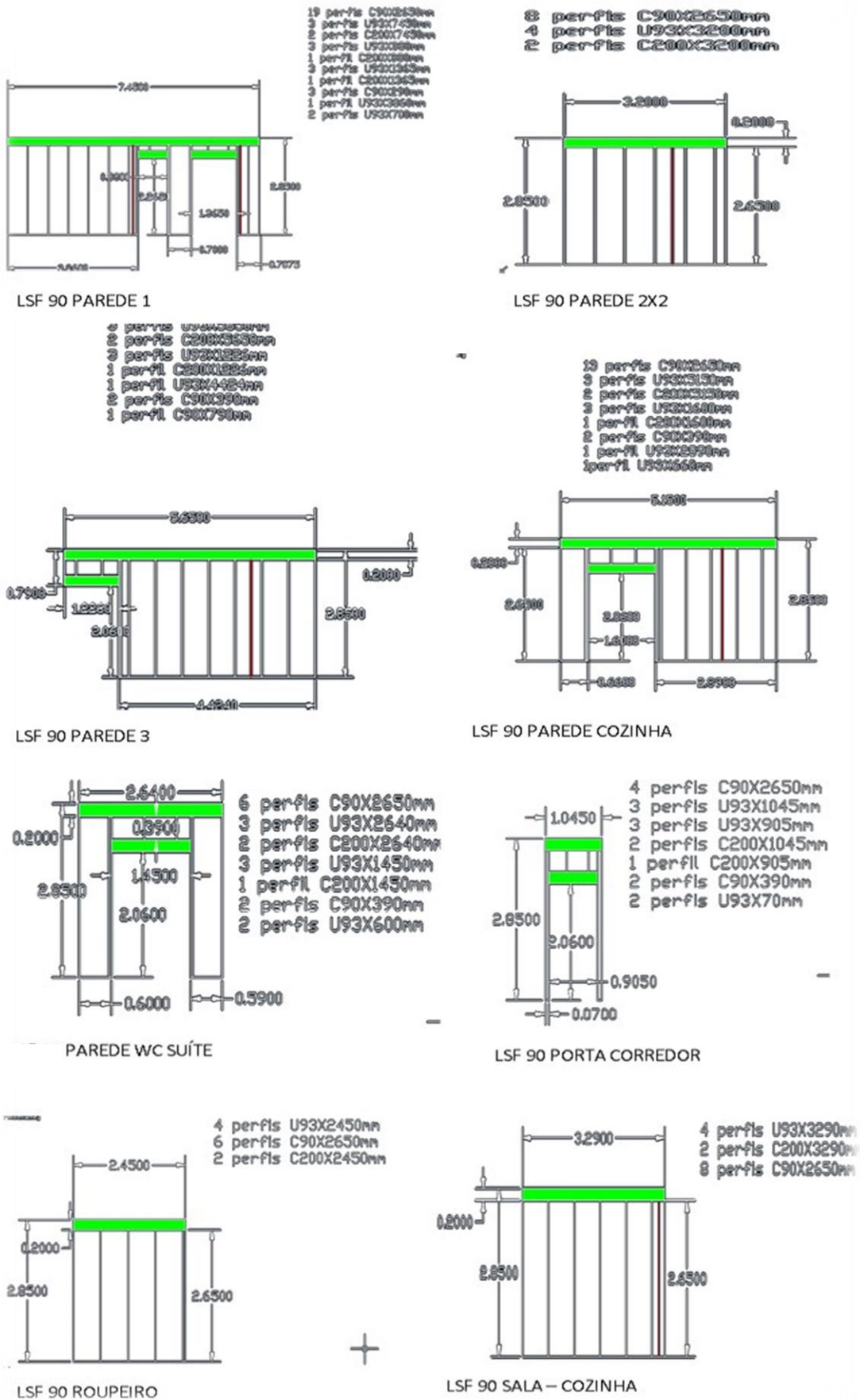
LSF 90 CORREDOR-SALA



LSF 90 DIVISÓRIA SUÍTE



LSF 90 GOLA ROUPEIRO



○ ANEXO I - DESENHOS DOS ELEMENTOS DE PAREDE EM LSF PALMELA

