



**TÉCNICO**  
LISBOA

## **Utilização de Perfis Enformados a Frio em Obras de Reabilitação**

**Hugo Miguel da Costa Dias Marino Moreira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Construção e Reabilitação**

### **Júri**

Presidente: Doutor Augusto Martins Gomes  
Orientador: Doutor Nuno Miguel Rosa Pereira Silvestre  
Co-orientador: Doutor Fernando António Baptista Branco  
Vogais: Doutor Luís Manuel Calado de Oliveira Martins  
Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida (FCT-UNL)

**Outubro 2012**



## Agradecimentos

Esta dissertação foi realizada com o contributo de várias pessoas, às quais expresso aqui o meu agradecimento.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, nomeadamente ao Professor Nuno Silvestre pela disponibilidade, dedicação e partilha de literatura e ao Professor Fernando Branco na admissão do tema aqui apresentado e na sugestão de novas perspectivas de abordagem.

Demonstro também a gratidão ao Eng. João Santos da *Futureng - Projectos de Construção Civil, Lda.* pela cordialidade em me receber, conhecimento partilhado e incentivo inicial para a introdução e desenvolvimento deste tema.

O mesmo agradecimento à colega Arq.<sup>ta</sup> Inês Cordovil dos arquitectos *Aires Mateus & Associados, Lda.*, por todos os esclarecimentos concedidos aquando da visita à obra da Rua Cecílio de Souza e pelo fornecimento da colecção de elementos desenhados e escritos relativos aos projectos da mesma.

Tenho a agradecer também a muitos outros profissionais que me auxiliaram na obtenção de informação e possibilitaram a visita a obras e instalações, nomeadamente ao Sr. António Lopes da *Ecoworks - Tecnologias Avançadas de Construção, Lda.*, ao Eng. Francisco Vilhena da *Dosmontes - Construção, Lda.*, ao Sr. Renato Gandra da *Norporto - Engenharia e Reabilitação Lda.*, ao Eng. Nuno Fonseca da *Mário Fonseca – Construções, S.A.*, ao colega Arq.<sup>to</sup> João Santos da *RRJ Arquitectos, Lda.*, ao Eng. António Santos da *Gestedi - Construção e Investimentos Imobiliários, Lda.*, ao Sr. Rogério Piçarra da *RP - Construções Técnicas, Lda.*, à Eng.<sup>a</sup> Vanda Almeida da *X-LOG Construção Lda.*, ao Sr. Pedro Cunha da *Portilame - Engenharia e Madeira, Lda.*, ao meu colega de curso Eng. Pedro Faria da *Socobre - Sociedade de Construções S.A.*, e ao Sr. Carlos Fonseca e Sr. Nuno Esteves por me prestarem esclarecimentos e receberem na visita à fábrica da *Perfisa, S.A.*

Agradeço igualmente ao meu colega Arq.<sup>to</sup> Fernando Martins pela introdução de ferramentas de trabalho de apoio à organização documental.

Estou grato aos meus pais, por todo o apoio e sustento prestado durante estes anos.

Por último, um obrigado especial à Sónia pelo incentivo, apoio incondicional e auxílio na revisão do texto.



## **Resumo**

A presente dissertação tem como principal objectivo estudar a aplicação de soluções que utilizam perfis de aço estruturais enformados a frio em obras de reabilitação e ampliação de edifícios. É apresentado o estado da arte destes sistemas construtivos, usualmente utilizados em tipologias de baixa densidade e conhecidos com a designação de construção *light steel framing* (LSF). É feita uma caracterização dos produtos empregues nestas soluções, métodos construtivos e consideradas as diferentes resoluções construtivas tendo em conta o desempenho em uso, relativo às exigências de impermeabilização, isolamento térmico, estanquidade, comportamento acústico e protecção contra ao fogo. É apresentado um comparativo de soluções para pavimentos até 4 metros de vão e paredes divisórias interiores não resistentes, tendo como variáveis o custo, rendimento de execução e massa associada, confrontando este sistema construtivo com as alternativas de estrutura de madeira e produtos pré-fabricados de betão e alvenaria cerâmica. O estudo engloba igualmente um levantamento de casos de estudo da aplicação destes produtos em obras de reabilitação, permitindo obter um retrato da prática nacional.

## **Palavras chave**

perfis de aço; enformados a frio; construção; reabilitação; comparativo de custo

## **Abstract**

This research has as its main goal the study of the use of cold-formed steel members for the refurbishment and extension of buildings. A state-of-art is presented, concerning the main use of these solutions on low density residential and retail typologies, usually known as *light steel framing* construction (LSF). The products used on these solutions and constructive methods are characterized and technical considerations are presented on performance requirements for the listed topics: waterproofing, thermal insulation, air and vapour tightness, acoustic behaviour and fire proofing. It is made a comparison of constructive solutions for floors up to 4 meters length and non-structural internal walls, using as variables the cost, speed of execution and dead-weight, confronting this constructive system with timber structures and concrete prefabricated products and ceramic masonry. This research also includes a case-study survey on the use of these solutions on the rehabilitation of buildings, resulting in a representation of the Portuguese practice.

## **Keywords**

cold-formed; steel profiles; light steel framing; construction; refurbishment; cost comparison



## Índice de conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Objectivos.....	1
1.2	Metodologia.....	1
1.3	Estruturação.....	2
2	Caracterização geral.....	3
2.1	Definição e matéria-prima.....	3
2.2	Evolução histórica.....	4
2.2.1	Utilização.....	4
2.2.2	Investigação.....	6
2.2.3	Regulamentação.....	7
2.3	Processos de transformação.....	8
2.4	Protecção à corrosão.....	9
2.5	Produtos de aço enformados a frio.....	11
2.5.1	Perfis estruturais.....	11
2.5.1.1	Oferta nacional.....	12
2.5.2	Chapas perfiladas.....	12
2.5.3	Perfis não estruturais.....	13
2.6	Produtos e materiais relacionados.....	14
2.6.1	Fixações.....	14
2.6.1.1	Parafuso auto-perfurante.....	14
2.6.1.2	Parafuso passante.....	16
2.6.1.3	Rebite.....	17
2.6.1.4	Cavilhas.....	17
2.6.1.5	Soldadura.....	18
2.6.1.6	Colagem.....	18
2.6.1.7	Clinching.....	18
2.6.2	Revestimento estrutural.....	19
2.6.2.1	Contraplacado de madeira.....	19
2.6.2.2	Painel de partículas de madeira orientadas.....	20
2.6.2.3	Painel compósito de fibras de madeira e cimento Portland.....	21
2.6.2.4	Chapa metálica.....	22
2.6.3	Revestimento não estrutural interior.....	23
2.6.4	Revestimento exterior.....	24
2.6.4.1	Revestimento delgado sobre isolamento, com ligantes sintéticos ou mistos (ETICS).....	25
2.6.4.2	Revestimento de elementos descontínuos de fix. mecânica com lâmina de ar ventilada...	25
2.6.4.3	Revestimento de elementos descontínuos fixos mecanicamente, sem lâmina de ar ventilada.....	26
2.7	Sustentabilidade.....	26
2.7.1	Reabilitação.....	29
2.7.2	Contributo do aço como solução sustentável.....	29
2.7.2.1	Discussão do de estudo de análise do ciclo de vida comparativo entre construção em aço leve e tradicional.....	32
2.8	Vantagens e inconvenientes.....	33
3	Soluções construtivas em edifícios.....	35

3.1	Tipologias construtivas.....	36
3.2	Soluções para reabilitação de edifícios.....	37
3.3	Descrição do sistema construtivo.....	40
3.3.1	Fundações e caves.....	40
3.3.2	Paredes.....	40
3.3.3	Pavimentos.....	42
3.3.4	Coberturas.....	43
3.4	Considerações Técnicas.....	44
3.4.1	Impermeabilização.....	44
3.4.1.1	Selagem integral.....	45
3.4.1.2	Fachada ventilada.....	46
3.4.2	Isolamento térmico.....	47
3.4.2.1	Caracterização do desempenho térmico das construções LSF.....	48
3.4.2.2	Pontes térmicas.....	48
3.4.2.3	Isolamento integrado na cavidade.....	50
3.4.2.4	Isolamento pelo exterior.....	50
3.4.2.5	Estação de aquecimento.....	51
3.4.2.6	Estação de arrefecimento.....	51
3.4.3	Estanquidade.....	51
3.4.3.1	Estanquidade ao ar e vento.....	51
3.4.3.2	Estanquidade ao vapor.....	52
3.4.4	Isolamento acústico.....	54
3.4.4.1	Paredes.....	56
3.4.4.2	Pavimentos.....	57
3.4.4.3	Transmissão marginal.....	58
3.4.4.4	Instalações técnicas.....	59
3.4.5	Protecção contra fogo.....	60
3.4.5.1	Revestimentos rígidos.....	62
3.4.5.2	Lãs minerais.....	63
3.4.5.3	Pinturas intumescentes.....	64
3.4.5.4	Protecções projectadas.....	65
4	Comparação com outras soluções construtivas de reabilitação.....	66
4.1	Laje de pavimento.....	67
4.1.1	Solução com aço enformado a frio.....	67
4.1.2	Solução com madeira.....	68
4.1.3	Solução com laje aligeirada de vigota e abobadilha.....	69
4.2	Parede interior não resistente.....	70
4.2.1	Solução com aço enformado a frio.....	70
4.2.2	Solução com madeira.....	71
4.2.3	Solução de alvenaria.....	72
4.3	Análise dos dados obtidos.....	73
5	Casos de estudo.....	77
5.1	Edifício de habitação - R. Cecílio de Souza, Lisboa.....	77
5.2	Edifício de habitação e comércio - Rua Garrett e Rua Anchieta, Lisboa.....	82
5.3	Edifício de habitação e serviços - Calçada do Combro, Lisboa.....	83



5.4 Moradia unifamiliar - Frazão, Paços de Ferreira.....	85
5.5 Edifício de habitação – Rua Gago Coutinho / Rua Francisco Luís Lopes, Sines.....	86
5.6 Edifício de habitação e comércio - Centro histórico de Beja.....	86
6 Conclusão.....	88
6.1 Desenvolvimentos futuros.....	90
Bibliografia.....	91
Anexo A.....	98
Anexo B.....	100
Anexo C.....	102
Anexo D.....	109

## Índice de figuras

1. Perfis-tipo abertos, composto aberto, composto fechado.....	3
2. Secções-tipo de chapas perfiladas.....	3
3: Pavillon démontable, Jean Prouvé, Museu Colecção Berardo, Lisboa.....	5
4: Pavillon démontable - pormenor de treliça.....	5
5: Casa pré-fabricada "Lustron Home", Illinois.....	5
6: Percentagem de edifícios residenciais com estrutura de perfis enformados a frio.....	6
7: Matéria prima - rolo de chapa de aço galvanizada.....	9
8: Processos de enformagem.....	9
9: Micrografia típica de uma superfície galvanizada.....	9
10: Comparação do comportamento à corrosão entre galvanização e pintura.....	9
11: Perfis de utilização mais comum: U, C, Z, $\Sigma$ , $\Omega$ , I composto.....	12
12: Perfis com punções longitudinais.....	12
13: Perfis U para superfícies curvas.....	12
14: Selecção de perfis não estruturais com diferentes espessuras de cavidade.....	14
15: Elementos não estruturais e acessórios, utilizados em paredes e tectos.....	14
16: Perfis de parede com dissipação acústica.....	14
17: Tipos de ponta.....	16
18: Tipos de cabeça comuns.....	16
19: Fixação de revestimento.....	16
20: Exemplo de fixação a elemento de betão armado com recurso a parafuso passante.....	16
21: Exemplo de fixação a secção de aço laminado com recurso a parafuso passante.....	16
22: Quatro fases da fixação com rebite cego, rebite de pressão.....	17
23: Fixação com cavilhas, exemplos de cavilha, magazines.....	18
24: Distribuição dos consumos de energia nos edifícios residenciais por áreas de consumo, segundo dados da Direcção Geral da Energia, Ministério da Economia.....	27
25: Comparação de impacto ambiental entre as duas soluções.....	32
26: Comparação de impacto ambiental entre as fases de construção para as duas soluções e a fase operacional.....	32
27: Paredes exteriores para preenchimento de estruturas porticadas.....	35
28: Execução de sub-piso.....	35
29: Lintél.....	35
30. Construção por elementos, Ilha da Armonia, Olhão.....	37

31. Instalação de painéis pré-fabricados.....	37
32. Construção modular em Alho, Alemanha.....	37
33: Sistema estrutural de plataforma.....	37
34: Sistema estrutural de balão "balloon system".....	37
35: Construção por elementos com "balloon system".....	37
36: Revestimento de fachada "over-cladding" – antes.....	38
37: Revestimento de fachada "over-cladding" – depois.....	38
38: Sobreposição de cobertura "over-roofing".....	38
39: Estrutura de parede apoiada sobre viga de fundação, Beja.....	40
40: Piloti em secção tubular laminada a quente sobre sapata de betão, Ilha da Armona, Olhão.....	40
41: Laje de pavimento sobre-elevada apoiada em pilotis, Ilha da Armona, Olhão.....	40
42: Exemplo de concepção de paredes resistentes.....	42
43: Exemplo de execução de parede em obra, Beja.....	42
44: Fixação de vigota ao perfil guia: esquadro (articulada), cantoneira e perfil C (semi-rígida).....	42
45: Pavimento com chapa trapezoidal sem enchimento.....	43
46: Pavimento com laje compósita.....	43
47: Mecanismos de ingresso de água na envolvente construtiva dos edifícios.....	44
48: Selagem integral da envolvente.....	46
49: ETICS com fixação por adesivo ou mecânica.....	46
50: ETICS com cavidade não ventilada, fixação mecânica.....	46
51: Fachada ventilada de cavidade com pressão do ar equalizada.....	47
52: Junta aberta e junta sobreposta com retenção.....	47
53: Falha na equalização da pressão devido à circulação horizontal do ar na cavidade.....	47
54: Comparação entre soluções com ou sem revestimento pelo exterior (ETICS) e Influência da presença dos montantes na temperatura interior.....	50
55: Parede exterior utilizando perfis com punções longitudinais.....	50
56: Valor de coeficiente de transmissão térmica do modelo de parede da imagem anterior, conforme espessura de EPS.....	50
57: Relação entre temperatura e ponto de orvalho.....	53
58: Relação entre temperatura e ponto de orvalho, com barreira de vapor.....	53
59: Controlo da humidade intersticial em estrutura em balão e plataforma, membrana azul permite difusão, membrana vermelha é barreira de vapor.....	53
60: Escala modificada Reiher-Meister.....	54
61: Limites de aceleração conforme ISO 2631-2.....	54
62: Parede com camada simples de gesso laminado e lã mineral.....	57
63: Parede com perfis resilientes e camada dupla de gesso laminado.....	57
64: Parede com estrutura dupla, separação com lã mineral e camada dupla de gesso laminado.....	57
65: Influência de brechas no valor de redução sonora (Rw) de paredes interiores.....	59
66: Transmissão marginal via revestimentos e via cavidade.....	59
67: Exemplo de resolução de encontro de parede meeira com parede exterior.....	59
68: Transmissão de ruído proveniente de equipamentos sanitários.....	60
69: Fixação de tubagens.....	60
70: Integração de caixas de instalação eléctrica em paredes meeiras.....	60
71: Teste de alteração da temperatura superficial em painel de gesso de 12,5 mm de espessura.....	63
72: Teste de alteração da temperatura superficial em composição com dois painéis de gesso de 12,5 mm de	

espessura.....	63
73: Pannel de parede testado em fornalha.....	63
74: Gráfico comparativo do custo das soluções de pavimento.....	75
75: Gráfico comparativo de rendimento de execução das soluções de pavimento.....	75
76: Gráfico comparativo de massa associada às soluções de pavimento.....	75
77: Gráfico comparativo de custo das soluções de parede não resistente.....	76
78: Gráfico comparativo de rendimento de execução das soluções de parede não resistente.....	76
79: Gráfico comparativo de massa associada às soluções de parede não resistente.....	76
80: Fachada principal para a Rua Cecílio de Souza.....	77
81: Planta Estrutural do Piso 2.....	78
82: Planta Estrutural do Piso 3.....	78
83: Pilares HEB120 no piso 2.....	78
84: Estrutura de laje composta por vigas HEB160 no piso 3.....	78
85: Vigas de betão armado nas parede de empena no piso do sótão.....	78
86: Planta do tecto do piso 3.....	79
87: Planta do tecto do piso da cobertura (sótão).....	79
88: Corte a seccionar a zona de intervenção.....	79
89: Pormenor da ancoragem à viga da parede tardoz.....	79
90: Pormenor da viga de betão armado introduzida nas fachadas principal e tardoz .....	80
91: Pormenor da ancoragem do pavimento à viga de betão armado.....	80
92: Pormenor da ancoragem da viga de cumeeira à viga de betão armado da empena.....	80
93: Ligação da vigas da fachada tardoz e da empena.....	80
94: Ancoragem complementar à parede de alvenaria.....	80
95: Ancoragem da viga de cumeeira.....	80
96: Corte construtivo da cobertura e remate na platibanda.....	81
97: Pormenor construtivo da soleira e caleira na fachada tardoz.....	81
98: Zona junto à fachada principal no piso 3.....	81
99: Núcleo de circulação horizontal no piso 3.....	81
100: Estrutura de pavimento do piso do sótão observado pelo piso 3.....	81
101: Trapeiras para a fachada principal no piso da cobertura.....	81
102: Núcleo central do piso da cobertura.....	81
103: Ligações da cobertura em mansarda e trapeiras.....	81
104: Perspectiva da Rua Garrett.....	82
105: Estaleiro localizado na Rua Anchieta.....	82
106: Perspectiva da Rua Anchieta.....	82
107: Ligação com estrutura tubular laminada quente no núcleo de escadas.....	83
108: Apoio de vigas de pavimento de madeira.....	83
109: Apoio de vigas de pavimento de madeira.....	83
110: Reforço dos pavimentos de madeira.....	83
111: Integração de instalações técnicas.....	83
112: Ligação da estrutura da cobertura à viga de coroamento.....	83
113: Perspectiva da Calçada do Combro.....	83
114: Execução do pavimento do 4º piso.....	84
115: Preservação de elementos preexistentes.....	84
116: Integração de paredes preexistentes.....	84

117: Pormenor de ligação a estrutura de madeira preexistente.....	84
118: Integração de paredes preexistentes.....	84
119: Cobertura sem revestimento final.....	84
120: Parede nova de alvenaria aparelhada.....	85
121: Perspectiva para a zona privada.....	85
122: Estrutura de cobertura e compartimentação horizontal na zona privada.....	85
123: Viga para apoio da cobertura paralela à fachada tardoz.....	86
124: Asnas treliçadas na zona social.....	86
125: Apoio de asnas na parede de alvenaria.....	86
126: Perspectiva da Rua Gago Coutinho.....	86
127: Perspectiva inferior da estrutura da cobertura.....	86
128: Pormenor da fixação da cobertura.....	86
129: Fachada principal.....	87
130: Interior do piso térreo.....	87
131: Pormenor de fixação da escada de acesso ao piso 1.....	87

## Índice de tabelas

1: Vida útil de concepção para perfis galvanizados Z275 consoante a função em edifícios.....	10
2: Relação entre designação, diâmetro do corpo do parafuso.....	15
3: Propriedades mecânicas e físicas do OSB classe 3.....	21
4: Propriedades mecânicas e físicas do painel composto de fibras de madeira e cimento Portland.....	22
5: Espessuras e densidades usuais para diversos tipos de painéis baseados em gesso.....	24
6: Comparação segundo rendimento de execução e custo entre sistemas construtivos com diferentes níveis de pré-fabricação no contexto da construção britânica.....	31
7: Dimensões de secção com equivalência estrutural.....	38
8: Comparação entre dimensões e pesos próprios de secções de perfis enformados a frio, madeira e aço laminado para diferentes aplicações em pavimentos.....	39
9: Quadro síntese adaptado da resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios.....	61
10: Temperaturas registadas na face não exposta da parede em teste de fornalha.....	64
11. Dados sobre execução de pavimento com estrutura de perfis de aço enformados a frio.....	68
12. Dados sobre execução de pavimento com estrutura de madeira.....	69
13. Dados sobre execução de pavimento com laje aligeirada de vigota e abobadilha.....	69
14. Dados sobre execução de parede com estrutura de perfis de aço enformados a frio.....	71
15. Dados sobre execução de parede com estrutura de madeira.....	72
16: Dados sobre execução de parede de alvenaria.....	73

## **1 Introdução**

Existe uma ideia, mais ou menos generalizada, de que as soluções de construção metálica "leve" destinam-se essencialmente a soluções pré-fabricadas e de carácter relativamente efémero. Se por um lado esta tecnologia de construção oferece a possibilidade de transpor 90% das operações de construção para um ambiente de fábrica, introduzindo o mesmo nível de controlo de qualidade, segurança e ambiental que é comum em sectores como a indústria automóvel (Veljkovic & Johansson 2006); por outro lado esse facto não significa que essa tecnologia se cinja à fabricação de módulos pouco adaptáveis ao carácter heterogéneo do tecido urbano. Estes sistemas construtivos apresentam características que favorecem também a sua utilização na intervenção em edifícios existentes, quer em substituição de parte do "miolo" por razões de degradação ou desactualização funcional, quer na sobreposição de pisos, quando a estrutura original permite a sobrecarga ou é reforçada para o efeito.

A facilidade e rapidez de execução destas soluções constituem um forte potencial na sua aplicação para um conceito de sistematização da reabilitação e renovação urbana, não obstante de serem considerados factores de índole histórico-patrimonial que excluam a sua aplicação por limitação técnica ou em casos singulares de elevado valor arquitectónico.

### **1.1 Objectivos**

A presente dissertação tem como principal objectivo aprofundar o conhecimento da ciência da construção de soluções que utilizam perfis de aço estruturais enformados a frio em edifícios existentes, sendo usualmente utilizadas em tipologias residenciais ou comerciais de baixa densidade e conhecidos com a designação de "*light steel framing*" (LSF), tentando abordar tanto as potencialidades deste sistema construtivo, como também as limitações que lhe são características.

Tendo como ponto de partida uma lacuna na base documental existente no nosso país sobre a utilização destes sistemas construtivos para a reabilitação e ampliação de edifícios existentes, este estudo foca-se essencialmente na descrição de soluções construtivas aplicáveis para esses fins.

Não são, por essa razão, abrangidas as soluções modulares de implantação isolada, construções efémeras ou os modelos construtivos destinados a utilizações industriais ou de armazenagem (*racking systems*) que utilizam produtos desta natureza como estrutura. Excluem-se também considerações respeitantes ao dimensionamento e comportamento estrutural das soluções. Por uma questão de opção programática não são abordados aprofundadamente os sistemas de compartimentação e revestimento com recurso a perfis não estruturais e chapas perfiladas, sendo estes somente referidos quando integrados acessoriamente numa solução de parede, pavimento ou cobertura.

Pretende-se também confrontar este sistema construtivo com outras soluções passíveis de aplicação em situações de intervenção sobre edifícios existentes, nomeadamente a utilização de estrutura de madeira e produtos pré-fabricados de betão e alvenaria cerâmica.

O estudo engloba igualmente um levantamento de casos de estudo de aplicação destes produtos em obras de reabilitação, permitindo obter um retrato da prática nacional.

### **1.2 Metodologia**

No desenvolvimento desta investigação procurou-se primeiramente compreender quais os produtos utilizados neste tipo de construções no universo nacional e internacional, vantagens e limitações que caracterizam e qual a

bibliografia que serve de base documental a projectistas e construtores. Por outro lado existiu uma intenção de contacto com a prática nacional, mais concretamente no contexto da reabilitação.

Para esse efeito a pesquisa repartiu-se por três estágios que decorreram de forma relativamente simultânea. Numa primeira fase procedeu-se ao levantamento de bibliografia respeitante à evolução histórica, características materiais e construtivas, tipos de soluções, normas e regulamentos aplicáveis e manuais de apoio à concepção, dimensionamento e especificação. Numa segunda fase foi feito o contacto com fabricantes, projectistas e construtores por forma a concederem entrevistas para discutir a aplicação prática destes sistemas construtivos no panorama nacional, obter informações sobre os produtos comerciais aplicados e requerer visitas a obras de reabilitação com a aplicação de estruturas LSF. Na terceira fase, após ocorrerem as visitas a essas obras, foi feito o contacto com os projectistas dos empreendimentos a solicitar informação caracterizante das intervenções. Nesta fase foi também feita uma pesquisa sobre os dados a utilizar para a comparação das soluções, tendo sido solicitadas informações a empresas construtoras e projectistas.

### **1.3 Estruturação**

O desenvolvimento dos vários temas desta dissertação organiza-se em 6 capítulos.

No presente capítulo apresenta-se a temática, definem-se os objectivos e refere-se a metodologia seguida na pesquisa.

No Capítulo 2 é exposta uma definição caracterizadora dos produtos abordados, apresentada a evolução histórica da sua utilização, investigação e regulamentação, descritos os processos de transformação e protecção à corrosão, caracterizados os produtos utilizados para fins estruturais e outras funções, assim como é abordada a questão da sustentabilidade da aplicação destes produtos, vantagens e inconvenientes.

No capítulo 3 são apresentadas as tipologias construtivas de utilização regular, as soluções aplicáveis em caso de reabilitação de edifícios e é feita uma descrição do sistema construtivo e componentes. Neste capítulo são apresentadas as diversas considerações técnicas relativas ao desempenho em uso dos edifícios construídos com esta solução construtiva, nomeadamente: impermeabilização, isolamento térmico, estanquidade, isolamento acústico e protecção contra o fogo.

O capítulo 4 destina-se à comparação desta solução construtiva com as alternativas de estrutura de madeira e pré-fabricados de betão e alvenaria, com aplicação específica em pavimentos até 4 m de vão e paredes divisórias interiores não resistentes. As variáveis confrontadas são o custo, o rendimento de execução e o peso-próprio da solução.

No capítulo 5 são apresentados as obras de reabilitação com aplicação de estrutura com perfis enformados a frio visitadas durante a período em que decorreu a pesquisa, sendo apresentadas peças desenhadas relativas a uma das intervenções.

No capítulo 6 são enunciadas as conclusões obtidas do conteúdo apresentado nos capítulos que compõem o corpo do trabalho.

## 2 Caracterização geral

Tendo este estudo como objectivo a descrição geral de soluções construtivas para reabilitação e ampliação de edifícios que utilizam perfis de aço enformados a frio na solução estrutural torna-se crucial descrever de uma forma geral os produtos, características e fases que compõem este tipo de construções.

Na construção em aço existem duas famílias de produtos utilizados em funções estruturais. Por um lado existe o grupo mais tradicional de formas produzidas a quente por laminagem, extrusão, enformagem e fundição em molde. Estes elementos são utilizados como solução integral ou em conjugação com outros elementos de betão armado ou pré-esforçado e alvenarias em estruturas mistas.

Noutro grupo, menos tradicional, mas contando já com mais de um século de utilização colocam-se os produtos enformados a frio que, quando utilizados como solução exclusiva estrutural são utilizados para edifícios de baixa densidade (até 3 pisos), de construção essencialmente a “seco”, integrando um esqueleto estrutural de perfis de aço enformado a frio, usualmente com revestimento estrutural de painéis de derivados de madeira, revestimento interior com gesso laminado, e revestimento exterior com reboco armado com isolamento, painéis sanduíche ou outras soluções. A sua utilização com outros elementos portantes de aço laminado ou betão permite a construção de edifícios de maior estatura (superior a 4 pisos), permitindo uma redução substancial em termos de peso próprio nos componentes de compartimentação e de envolvente construtiva.

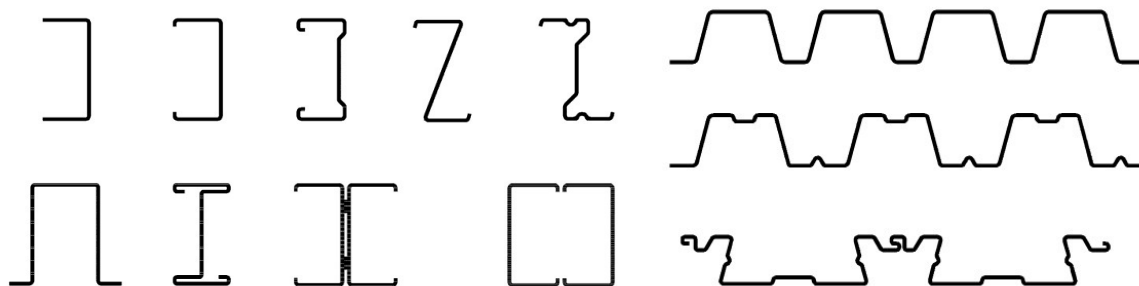
### 2.1 Definição e matéria-prima

Os produtos de aço enformados a frio são elementos produzidos pela dobragem de chapas de aço de espessura constante, à temperatura ambiente, formando perfis com resistência superior à da chapa plana original.

Em termos geométricos a secção de corte de um perfil ou chapa perfilada enformados a frio é constituída por troços rectos e curvos. Para além das dobras que caracterizam morfologicamente as secções dos produtos (perfis ou chapas), podem também ser incorporadas dobras suplementares nas extremidades ou troços rectos denominadas rigidificadores (*stiffeners*), que têm como função melhorar o comportamento mecânico destes.

Para fins de dimensionamento o Eurocódigo 3 Parte 1-3 (CEN 2006) prevê a utilização de chapas e perfis com espessuras nominais enquadradas entre 0,45 e 15 mm. Os perfis aplicados em soluções de construção para fins residenciais e comerciais de baixa e média densidade utilizam normalmente espessuras entre 1,0 e 3,0 mm.

Na produção dos perfis podem ser utilizados aços com tensão de cedência enquadrada entre 220 e 550 N/mm<sup>2</sup>, embora as utilizações mais comuns utilizem classes S 280 GD, S 320 GD e S 350 GD e também DX51D (para perfis com funções não portantes). Por forma a assegurar a longevidade das estruturas, o aço é protegido contra a corrosão por meio da galvanização. A norma actual que define as propriedades do aço e classes de protecção à corrosão para a produção destes sub-produtos é a EN 10346 (CEN 2009).



1. Perfis-tipo abertos, composto aberto, composto fechado (CEN 2006)

2. Secções-tipo de chapas perfiladas (CEN 2006)

## 2.2 Evolução histórica

A introdução dos produtos enformados a frio na construção acontece inicialmente na forma de revestimentos exteriores ou sub-revestimentos e a partir do início do séc.XX começam a ser publicados modelos protótipos de habitações mínimas que utilizam chapas perfiladas auto-portantes, existindo até à data da 2ª Guerra Mundial já importantes desenvolvimentos como a utilização de perfis dobrados em membros estruturais para edifícios de pequenas dimensões. Este período exclusivamente experimental dura até 1946, quando é publicada, nos E.U.A., a primeira especificação para produtos enformados a frio pela American Iron and Steel Institute. A partir desse momento a aplicação destes sistemas construtivos passa a ser regrada nesse país e leva ao crescimento da indústria e desenvolvimento de outros produtos relacionados (revestimentos, fixações, isolamento térmico). Este documento sofre ainda diversas actualizações antes de outros países desenvolverem e publicarem equivalentes homólogos (em 1974, a publicação da AS-1538 na Austrália).

### 2.2.1 Utilização

A aplicação de produtos de metal enformados por prensagem e quinagem é conhecida como elemento construtivo desde do séc. XVIII em Paris, onde chapas eram utilizadas como barreira corta-fogo nas paredes exteriores de edifícios públicos e salas de espectáculo (Blanc et al. 1993).

Em 1829 é publicada no Reino Unido, por Henry Robinson Palmer uma patente que descreve a utilização de chapas onduladas de ferro forjado como sub-camada para revestimentos de paredes ou coberturas. Estas seriam apoiadas em perfis distanciados equitativamente entre 1,8 a 2,1 m e contemplavam a galvanização como protecção à corrosão (Blanc et al. 1993) .

Em 1849 é publicitada na Califórnia (E.U.A.) uma solução de casa portátil de ferro com revestimento de chapa ondulada com cerca de 6 m x 4.5 m e apresentando vantagens como ser erigível num só dia, menos dispendiosa que a madeira e à prova de fogo (CFSEI sem data).

Na posterior década de 50 seria banalizada a produção de chapas onduladas de ferro forjado, quer no Reino Unido, quer nos E.U.A..

Em 1906 é publicada no *Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien* (Livro de invenções, comércio e indústria) uma solução modular constituída por chapa perfilada auto-portante destinada para campanhas de expedição no continente africano (Schulitz 2000).

O primeiro exemplo de utilização de elementos enformados a frio na estrutura de edifícios julga-se ser no Virginia Baptist Hospital (Lynchburg, Virginia, E.U.A.), onde são utilizadas nas lajes de pavimento vigotas constituídas por dois elementos C com ligação alma-alma, sobre as quais é disposta uma rede metálica e betão (CFSEI sem data).

Um dos pioneiros na concepção e fabricação de perfis de aço trabalhados a frio é Jean Prouvé, artista-serralheiro com oficina baseada em Clichy (França), que produz diversos componentes de construção e design com recurso a técnicas como a dobragem e prensagem de chapa metálica, unidos por soldadura eléctrica. Concebe entre 1932 e 1935, juntamente com os arquitectos Beaudoin e Lods, um dos primeiros edifícios que utiliza exclusivamente estrutura de perfis de aço quinados e chapas moldadas como revestimento - o Clube de Aviação *Roland Garros* em Buc, França (Prouvé 1971). Outros exemplos protagonizados por Prouvé em colaboração com arquitectos são o mercado de Clichy, abrigos militares (3x3 m) concebidos para ser transportáveis por um só homem e possíveis de montar numa só hora (1939) e o *Pavillon démontable*, produzido entre 1944 e 1945 e destinado ao realojamento de desalojados do pós-guerra para as cidades de Lorraine e Vosges. Este último consiste numa construção (dimensões 9 x 6 x 2,9 m) com estrutura de aço



quinado e revestimento em madeira maciça encaixada nos perfis, tendo sido produzidas 800 unidades e que, pelo facto de serem totalmente desmontáveis, foram transportadas para outros locais, sendo possível encontrá-las por toda a França ainda em bom estado. Com este sistema de chapa quinada produz perfis resistentes, pavimentos, cabines e caixilharia a partir dos quais, em 1949, concebe o modelo *Sahara* - casas extremamente leves e concebidas em *kit*, para exportação para as colónias francesas no continente africano (Prouvé 1971).

Nos E.U.A., como resposta à carência de habitação para muitas famílias de soldados regressados da 2ª Guerra Mundial, em 1949 a Strandlunds Lustron Company comercializa cerca de 2500 casas em *kit* com estrutura de aço enformado a frio e com envolvente construtiva revestida com painéis de aço esmaltado (MONTHP 2012). Esta iniciativa de Carl Strandlund acabou por não ser muito bem sucedida, especialmente pelo facto da solução construtiva ser quase integralmente à base de aço, que era ainda uma matéria prima escassa devido à proximidade do término da guerra. A popularização da utilização destes produtos estruturais no sector habitacional acaba por acontecer com maior expressão nas últimas décadas do séc. XX, estando relacionada com o desenvolvimento de outros produtos como o gesso cartonado e o parafuso auto-perfurante. Desta forma torna-se uma solução construtiva integral que, embora utilize o mesmo princípio construtivo de funcionamento estrutural da tradicional construção em madeira, é directamente competitiva face a esta, apresentando vantagens directas como a incombustibilidade e a não susceptibilidade a fungos e térmitas.



3: Pavillon démontable, Jean Prouvé, Museu Colecção Berardo, Lisboa



4: Pavillon démontable - pormenor de treliça



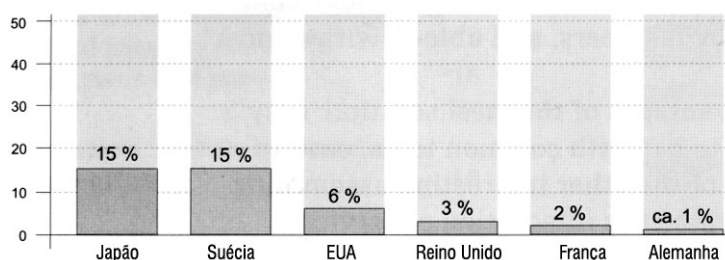
5: Casa pré-fabricada "Lustron Home", Illinois (MONTHP 2012)

No Reino Unido a introdução destes produtos acontece de forma mais significativa no sectores industrial e retalhista. Em 1954 é construído pela empresa Metal Sections Ltd. um armazém de grandes dimensões para a US Air Force em Burtonwood, Lancashire, no qual foram utilizadas 1500 toneladas de aço, perfazendo cerca de 600000 metros lineares de secções enformadas a frio (Prola 2001; Metsec Plc sem data). O principal exemplo de grandes estruturas constituídas por estes elementos é o modelo de hangar da American Airlines para abrigo e manutenção de aeronaves Boeing 747, construído em 1970 nos aeroportos de Los Angeles e São Francisco com concepção de Lev Zetlin Associates (Trebilcock 1994; Weingardt 2008; W. W. Yu & LaBoube 2000).

Desde dos anos 70 que estas soluções construtivas têm sido utilizadas com sucesso em habitação de baixa densidade, constituindo uma fracção importante do sector em países como E.U.A., Canadá, Austrália, Japão, assim como, mais tardiamente, em países europeus como Dinamarca, Suécia, Noruega, Finlândia e França. Nestes países nórdicos, nomeadamente na Suécia, estas soluções construtivas surgem como uma alternativa à construção tradicional, normalmente pouco eficaz em termos energéticos, implementando uma nova dinâmica no mercado residencial (Höglund & Burstrand 1998). Conforme é descrito por Kopke, nos anos 80, quando diversas florestas antigas foram classificadas como reservas naturais e passaram a ser vedadas à indústria madeireira, ocorreu uma subida acentuada dos preços da mesma com um cúmulo de inflação ocorrido em 1991 em que subiu 80%. Este facto levou à opção pelo aço por parte de muitos construtores (Kopke 2008).

A publicação, em 1997, do método prescritivo de construção pela associação de construtores americana

(NAHB 1997), torna a aplicação destes sistemas em edifícios de habitação unifamiliares bastante célere em termos regulamentares, pelo facto de ultrapassar a exigência de um projecto de concepção e dimensionamento da estrutura, desde que o edifício se enquadre sob determinadas limitações.



6: Percentagem de edifícios residenciais com estrutura de perfis enformados a frio (LSK 2005)

Em Portugal, a introdução destes sistemas no mercado ocorreu na década de 90 na forma de importação de *franchisings* destinados à habitação unifamiliar, como é exemplo a Termosteel (representada pela Somundy Portugal). Por essa data os perfis seriam importados ou fabricados por encomenda a fornecedores que os produziam com recurso a prensas quinadeiras (Fábrica de Perfis da Barca em Ponte da Barca e EDRAM em Constância). É somente em 2003, com o início de produção de membros estruturais em perfiladora pela Perfisa, S.A. (S. Pedro do Sul), que o sector passa a ter um fornecedor nacional com produtos com qualidade criteriosa e capacidade de fabricação em grande escala, permitindo então que esta solução construtiva se torne competitiva no território português. A simultaneidade desta alteração no mercado e a publicação do Eurocódigo 3 Parte 1-3 conduzem a que exista um aumento substancial de interesse neste tipo de construções por parte de construtores, projectistas e público em geral, representando um incremento de cerca de 500% nas empresas a laborar no sector no últimos 15 anos. Segundo o descrito em entrevista a intervenientes neste sub-sector da construção, se nos anos 90 o número estimado não atingia 10 empresas nacionais ou *franchisings* dedicados a estas construções, hoje em dia aproximando-se às quatro dezenas – ver Anexo A (Futureng sem data). Mesmo no actual cenário de crise económica algumas das principais empresas que trabalham exclusivamente neste tipo de soluções, quer em projecto, quer em execução de obra, continuam em crescimento. Existem inclusivamente alguns exemplos que oferecem soluções pré-fabricadas (por painéis e módulos) como as empresas Ecomodular e Somundy-Portugal de Torres Vedras e a Coolhaven de Coimbra, esta última introduzindo inovações como a capacidade de desmontagem para deslocalização da construção, sistema de aquecimento e arrefecimento baseado em geotermia e rede de águas cinzentas (Cool Haven 2012).

## 2.2.2 Investigação

Na década de 30 do séc.XX a possibilidade de produção de perfis de aço de secção fina torna-se aliciante como alternativa aos perfis laminados a quente, devido principalmente à escassez do material em tempo de guerra. Por forma a criar uma base regulamentar que dite regras de utilização o American Iron and Steel Institute patrocina uma pesquisa liderada por George Winter na Cornell University (Nova-Iorque, E.U.A.) que em 1946 irá culminar na publicação da *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Members* (Hancock et al. 2001; CFSEI sem data). Este investigador é responsável pelo desenvolvimento de conhecimento de diversos factores que caracterizam os membros enformados a frio como a largura efectiva em aplicações à compressão, limites de resistência, modos de instabilidade local e global, dimensionamento e comportamento de perfis específicos como Z e C, comportamento de diafragma em estruturas contraventadas ou apaineladas, ligações por parafuso e soldadura, efeito da enformagem nas propriedades do material, influência da ductilidade, função dos rigidificadores de extremidade e intermédios e utilização da análise probabilística no dimensionamento.

Ainda no mesmo núcleo de investigação, mais recentemente Teoman Peköz tem continuado este trabalho abordando questões mais específicas como modos de instabilidade (global de flexão e flexão-torção, local e distorcional) em elementos que integram rigidificadores em funções estruturais como colunas e vigas, montantes de paredes perfurados, empenamento de painéis em coberturas, análise probabilística da resistência de elementos e integração do Método da Resistência Directa (W. W. Yu & LaBoube 2000).

Outro dos núcleos de investigação que se dedica mais concretamente ao comportamento e dimensionamento de elementos e estruturas de aço enformados a frio está situado na Missouri University of Science and Technology (E.U.A.) onde Wei-Wen Yu e Roger A. LaBoube organizam desde 1971 as *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*.

Também se considera incontornável a contribuição do grupo liderado por Gregory J.Hancock da Universidade de Sydney (Austrália), que identificou e denominou um modo de instabilidade que acontece somente em elementos reforçados com rigidificadores – o modo local distorcional. Tendo obtido prova da sua ocorrência em campanhas experimentais, desenvolveu ferramentas analíticas para o cálculo da sua influência antes e após deformação e comportamento nos diversos tipos de perfis. Esse grupo de investigação de Sydney introduziu, calibrou e validou a metodologia analítica para o cálculo dos estados-limite nos diversos modos de instabilidade, constituindo a base do Método da Resistência Directa.

No Reino Unido pode-se destacar o contributo de J. Rhodes da Universidade de Strathclyde (Glasgow), J.M. Davies da Universidade de Manchester e R.M. Lawson, A.G.J. Way e P. Trebilcock, colaboradores do Steel Construction Institute (Ascott), na formulação da regulamentação britânica e publicação de diversos documentos, incluindo guias para a concepção de estruturas e especificação de soluções construtivas que utilizam estruturas de aço enformados a frio.

Em Portugal é importante referir o trabalho no comportamento e dimensionamento de estruturas protagonizado no Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa pelo grupo de investigação liderado por Dinar Camotim e Nuno Silvestre com a publicação de vários artigos e orientação de dissertações como Prola (2001), Encarnação (2009) e Pinto (2010). Outras dissertações de Kopke (2008) e Neves (2011) abordam o enquadramento económico face a outras soluções construtivas e do ponto de vista da sustentabilidade na construção.

Na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra têm sido desenvolvidas investigações ao nível do ciclo de vida e comportamento térmico destas construções pelo grupo de trabalho de Luís Simões da Silva, Helena Gervásio e Paulo Santos (Gervásio et al. 2003) (Santos et al. 2009).

Também na Universidade de Aveiro é possível referir as dissertações de Nolasco (2008) e Almeida (2009) no estudo de soluções para aplicações industriais e de armazenagem, Correia da Silva (2008) abordando a análise do ciclo de vida e Patinha (2011) na construção modular.

### **2.2.3 Regulamentação**

Apresenta-se por ordem cronológica uma lista não exaustiva de especificações, normas, regulamentos e guias de aplicação relevantes do ponto de vista histórico ou por aplicação corrente:

1946 - *Specification for the Design of Light Gauge Steel Structural Members*, AISI (E.U.A.)

1949 - *Light Gauge Steel Design Manual*, AISI (E.U.A.)

1974 - AS 1538 - *Australian Standard for the design of cold-formed structural members* (Austrália)

1975 - BS 449-2 Addendum No. 1 - *The use of cold formed steel sections in building*, British Standards

- Institute (Reino Unido)
- 1987 - BS 5950 - *Structural use of steelwork in building, Part 5: code of practice for design of cold-formed sections*, 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 - *Design of Steel Structures, Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting*, CEN (U.E.)
- 1996 - *Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*, AISI (E.U.A.)  
(combinação dos métodos ASD e LRFD)
- AS/NZS 4600 - *Cold-formed steel structures*, Standards Australia/Standards New Zealand (Austrália, Nova Zelândia)
- EN 10143 - *Continuously hot-dip coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape*, CEN (U.E.)
- 1997 - *Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing*, National Association of Home Builders / AISI (E.U.A.)
- 2007 - AISI S100 - *North American specification for the design of cold-formed steel structural members*, AISI (E.U.A., Canadá, México)
- 2008 - EN 1090-2:2008+A1 - *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*, CEN (U.E.) - em período de transição
- 2009 - EN 1090-1:2009+A1:2011 (E) - *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components*, CEN (U.E.) - em per. de transição
- EN 10346:2009 - *Continuously hot-dip coated steel flat products - Technical delivery conditions*, CEN (U.E.)

### 2.3 Processos de transformação

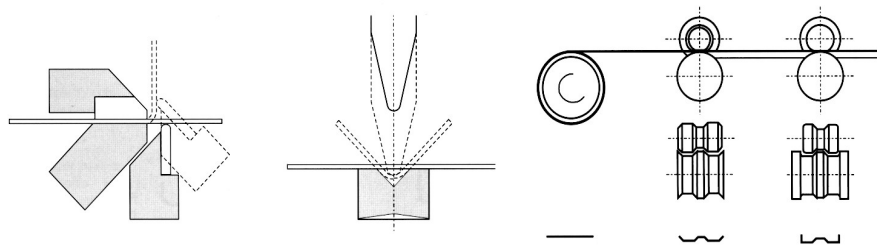
O processo que transforma a chapa metálica lisa em produtos tridimensionais pode acontecer de quatro formas, sendo as principais a quinagem e a perfilagem e secundárias a dobragem e prensagem com molde, sendo destinadas a acessórios e painéis de revestimento.

A quinagem é utilizada para produção de perfis relativamente simples, sendo a extensão dos elementos limitada à envergadura da máquina (quinadeira) que os produz. Esta dimensão é geralmente de 3 m, existindo no entanto equipamentos que permitem extensões até 8 m. Embora este mecanismo não seja o mais produtivo em termos de rendimento pode-se tornar economicamente viável para a produção de elementos não-*standard* em pequeno número.

A perfilagem é o método que permite a produção em grande escala dos perfis metálicos estruturais e não estruturais, possibilitando a competitividade desta solução construtiva face a outras. A faixa metálica (chapa) é introduzida através de uma sucessão de pares de rolos que irão deformá-la progressivamente por etapas até à forma final pretendida. A inclusão de furações e indentações pode ser executada previamente ou integrada na sequência do processo de perfilagem. Os perfis podem ser seccionados com a extensão pretendida antes ou após este processo, sendo o seu comprimento restringido maioritariamente por questões de transporte e armazenamento.



7: Matéria prima - rolo de chapa de aço galvanizada



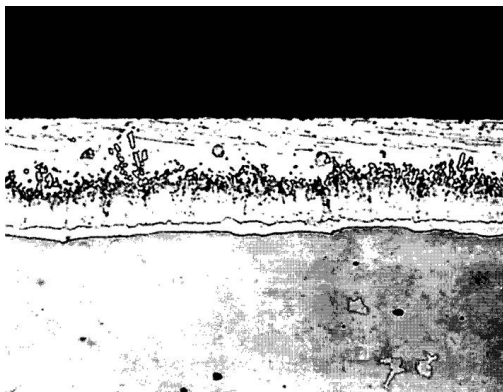
8: Processos de enformagem (quinagem e perfilagem) (LSK 2005)

## 2.4 Protecção à corrosão

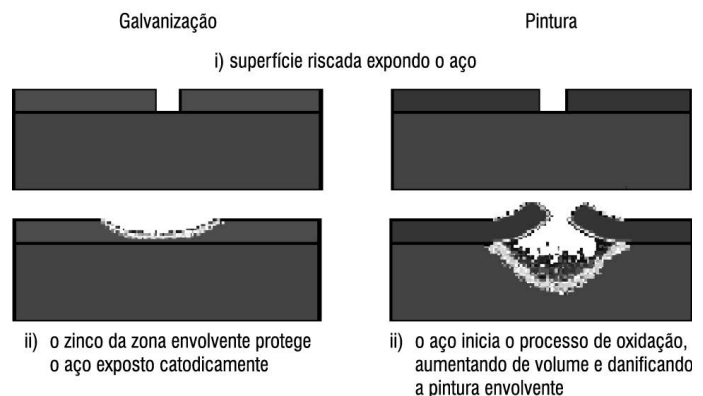
Existem dois mecanismos que são utilizados para proteger o aço em ambientes corrosivos: através da aplicação de uma barreira contínua que evita o contacto dos agentes corrosivos com a superfície do material ou aplicando uma camada sacrificial com outro metal, que tem propensão a corroer preferencialmente quando na proximidade do aço.

O zinco, sendo um elemento menos nobre e estando classificado a um nível inferior em relação ao aço na série galvânica, é um desses metais. É por isso aplicado por imersão a quente, por projecção a quente (metalização), sherardização, electrogalvanização e utilizado como aditivo em sistemas de pintura.

A principal forma de protecção utilizada para produtos estruturais de aço enformados a frio é a galvanização. Esta consiste na imersão do elemento de aço num tanque que contém uma solução composta por zinco líquido a 450 °C que, após arrefecimento, irá formar uma série de camadas constituídas por uma liga de aço e zinco, com predominância do segundo nas camadas exteriores. Desta forma vai encapsular o aço, impedindo a penetração da água e oxigénio em primeiro lugar. Em caso de contacto com água e em situações que normalmente levariam à oxidação do aço, o zinco à superfície cria uma patina que funciona simultaneamente como camada de sacrifício, a qual se vai desgastar prioritariamente, abrandando exponencialmente o processo de corrosão do aço. Este efeito acontece igualmente nas extremidades quando são cortadas ou em zonas de furações e superfícies riscadas.



9: Micrografia típica de uma superfície galvanizada (Popo-ola et al. 2000)



10: Comparação do comportamento à corrosão entre galvanização e pintura (CFSEI 2007)

O método de galvanização utilizado na chapa de aço destinada à produção de perfis e painéis perfilados consiste em desenrolar o aço (fornecido em rolo), introduzindo-o no tanque num processo contínuo de imersão e secagem voltando-o a enrolar, resultando numa camada muito fina da liga aço-zinco mas com uma camada final de zinco mais espessa, totalizando numa espessura global mais optimizada quando comparada com o resultante da simples imersão em tanque. Este processo de imersão contínua é executado com um rendimento elevado (até

200 m/min.) e permite um controlo exacto da espessura final, sendo utilizado para produzir uma variedade de categorias de protecção conforme especificação (de 100 a 600 g/m<sup>2</sup>), embora nem todos sejam compatíveis com os processos de enformagem dos perfis (Popo-ola et al. 2000; AISI 2004).

A classe de protecção normalmente utilizada nos perfis destinados a funções estruturais é a Z275, consistindo numa densidade relativa de 275 g/m<sup>2</sup>, o que equivale a uma camada de cerca de 0,02 mm de espessura de zinco em cada face da chapa protegida. A chapa com protecção galvanizada é fornecida em forma de rolo aos fabricantes de perfis, sendo resistente aos processos de enformagem.

No que diz respeito ao desempenho este tipo protecção tem vindo a ser estudado à várias décadas no Reino Unido e E.U.A., com observação de taxas médias de perda de espessura total a rondar os 0,03 μm/ano para elementos aplicados com isolamento pelo exterior em edifícios situados em diferentes tipos de localização - urbano, rural, marítimo e industrial (CFSEI 2007). Com esta taxa de corrosão é previsível que elementos protegidos com uma camada de 20 μm atinjam uma duração superior a 300 anos. O documento “*Durability of Light Steel Framing in Residential Buildings*” publicado pelo Steel Construction Institute apresenta valores de vida útil conservativos para diferentes cenários de aplicação em edifícios (Popo-ola et al. 2000).

*Tabela 1: Vida útil de concepção para perfis galvanizados Z275 consoante a função em edifícios (Popo-ola et al. 2000)*

Função	Condições de exposição	Duração prevista (anos)
Paredes e pavimentos - isolados	Risco nulo de infiltração e condensação	> 200
Estruturas de cobertura - isoladas	Risco baixo de condensação	100
Estruturas de cobertura - não isoladas	Risco médio de condensação	60
Elementos de fixação para revestimentos exteriores metálicos	Risco baixo de condensação, acumulação de sujidade e poluição	60
Paredes exteriores de preenchimento em estruturas porticadas multi-pisos	Estrutura isolada e risco nulo de infiltração	100
Subestruturas de revestimento exterior em edifícios preexistentes ( <i>over-cladding</i> )	Risco baixo de infiltração, risco médio de condensação	60

É importante reter que a superfície reactiva do zinco é composta por óxidos, carbonatos, cloretos e sulfatos (dependente do ambiente em que se integra) e que, embora os dois primeiros não sejam solúveis com água, o mesmo não acontece com os últimos. No caso das superfícies serem sujeitas a uma contínua lavagem ou utilização em ambientes permanentemente húmidos deve ser prevista uma solução de protecção complementar.

A aplicação em contacto com argamassas com características higroscópicas deve ser evitada, devendo ser tomadas as medidas para que a sua humedificação ocorra ou isolar o aço destes elementos com recurso a membranas ou telas. No contacto com madeiras com tratamento sob pressão, normalmente utilizado para proteger o ataque de xilófagos e a podridão, também devem ser tomadas as devidas precauções pelo risco do produto aplicado conter cobre, metal mais nobre que o zinco e que acelera o processo de corrosão. Pela mesma razão, o contacto com outros metais deve ter em conta a sua posição na série galvânica e volume em causa, existindo a possibilidade de ocorrência de corrosão bi-metálica (CFSEI 2007).

Em alternativa à protecção galvanizada à base puramente de zinco existem ligas compostas por alumínio e zinco que estão disponíveis no mercado internacional com as designações *Galvalume* ou *Zalutite* (Al 55%, Zn 45%) ou *Galfan* (Al 5%, Zn 95%), sendo que os primeiros permitem desempenhos substancialmente superiores em termos de durabilidade (Blanc et al. 1993; GalvInfo Center 2012).

A electrogalvanização consiste da deposição de zinco na superfície do aço com recurso a uma processo

eléctrico, o qual vai criar uma camada de espessura muito reduzida, destinando-se essencialmente à protecção durante armazenagem e manuseamento, utilização em ambientes interiores, em elementos não estruturais e acessórios.

Outro método de protecção do aço é a projecção de zinco líquido a quente que no caso dos perfis enformados a frio é somente utilizada em casos em que os elementos sejam sujeitos a soldadura. Esta protecção, também denominada de metalização, resulta numa superfície porosa constituída por gotículas de zinco sobrepostas. Uma vez que conduz à acumulação da água o mecanismo de protecção é somente de sacrifício, devendo ser complementado com um sistema de pintura adequado em ambientes expostos.

Os sistemas de pintura são utilizados para um efeito meramente estético ou como protecção adicional para elementos sujeitos a ambientes especialmente corrosivos, evitando a exposição directa do aço ou superfície galvanizada à água e oxigénio.

A aplicação de pintura sobre superfícies galvanizadas obriga a uma cuidada preparação das mesmas, pela razão de poderem conter depósitos de sais de zinco depois de armazenadas durante um longo período ou expostas ao ambiente exterior. Deve ser executada uma lavagem em duas fases, a primeira com detergente e esponja abrasiva e a segunda com projecção de água sob pressão.

O primário deve ser adequado para superfícies galvanizadas e de compatibilidade assegurada com a pintura a aplicar. Os primários de base acrílica são os que oferecem melhor desempenho para aplicação em obra. Após aplicação deste os elementos não devem ser expostos ao ambiente durante um período prolongado (Popo-ola et al. 2000).

Sistemas de pintura que são normalmente utilizados para a protecção de aço galvanizados são baseados em policloreto vinílico (PVC), fluorosurfactante (PFC), poliéster, acrílicos, epóxidos e poliuretanos.

## **2.5 Produtos de aço enformados a frio**

Os produtos de aço produzidos pelos processos anteriormente descritos podem ser distinguidos em dois grupos em função da aplicação e comprimento da secção: perfis e chapas perfiladas.

### **2.5.1 Perfis estruturais**

Os perfis enformados a frio podem ser abertos, fechados ou compostos. As secções de utilização mais comum na construção LSF são em U, C, Z,  $\Sigma$  e  $\Omega$ , sendo muitas vezes a sua designação anglo-saxónica relativa à função ou configuração do elemento (ex.: *channels*, *purlins*, *hat*). Para além destes são utilizadas secções compostas obtidas por soldadura contínua de resistência eléctrica com configurações em I, T ou outras. A enformagem a frio também permite a produção de membros tubulares que numa primeira fase são perfilados com secção circular (CHS) com recurso a soldadura contínua, podendo seguidamente ser transformadas para secções rectangulares (RHS) e quadradas (SHS) com arestas boleadas.

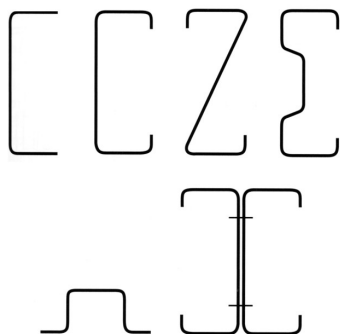
São igualmente utilizados elementos de aço de morfologia simples, com espessura idêntica à dos perfis e a mesma protecção à corrosão, como a cantoneira, normalmente utilizada para a ligação entre elementos não complanares ou a fita de aço, utilizada em ligações complanares, como dispositivo de contraventamento e para aumentar a rigidez da estrutura.

Alguns dos perfis integram furações na alma permitindo a passagem de tubagens ou para facilitar a montagem com parafuso passante.

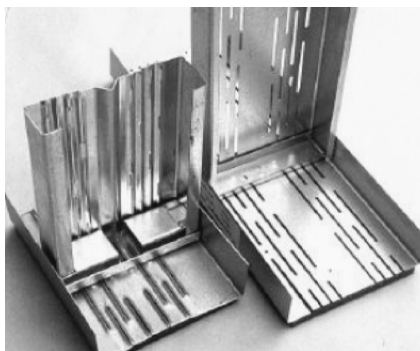
Existem também elementos que integram punções longitudinais, concebidos nos países nórdicos europeus, com o intuito de reduzir o efeito de ponte térmica, permitindo valores de coeficiente transmissão térmica de

0,25 W/m<sup>2</sup>K para componentes da envolvente construtiva sem isolamento térmico pelo exterior. Embora já de utilização em funções não estruturais em fachadas cortina, foram concebidos para estruturar paredes portantes em edifícios de três a quatro pisos, tendo sido desenvolvidos métodos de cálculo, ainda a aguardar regulamentação (Veljkovic & Johansson 2006).

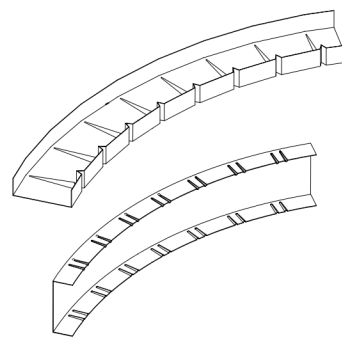
De concepção e produção norte-americana existem perfis produzidos para a construção de superfícies curvas verticais ou coberturas em arco (Radiustrack 2010).



11: Perfis de utilização mais comum: U, C, Z, Σ, I composto



12: Perfis com punções longitudinais (Veljkovic & Johansson 2006)



13: Perfis U para superfícies curvas (Radiustrack 2010)

### 2.5.1.1 Oferta nacional

Em Portugal os produtos existentes no mercado são fornecidos pela ArcelorMittal (representante baseado em Espanha), Constálica, S.A. (dedicada a estruturas de armazenamento e industriais) e Perfisa, S.A.. Este último é hoje em dia o principal fornecedor destes produtos para construção residencial e comercial de baixa densidade, dedicando-se exclusivamente à perfilagem e quinagem de produtos de aço e alumínio, não incluindo nos seus serviços o tratamento da matéria prima, a qual é fornecida com protecção galvanizada na forma de rolos de chapa com a largura específica para a produção dos diversos perfis.

A oferta deste fornecedor é de certo modo diferente daquela que é mais comum nos países onde este tipo de produtos são produzidos há já várias décadas, sendo reflexo da adequação estratégica a um mercado nacional até ao momento relativamente limitado. Um dos exemplos é a inexistência no catálogo do perfil Z, o qual é referido por diversos autores (Hancock et al. 2001; W. W. Yu & LaBoube 2000; Rhodes & Lawson 1992) como um dos produtos base para funções como montantes verticais e vigotas de pavimento e cobertura. Não obstante é necessário referir que este perfil pode ser substituído para tais funções pelo perfil C, sendo que a única desvantagem deste é ser, de uma certa forma, menos prático para o aparafusamento no banzo (pelo facto destes serem simétricos).

No Anexo B apresentam-se tabelas de dimensões e características dos perfis estruturais fornecidos pela Perfisa, S.A..

### 2.5.2 Chapas perfiladas

Noutro grupo englobam-se os painéis ou chapas perfiladas que, com diferentes configurações, larguras e formas de encaixe ou ligação disponíveis, podem ser utilizados na constituição de planos ou superfícies curvas com diversos níveis de complexidade.

As chapas perfiladas são de utilização frequente em soluções de cobertura e revestimento vertical por serem resistentes, leves e de fácil montagem e fixação. São fornecidas com diferentes acabamentos e protecção à corrosão, podendo ser compostas em formato *sandwich*, com núcleo preenchido com materiais como o



poliestireno expandido, poliestireno extrudido ou espumas fenólicas, por forma a constituírem uma solução com reduzida transmissão térmica.

Na execução de componentes horizontais (pavimentos e coberturas) estes elementos são capazes de fornecer resistência tanto a cargas verticais de utilização, como aos esforços horizontais (vibrações sísmicas, vento ou impactos) desde que devidamente fixos entre si e à estrutura portante. Nesta função são utilizados como solução exclusiva ou compósita, em conjunto com uma lâmina de betão armado executado *in situ*, melhorando em rigidez, mas com a desvantagem de se constituir uma solução com elevado peso-próprio, característica que pode ser amenizada com a introdução de agregados leves.

No caso de aplicação em paredes, para além de servirem de elemento de revestimento, contribuindo para solução de estanquidade e impermeabilização, podem também providenciar a função de diafragma, evitando a utilização de dispositivos dedicados para o contraventamento da estrutura.

Estes elementos planares podem ser utilizados activamente como componentes da estrutura por forma a evitar a deformação dos elementos lineares (vigas e pilares) (W. W. Yu & LaBoube 2000).

Em termos de formato de secção os tipos mais comuns são de perfil ondulado e trapezoidal, embora existam painéis de configuração mais complexa (com indentações tridimensionais) com função decorativa ou construtiva/funcional.

### **2.5.3 Perfis não estruturais**

Para além dos perfis estruturais que são dimensionados para as funções de resistência a cargas verticais e horizontais dos edifícios, na construção “leve” são também utilizados perfis de espessura mais reduzida para a compartimentação do espaço interior e fixação de revestimentos de parede e tectos.

Os perfis são constituídos por chapa com tratamento galvanizado ou electrogalvanizado e espessuras totais entre 0,4 e 0,8 mm.

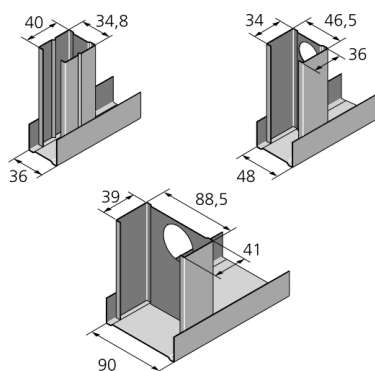
Em paredes de compartimentação são utilizados perfis em forma de C para a função de montantes e em forma de U como travessas horizontais e canais de pavimento e tecto. Os montantes normalmente integram furações para a passagem de tubagens.

Estes sistemas de compartimentação permitem espessuras de parede a “limpo” (sem revestimento) entre os 36 e 100 mm, dependendo do fabricante e categoria.

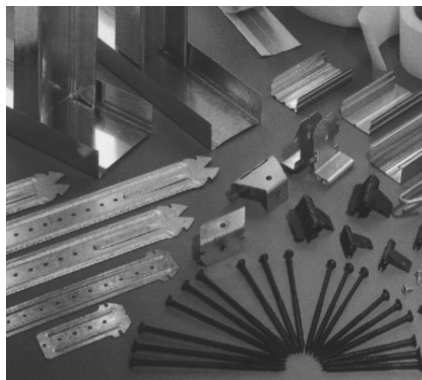
Nos tectos falsos são utilizados elementos como calhas para aparafusamento de placas de revestimento ou encaixe para sistemas de tecto falso desmontável, assim como todos os acessórios que permitem a suspensão ou fixação directa ao pavimento superior.

Outro exemplo de elementos enformados a frio com função não portante são os perfis resilientes. Estes são utilizados para diminuir a transferência da vibração sonora entre compartimentos. São fixos aos perfis estruturais em paredes e tectos ou até mesmo aplicados como ripado para pavimentos, no caso de utilizações específicas. A espessura utilizada é de cerca de 0,5 mm e as secções baseiam-se em perfis Z ou  $\Omega$  com 16 mm de altura de secção (Way & Couchman 2008). Podem conter furações com diferentes diâmetros, punções longitudinais ou outras formas mais complexas, possibilitando uma absorção das vibrações mais abrangente em largura de banda do espectro sonoro.

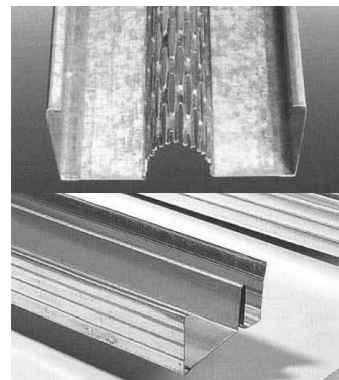
Outro produto com a mesma função é o perfil de montante com comportamento elástico. Este é concebido para a execução de paredes meias sem ser necessário recorrer a paredes duplas ou perfis resilientes.



14: Seleção de perfis não estruturais com diferentes espessuras de cavidade (Saint-Gobain Placo Iberica 2011)



15: Elementos não estruturais e acessórios, utilizados em paredes e tectos (Perfisa s.d.)



16: Perfis de parede com dissipação acústica (LSK 2005)

## 2.6 Produtos e materiais relacionados

Nos sub-capítulos seguintes são abordados os produtos de fixação e revestimento que são utilizados nas soluções construtivas com perfis enformados a frio na constituição dos componentes dos edifícios.

### 2.6.1 Fixações

A questão das ligações é um dos factores que mais influenciam a competitividade das soluções com aço enformado a frio. Quanto mais eficiente e simples for a montagem dos elementos mais económica se torna a construção. Em termos de orçamento global, a redução no custo relativo à mão-de-obra pode ser reconduzida para a aplicação de materiais de melhor qualidade, normalmente mais dispendiosos.

Estão disponíveis no mercado diversas soluções que são utilizadas tendo em conta condicionantes como as cargas impostas, material e espessura, resistência de ligação necessária, configuração do perfil, equipamento e material disponível, localização da execução (obra ou em fábrica), custo, experiência da mão-de-obra, requisitos de durabilidade e regulamentação aplicável.

De uma forma geral os sistemas de fixação utilizados na construção com perfis de aço enformados a frio podem ser agrupados em duas categorias: construção em obra e pré-fabricação industrial. Os métodos de fixação aplicáveis actualmente são: parafuso auto-perfurante, parafuso passante, rebites, pregos, agrafos, soldadura, colagem e *clinchng* (LSK 2005); embora nem todas estas opções sejam utilizáveis em obra, sendo limitadas à execução de componentes pré-fabricados. Na fixação de elementos em obra são maioritariamente utilizadas as ligações com parafuso auto-perfurante e parafuso passante.

#### 2.6.1.1 Parafuso auto-perfurante

Os parafusos auto-perfurantes são utilizados nas ligações entre dois elementos enformados a frio e na fixação dos painéis de revestimento. São normalmente designados pelo diâmetro, comprimento, tipo de cabeça, tipo de ponta, cabeçote (chave), passo de rosca e material ou revestimento.

Na construção LSF são utilizados cerca de cinco tipos de parafusos, especificados segundo os vários materiais que fazem ligação: aço e aço, aço e aço para sobreposição de revestimento, revestimento estrutural e aço, gesso laminado e aço, gesso laminado e aço em perfis não estruturais.

Os diâmetros disponíveis enquadram-se entre n.º 6 (3,5 mm) e n.º 14 (6,4 mm), sendo os n.º 6, 8 e 10 mais utilizados para fixação de revestimentos e chapas e o n.º 14 para ligações estruturais.

Tabela 2: Relação entre designação, diâmetro do corpo do parafuso (LSK 2005)

N.º de parafuso	6	7	8	10	12	14
Diâmetro nominal (mm)	3,50	3,84	4,16	4,83	5,49	6,35

A oferta em termos de liga metálica consiste em aço carbónico com protecção galvanizada (com 0,003 de espessura) ou revestimento fosfatado para a fixação do gesso laminado. Existem modelos em aço inoxidável, embora a sua utilização deva ter em conta a possibilidade de favorecer a ocorrência de corrosão bi-metálica.

O comprimento dos parafusos é medido conforme o modelo.

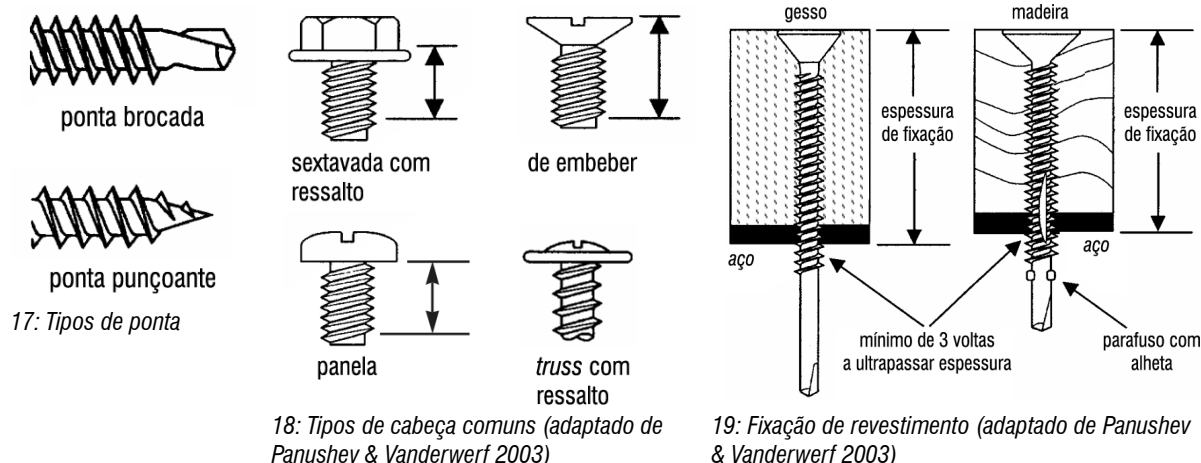
Nas ligações entre perfis estruturais (aço-aço) são utilizados parafusos auto-perfurantes e auto-roscantes de cabeça sextavada com ressalto DIN 7504K. Este modelo integra a ponta em broca, permitindo a abertura do próprio orifício, não sendo necessária furação prévia. O comprimento da ponta não deve ser menor que a espessura do material a furar, havendo modelos com 3, 6 ou 12 mm. O parafuso deve ser especificado de forma a que ultrapasse um mínimo de três voltas para além da espessura do material, num mínimo de 9,5 mm, sendo o comprimento habitual entre 12,7 mm e 76 mm, ainda que hajam modelos até 230 mm, para fixação de painéis *sandwich* e outros elementos de grande espessura. Estes parafusos não utilizam porca, embora existam modelos que integram anilha vedante para a fixação de revestimentos exteriores. Nestas ligações (aço-aço) os parafusos devem ser instalados com uma distância mínima entre eixos de 13 mm (NAHB 1997).

Na fixação entre perfis ou para chapa no mesmo plano em que é prevista a fixação de revestimento, são utilizados parafusos com diâmetro n.º 6 ou 8 com cabeça “truss” com ressalto ou panela, chave Philips e igualmente com ponta brocada. Estão disponíveis com comprimentos de 9,5 a 25 mm e protecção galvanizada.

Na fixação dos painéis de revestimento estrutural são utilizados parafusos auto-perfurantes com cabeça de embeber para chave Philips e alhetas incorporadas. Estas últimas são posicionadas junto à ponta brocada e têm a função de aumentar o diâmetro do furo, por forma a implementar uma folga mínima para permitir a oscilação dimensional dos painéis devido a alterações higrotérmicas. Os diâmetros utilizados são o n.º 8 e 10 e comprimentos entre 25 e 45 mm. A fixação deve ser executada à face ou com uma penetração máxima em relação ao plano do painel de 2 mm para o interior do painel. A cabeça do parafuso deve ter um diâmetro mínimo de 7 mm e devem ser instalados com uma distância mínima entre eixos de 9 mm (NAHB 1997) .

A fixação de painéis de gesso laminado pode ser executada com parafuso semelhantes aos anteriores, sendo neste caso sem alheta e de diâmetro n.º 6. Para além da ponta brocada, podem ser também utilizados com ponta punçoante em caso de aplicação em perfis não estruturais com espessura máxima de 0,8 mm. Os comprimentos utilizados são entre 25 e 45 mm, dependendo da espessura e número de placas.

A ligação por aparafusamento entre quaisquer dois elementos dever ser executada por forma a não resultar qualquer folga entre estes. Embora seja possível e por vezes necessária a remoção e reposição do parafuso, a nova fixação deve ser executada por forma a não causar danos no parafuso ou furação.

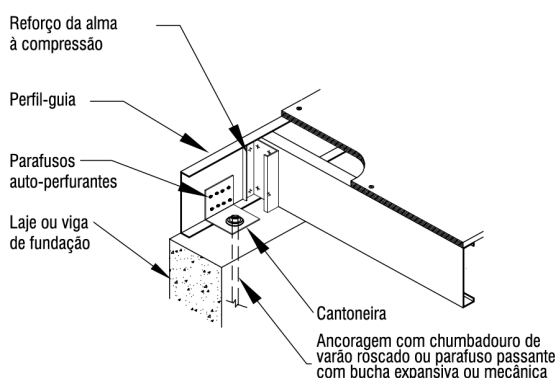


### 2.6.1.2 Parafuso passante

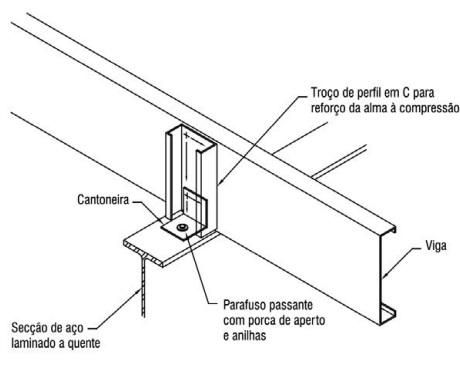
O parafuso passante é utilizado na construção com perfis enformados a frio para a ancoragem a fundações, paredes e pavimentos monolíticos, assim como na fixação a elementos de aço laminado a quente.

A ancoragem pode ser feita através da prévia introdução nos elementos de betão executados *in situ* de chumbadouros em varão roscado ou fazendo recurso a buchas mecânicas ou químicas expansivas no caso de instalação em betão já curado. O distanciamento mínimo entre eixos de furações deve corresponder ao valor correspondente a três diâmetros de parafuso e a distância à extremidade da chapa deve ser no mínimo equivalente a uma vez e meia do diâmetro do mesmo.

Nas ligações laterais a pavimentos ou outros elementos de betão existem condições mínimas que a base deve garantir. Deve-se constituir como um maciço homogéneo sem presença de ocos e uma superfície com largura mínima de 101,6 mm e altura de 152,4 mm. As ancoragens devem ser executadas numa espessura de betão a partir de 178 mm e com uma distância mínima à face posterior de 63,5 mm. O parafuso ou varão roscado deve ter um diâmetro igual ou superior a 12,7 mm e a porca de aperto e anilha (colocada entre os perfis e o elemento de aperto) um diâmetro mínimo exterior de 31,75 mm. Este tipo de fixação necessita de furação prévia, não devendo o diâmetro desta no elemento enformado a frio exceder em 3,17 mm o calibre do parafuso. A execução de ancoragens para suporte de pavimentos é executada com uma distância máxima ao eixo de 1 m (Panushev & Vanderwerf 2003).



20: Exemplo de fixação a elemento de betão armado com recurso a parafuso passante (NAHB 1997)



21: Exemplo de fixação a secção de aço laminado a quente com recurso a parafuso passante (NASFA 2000)

### 2.6.1.3 Rebite

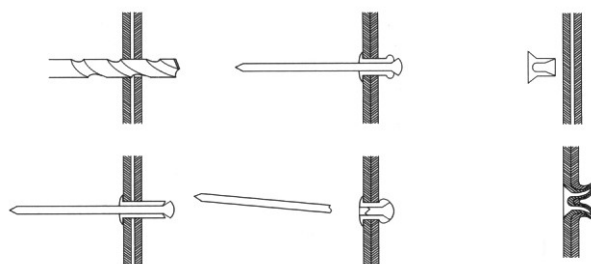
O rebite é um tipo de fixador que assegura a “fixação” por deformação do próprio elemento. Existem dois tipos de rebite utilizados na construção com enformados a frio, os quais são classificados pela forma de instalação.

O rebite cego permite a aplicação com acesso apenas pela face exterior, embora exija a furação prévia. Este é composto por duas peças: a manga e o fuso. Existem vários sub-gêneros deste tipo de rebite, sendo a instalação executada “puxando” o fuso, o que provoca o esmagamento da manga na face oposta, assegurando a fixação. Estes elementos são pouco intrusivos em espessura na face exposta, facilitando a fixação de painéis de revestimento sobre estes. A principal desvantagem dos rebites cegos é exactamente a necessidade da furação, multiplicando as fases da operação de fixação, podendo tornar o processo dispendioso.

O rebite de pressão ou percussão constitui-se apenas por um componente sólido, exige o acesso pelas duas faces do elemento a fixar e não necessita normalmente de furação prévia. A utilização desta solução é de pouca praticabilidade em obra, reservando-se normalmente para a execução de componentes em fábrica.

Este tipo de fixação não permite uma remoção simples, sendo utilizados na ligação de elementos da estrutura, embora excluindo a execução de elementos treliçados.

Os materiais de que podem ser constituídos são o aço-carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre, monel (liga de níquel e cobre), sendo possível ser dotados de protecção para a corrosão por galvanização (LSK 2005).



22: Quatro fases da fixação com rebite cego, rebite de pressão (LSK 2005)

### 2.6.1.4 Cavilhas

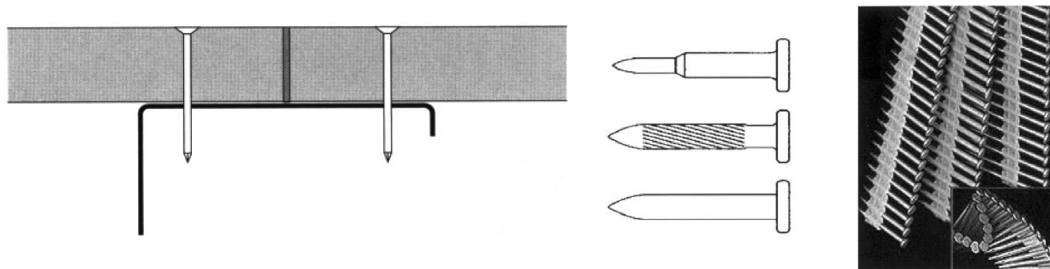
A fixação com recurso a cavilhas não é de utilização muito usual nas execução de estruturas com perfis enformados a frio. Esta solução, similar à utilização de pregos na construção em madeira, é utilizada maioritariamente na fixação de painéis de revestimento. São normalmente aplicadas com recurso a pistolas pneumáticas ou portáteis a gás. Estes elementos são concebidos com incrustações em espiral no corpo por forma a favorecer a penetração e fixação à chapa de aço (Panushev & Vanderwerf 2003). Em termos de dimensões são disponibilizadas com comprimentos entre 13 e 203 mm e diâmetro de cabeça entre os 2,5 e 6 mm, sendo os diâmetros mais comuns enquadrados entre 2,5 e 3,7 mm. O comprimento deve ser especificado por forma a exceder em 6 mm a espessura do material. Podem ser revestidas com galvanização, electro-galvanização ou cobertura polimérica, dependendo do grau de protecção à corrosão exigido.

A vantagem em relação aos parafusos auto-perfurantes é a rapidez de aplicação, a qual pode ser 10 vezes mais rápida que os primeiros. Em relação a estes, embora a resistência seja menor, este factor pode ser compensado com a utilização de uma maior quantidade de cavilhas. O custo global, no entanto, é 5 vezes superior (LSK 2005).

Existe também o risco de ocorrência de ruídos produzidos pela vibração da estrutura, nomeadamente em pavimentos, pelo que a aplicação deve ser executada seguindo estritamente as indicações dos fabricantes e com

um controlo de qualidade adequado (Panushev & Vanderwerf 2003).

Não é prevista a utilização de cavilha na concepção e execução de elementos treliçados devido ao risco de se soltarem devido à aplicação de cargas dinâmicas cíclicas.



23: Fixação com cavilhas, exemplos de cavilha, magazines (LSK 2005)

### 2.6.1.5 Soldadura

A utilização de soldadura é geralmente limitada a trabalhos de oficina, por razões de economia de recursos em obra e controlo de qualidade.

O aço galvanizado permite a união em soldadura por pontos ou contínua. A utilização deste tipo de ligações pode tornar-se interessante economicamente na fabricação de painéis de parede ou cobertura como treliças e asnas.

Outra das razões da não execução de operações de soldadura em obra tem a ver com a segurança dos trabalhadores, pelo facto da operação de soldadura volatilizar a camada de zinco e provocar a libertação de fumos, sendo mais complexo introduzir os equipamentos adequados para desenfumagem e ventilação numa situação *in situ* (Davies 2000; LSK 2005).

### 2.6.1.6 Colagem

Os sistemas adesivos são utilizados como fixação complementar às soluções mecânicas, por forma a aumentar o espaçamento e reduzir a quantidade e peso deste. Não podem, no entanto ser utilizados como solução exclusiva. A utilização mais comum é serem utilizados em conjunto com as fixações com cavilhas em pavimentos, por forma a reduzir as vibrações. Na sua aplicação devem ser postos em consideração factores como as condições térmicas e níveis de humidade. Uma das desvantagens é a de que, ao contrário dos sistemas mecânicos, a inspecção visual não é possível (LSK 2005).

### 2.6.1.7 Clinching

Este método consiste na união de dois elementos metálicos coplanares sem recurso a um terceiro elemento. Isto é executado através da deformação da própria chapa de aço com recurso a uma máquina pneumática, sendo necessário o acesso às duas faces. Este processo é normalmente limitado a um processo fabril, devido essencialmente à dimensão e reduzida manobralidade do equipamento que o executa. Devido ao facto da execução ser bastante mais rápida que o aparafusamento (menos de um segundo) e pelo facto de não implicar consumíveis contem o potencial para se tornar muito competitivo economicamente. Também tem a vantagem de não produzir qualquer ressalto na superfície exposta, permitindo uma perfeita fixação do revestimento. A remoção da fixação é somente possível através do corte ou furação (LSK 2005).

## **2.6.2 Revestimento estrutural**

Após concluída a montagem do esqueleto estrutural de uma construção LSF, esta é revestida com diversos materiais que têm como função responder aos diversos requisitos exigenciais de uma construção.

No que diz respeito ao revestimento exterior, que tem como função garantir a estanquidade, impermeabilização e isolamento térmico é antecedido à fixação de um sub-revestimento que lhe serve de suporte, assim como garante uma primeira protecção estanque e desempenha a função estrutural de contraventamento, permitindo a solidarização do conjunto e uma distribuição uniforme das cargas. Produtos que são utilizados com esta função são: painéis de contraplacado de madeira, painéis de partículas de madeira orientadas (OSB), painéis compósito de fibras de madeira e cimento Portland ou chapas metálicas. A segunda opção é a mais comum, sendo um produto que permite um elevado rendimento em relação ao custo para a função em causa.

Os painéis podem ser pregados, agrafados, aparafusados ou rebitados directamente aos elementos enformados a frio embora, para funções resistentes, os dois últimos métodos sejam os mais comuns, obrigando os rebites à pré-furação.

Podem também servir como elemento de sub-revestimento dos pavimentos, sendo fixos sobre a malha estrutural dos mesmos e, anteriormente à aplicação do revestimento final, servindo de plataforma para a execução das paredes e pisos superiores.

Enquanto o Eurocódigo 3 é o documento regulamentar de referência a nível europeu para a concepção e dimensionamento das estruturas metálicas com perfis enformados a frio, não introduz qualquer metodologia para o cálculo da resistência ao corte de paredes e funcionamento como diafragma com recurso a painéis de revestimento estrutural de derivados de madeira (como o OSB), limitando-se ao uso de chapa metálica lisa, perfilada ou perfurada (GEN 2006; Silvestre 2011). A utilização do OSB como diafragma de parede pode ser calculada com recurso aos métodos simplificados de cálculo para a resistência a acções horizontais patentes no Eurocódigo 5 (IPQ 2000), orientado para cálculo de estruturas de madeira. Quando transposto para utilização mista com estrutura de perfis de aço leve conduz, no entanto, a valores globais muito reduzidos da resistência ao corte da parede, não representando o desempenho real destes elementos.

Em termos práticos este documento regulamentar (EC5) estipula regras de utilização como o espaçamento máximo dos parafusos para fixação dos painéis (150 mm ao longo dos bordos e 300 mm nas colunas interiores), espaçamento mínimo ao bordo (8 mm ou equivalente à espessura do painel) e penetração mínima do parafuso (à face ou até ao máximo de 2 mm para o interior do painel).

Um dos documentos que melhor representa as opções para reforço aos esforços horizontais em paredes de diafragma é o “Shear Wall Design Guide” publicado pela AISI em 1998, o qual contém um resumo de resultados experimentais realizados por vários autores com painéis de contraplacado, OSB, chapa de aço e diagonais em X (Brockenbrough 1998).

### **2.6.2.1 Contraplacado de madeira**

Os painéis de contraplacado de madeira são formados por camadas de madeira contrafiadas, com as fibras geralmente formando ângulos de 90° entre as distintas camadas. O número de fiadas é normalmente ímpar, num mínimo de 3 para painéis de 4 mm de espessura.

Quando as folhas de madeira interior são todas da mesma espécie denomina-se “contraplacado natural”, quando são utilizadas espécies distintas é referido como “contraplacado artificial”. As espécies mais comuns

utilizadas na constituição são o mogno e o pinho. A densidade do painel corresponde à densidade da madeira a partir da qual o contraplacado é feito, sendo o valor mais comum de 550 kg/m<sup>3</sup>.

A classificação europeia baseia-se na norma EN 314-2 (IPQ 1997), que faz a classificação segundo localização de aplicação: ambiente exterior não coberto (WBP e BR), ambiente exterior coberto (semi-exterior, MR), ambiente interior seco (INT). Outros factores que servem de distinção são: espécie ou grupo de espécies das madeiras utilizadas, qualidade das chapas de madeira das duas superfícies e tipo de colagem. A classificação em Portugal mais comum tem como base a americana e define quatro tipos de contraplacado: o marítimo (colado com resinas sintéticas, próprio para exteriores), decorativo (para interiores), de cofragem (revestido a filme fenólico), anti-derrapante (revestido a filme fenólico anti-derrapante) e suporte de solos. Além destes, a classificação americana refere ainda os estruturais, os interiores colados com colas para exteriores e os exteriores especiais ou recobertos (Mendonça 2005).

As dimensões standardizadas na Europa são de 1050 a 1500 mm de largura e comprimentos entre 1200 a 3600 mm. As espessuras disponíveis enquadram-se entre 4 a 50 mm, sendo as de utilização mais comum na construção LSF de 12 e 18 mm (Mendonça 2005; Metsäliitto Cooperative sem data; Silvestre 2011).

### **2.6.2.2 Painel de partículas de madeira orientadas**

Este material, que é conhecido pela abreviação da designação anglo-saxónica OSB (*Oriented Strand Board*) consiste num derivado de madeira composto por lascas com cerca de 100 mm de comprimento, orientadas segundo direcções arbitrárias e que são consolidadas com recurso a resinas (normalmente fenólicas) e calor. Este conjunto é prensado, adquirindo uma elevada resistência e estabilidade em todos os eixos resultando, após o corte em dimensões standardizadas, em painéis densos, dimensionalmente estáveis e duráveis. O que diferencia este tipo de produtos dos aglomerados de partículas tradicionais é o facto de na sua fabricação não serem inseridas partículas de dimensão muito reduzida (serradura).

A sua produção comercial tem origem no Canadá com a utilização de madeira de Bétula e Álamos. Hoje em dia são utilizadas madeiras derivadas de árvores de crescimento rápido proveniente de florestas sustentáveis e baixo valor comercial para a construção resultando num produto pouco dispendioso e reduzido impacto ambiental. O processo de fabricação utiliza cerca de 90% da matéria prima (tronco) para a produção do produto em concreto, enquanto o restante (casca, serradura e outros resíduos) são encaminhados para a produção de painéis de partículas e produção energética (biomassa) (JULAR sem data).

No que diz respeito às características mecânicas apresenta resistências semelhantes às do contraplacado, nomeadamente em propriedades como a resistência à flexão, tracção e compressão. Devido à sua natureza anisotrópica e heterogénea possui um resistência ao corte superior a este material.

Devido à inclusão da resina na sua constituição e de cera na sua superfície apresenta uma boa resistência à humidade e à degradação durante a obra e em serviço. Adicionalmente, devido ao baixo coeficiente de transmissão térmica, é usado como complemento à solução de isolamento térmico.

No que diz respeito às variantes de fabricação e aplicação existem várias formas de categorizar os produtos existentes no mercado, dependendo do contexto geográfico. As normas americana (PS2-92) e canadiana (CSA Standard O325.0.) classificam o OSB quanto à finalidade (F – *floor*, R – *roof*, W – *wall*), tipo (1,2,3) e classe (A, B,C), enquanto a norma europeia EN 300 (IPQ 2003) classifica segundo condições higrométricas e classe resistente subdividindo segundo 4 categorias:



- OSB/1 - Painéis comuns para utilização interior e em condições secas;
- OSB/2 - Painéis para suporte de carga e utilização em condições secas;
- OSB/3 - Painéis para suporte de carga e utilização em condições húmidas;
- OSB/4 - Painéis de elevada resistência para suporte de carga e utilização em condições húmidas.

As condições higrométricas são definidas no Eurocódigo 5-1-1 (IPQ 2000) que estipula “condições secas” como classe de serviço 1, com humidade relativa superior a 65% à temperatura ambiente de 20 °C durante um determinado período mínimo e “condições húmidas” como classe de serviço 2, com humidade relativa superior a 85% à temperatura ambiente de 20 °C durante um determinado período mínimo.

As classes utilizadas para a construção LSF são o OSB/3 e OSB/4, sendo utilizadas espessuras mínimas de 11 mm para as paredes e coberturas e de 18 mm para os pavimentos.

Em termos de dimensão dos painéis, estes são produzidos para coincidir com malhas estruturais com dimensões aproximadas aos 600 mm de eixo a eixo, com larguras enquadradas entre os 1196 e os 1250 mm e comprimentos comuns entre 2400 e 2800 mm.

Segundo Silvestre, embora a resistência ao corte da parede uma de OSB de 11 mm seja inferior à do contraplacado de 12 mm (17% superior), tendo em conta a diferença de espessura (9%), pode afirmar-se que ambos têm uma resistência ao corte semelhante (Silvestre 2011).

A norma EN 12369-1: 2001 “*Wood-based panels – characteristic values for structural design - Part 1: OSB, particleboards and fibreboards*” (BSI 2001) especifica valores característicos para as diversas classes de OSB.

*Tabela 3: Propriedades mecânicas e físicas do OSB classe 3 (Kronoply) (JULAR sem data)*

Densidade (11 - 18 mm)	640 kg/m <sup>3</sup>
Resistência à flexão na direcção longitudinal	30 MPa
Resistência à flexão na direcção transversal	15 MPa
Módulo de Elasticidade na direcção longitudinal	7500 MPa
Módulo de Elasticidade na direcção transversal	3500 MPa
Resistência à tracção perpendicular inicial	0.42 MPa
Inchamento em espessura em 24 h	12 %
Humidade de equilíbrio	9 %
Condutividade térmica	0,12

### **2.6.2.3 Painel composto de fibras de madeira e cimento Portland**

Este produto resulta da composição de partículas de madeira resinosa com cerca de 2 a 6 mm de comprimento (21%) aglutinadas com uma pasta à base de cimento Portland (66%), água (11%) e outros compostos (2%) como o silicato de sódio e o sulfato de alumínio (VIROC sem data).

O tom natural é o cinzento, devido essencialmente ao componente cimentício, embora este factor possa ser controlado através da composição ou adição de pigmentos por forma a obter outros tons.

Em termos de acabamento pode ser fornecido bruto, lixado (com as partículas de madeira à vista) e com pré-

aplicação integral de primário branco. Em complemento podem ser aplicados uma ampla variedade de revestimentos decorativos e protectores como pintura, verniz, revestimento cerâmico ou sistemas de isolamento pelo exterior.

As dimensões mais comuns disponíveis no mercado são: 3000x1250 mm e 2600x1250 mm com espessuras enquadradas entre os 8 e 32 mm.

Segundo um dos fabricantes nacionais a distância de furação ao bordo deverá ser no mínimo de 35 mm (VIROC 2011), facto que, para assegurar o distanciamento nas juntas de painéis, obriga à duplicação de perfis ou utilização de um elemento com secção adequada, como é exemplo um perfil  $\Omega$  com altura de alma de 102 mm .

*Tabela 4: Propriedades mecânicas e físicas do painel composto de fibras de madeira e cimento Portland (VIROC sem data)*

Densidade (11 - 18 mm)	1350 kg/m <sup>3</sup>
Tracção paralela ao plano	5,00 MPa
Tracção perpendicular ao plano	0,60 MPa
Tracção por flexão	10,5 MPa
Compressão paralela ao plano	15,0 MPa
Compressão perpendicular ao plano	40,0 MPa
Esforço transversal	1,00 MPa
Inchamento em espessura em 24 h	1,5 %
Humidade de equilíbrio	9 - 12 %
Condutividade térmica	0,23

#### **2.6.2.4 Chapa metálica**

A utilização de chapa de aço como revestimento estrutural pode tomar as seguintes formas: chapa lisa, chapa perfilada ou painéis *sandwich*. Quando aplicadas no lado exterior da estrutura as duas primeiras opções obrigam a que a envolvente construtiva seja complementada com camadas que ofereçam os níveis adequados de isolamento térmico e isolamento acústico que são requisitos deste componente.

Conforme descreve Yu a utilização de chapa lisa para contraventamento de estruturas com perfis de aço enformados a frio em edifícios residenciais e comerciais de baixa estatura é prevista pelos documentos norte-americanos *International Building Code* de 2006 e norma AISI S213 de 2007 (C. Yu & Chen 2011). Esta utilização é igualmente prevista pelo Eurocódigo 3 Parte 1-3 (CEN 2006), sendo integrada nesse documento uma metodologia de cálculo.

Desde dos anos 40 que se têm protagonizado campanhas experimentais nos E.U.A. com espessuras enquadradas entre os 0,4 e 2,8 mm (W. W. Yu & LaBoube 2000) Investigações mais recentes, em que foram executados ensaios dinâmicos monotónicos e cíclicos, concluem que é possível obter um desempenho satisfatório com espessuras inferiores a 1 mm, sendo possível melhorar o comportamento utilizando perfis com espessura superior a 1,3 mm e otimizando a pormenorização das ligações (C. Yu & Chen 2011).

Por forma a prevenir a corrosão acelerada destes elementos os mesmos devem ser dotados de uma protecção adequada, como a galvanização, à semelhança dos perfis da estrutura.

A chapa de aço utilizado para funcionamento como diafragma deve ser de categoria não inferior à dos perfis.

Na eventualidade de aplicação de chapas de aços inoxidáveis deve ser dada especial atenção na concepção dos pormenores de ligação, ocorrendo o risco de corrosão bi-metálica devido à presença de cromo e níquel na composição dos mesmos, metais que estão numa posição muito superior ao zinco na série galvânica.

### **2.6.3 Revestimento não estrutural interior**

No interior das paredes exterior e nas faces das paredes interiores são utilizados revestimentos apainelados, sendo a situação mais comum a utilização de painéis de gesso laminado. Embora possam ser utilizadas outras soluções (como madeira e derivados, painéis de cimento laminado, painéis de fibras de madeira com cimento) é aconselhável que seja aplicado pelo menos uma folha de gesso laminado (ou material com propriedades equivalentes) em cada lado do paramento, caso o material empregue não cumpra os requisitos de protecção contra ao fogo do elemento de compartimentação em questão. A aplicação de revestimentos tabuados, dependendo da direcção pretendida, pode exigir a fixação prévia de elementos de apoio adicionais.

O gesso laminado consiste num painel formado por um núcleo de gesso e revestimento com papel nas duas faces predominantes. Estes produtos são recorrentemente utilizados no revestimento interior de paredes e tectos, assim como elemento constituinte de pavimentos em formas de construção do tipo “leve”.

Para além do gesso e papel são utilizados outros materiais que introduzem diferentes características e permitem melhorar o desempenho às diferentes exigências dos componentes da construção. A listagem seguinte resume o tipo de produtos disponibilizados pela oferta comercial corrente (Way & Couchman 2008):

- painel acústico – é constituído por núcleo de gesso com densidade elevada e revestido com papel espesso;
- painel de protecção contra fogo – incorpora aditivos como a fibra de vidro ou são laminados com uma folha de metal no núcleo, assegurando a integridade por um período mais longo, em caso de exposição a temperatura elevadas;
- painel hidrófugo – para utilização em zonas húmidas ou não aquecidas como as instalações sanitárias, cozinha, garagens domésticas. Integra aditivos repelentes de água na composição do gesso e papel de revestimento que, embora impeçam o ingresso da água líquida favorecem a permeabilidade ao vapor de água, por forma a evitar a ocorrência de condensação;
- painel com reduzida transmissão térmica – produtos compostos que integram diferentes materiais (poliestireno expandido, poliestireno extrudido ou espumas fenólicas) por forma a constituírem no conjunto uma solução com reduzida transmissão térmica;
- painel para controlo de vapor - integram uma película numa das faces, actuando como barreira pára-vapor;
- painel resistente a impactos – para utilização em ambientes onde o impacto com corpos ou objectos de pequenas dimensões são recorrentes na utilização regular do edifício como escolas, hospitais ou zonas comuns em edifícios de habitação colectiva. A resistência acrescida é providenciada por um núcleo com densidade superior e papéis de revestimento mais espessos.

Embora os painéis de gesso laminado não sejam normalmente utilizados como dispositivo exclusivo para contraventamento da estrutura, é defendido por alguns autores que pode ter função colaborante em edifícios de

baixa e média densidade, aumentando a resistência ao corte da parede em 30% (Veljkovic & Johansson 2006; Silvestre 2011).

*Tabela 5: Espessuras e densidades usuais para diversos tipos de painéis baseados em gesso (Way & Couchman 2008)*

Tipo	Espessuras usuais (mm)	Massa superficial (kg/m <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Normal	9,5; 12,5; 15; 19	6,3 – 15,0	660 - 790
Painel acústico	12,5; 15	10,2 – 13,1	820 - 870
Painel de protecção contra fogo	12,5; 15	9,8 – 12,8	780 - 850
Painel hidrófugo	12,5; 15	8,6 – 10,3	680 - 700
Painel com reduzida transmissão térmica	18 - 65	6,0 – 9,0	140 - 330
Painel de controlo de vapor	9,5; 15	6,3 – 9,8	650 - 660
Painel resistente a impactos	12,5; 15	11,7 – 13,9	930 - 940
Painel reforçado com fibras de celulose	10; 12,5; 15; 18	11,5 – 21,0	1200
Painel reforçado com fibra de vidro	6 - 30	6,0 – 25,5	850 - 1000

#### 2.6.4 Revestimento exterior

Na construção com perfis enformados a frio é aplicável uma vasta gama de soluções que engloba grande parte da oferta aplicável na construção tradicional.

Uma dos métodos mais eficazes de obter desempenhos satisfatórios em estanquidade, impermeabilização e isolamento térmico consiste na implementação de uma envolvente construtiva com isolamento térmico pelo exterior, em “*warm frame*”, a qual impede a exposição da estrutura às oscilações térmicas, minimiza o risco de condensações nas camadas intersticiais, protegendo dessa forma os elementos de aço do risco de corrosão acelerada.

Embora destinada para paredes de alvenaria e betão a categorização de Lucas pode ser aplicada para descrever os vários subsistemas de revestimento exterior que utilizam este mecanismo (Lucas 1991):

- revestimento delgado sobre isolamento, com ligantes sintéticos ou mistos (ETICS);
- revestimento espesso sobre isolamento com argamassa de ligantes hidráulicos;
- revestimento de elementos descontínuos de fixação mecânica com lâmina de ar ventilada;
- revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolamento e lâmina de ar ventilada;
- argamassas de ligantes hidráulicos com inertes de material isolante;
- revestimento de elementos descontínuos fixos mecanicamente (sem lâmina de ar ventilada);
- projecção in-situ de isolante.

Embora os sistemas ETICS sejam defendidos, pela grande parte dos intervenientes deste tipo de construção a nível nacional, como a solução mais evidente para resolução da envolvente construtiva vertical, não são uma solução exclusiva, sendo possível aplicar outro tipo de revestimentos com isolamento pelo exterior, desde que a sua concepção seja devidamente pormenorizada e especificada.

Nos sub-capítulos seguintes são descritas algumas soluções ou tipologias que são de utilização comum neste género de construções.

#### **2.6.4.1 Revestimento delgado sobre isolamento, com ligantes sintéticos ou mistos (ETICS)**

Das opções anteriormente referidas os revestimentos ETICS (*External thermal insulation composite systems*) são defendidos como uma das soluções mais eficazes que utilizam este mecanismo, por resolverem a questão do isolamento térmico, impermeabilização e acabamento numa única solução. Estes sistemas funcionam como barreira contínua à entrada de água ao longo das superfícies verticais expostas.

O documento ETAG 004 regulamenta estes produtos a nível da União Europeia (EOTA 2000). Na descrição patente neste o sistema é constituído por um produto pré-fabricado de isolamento térmico (normalmente poliestireno expandido moldado) que é fixo a um suporte rígido e perfeitamente plano (neste caso consistindo no revestimento estrutural) por colagem ou mecanicamente ou ainda por combinação das duas soluções. A face exposta do produto isolante é protegida por um reboco (composto por resinas sintéticas com cargas minerais e cimento) aplicado *in situ* constituído por uma ou mais camadas, sendo uma destas reforçada. Ainda segundo o mesmo documento este reboco é aplicado directamente aos painéis de isolamento, sem que exista qualquer camada de ar ou descontinuidade.

Em relação ao último ponto a publicação britânica que serve como guia de aplicação destes sistemas em construções com perfis enformados a frio defende a introdução de uma cavidade não ventilada em zonas de clima severo (Wright et al. 2006).

Em edifícios de baixa densidade, onde não seja necessário introduzir juntas estruturais ou de esquartelamento, este tipo de revestimento permite que não seja possível distinguir edifícios com estrutura metálica dos tradicionais de alvenaria e estrutura de betão armado.

#### **2.6.4.2 Revestimento de elementos descontínuos de fixação mecânica com lâmina de ar ventilada**

Estas soluções exigem que sejam instalados apoios individuais ou uma subestrutura dedicada para a fixação dos elementos que constituem o revestimento. O isolamento térmico, que é revestido para evitar a absorção de água ou de características hidrófugas, é aplicado na cavidade no lado interior da cavidade.

Vários materiais podem ser utilizados desta forma como revestimento:

- tijolo cerâmico;
- mosaico de pedra, cerâmico ou cimentício;
- madeira ou derivados;
- painel laminado de resinas fenólicas e fibras de madeira ou papel (HPL - *high pressure laminates*);
- painel metálico;
- painel de cimento laminado;
- painel compósito de fibras de madeira e cimento Portland;
- painel simples de polímeros (FRP - *fibre-reinforced polymer*).

A concepção e especificação de revestimentos com mosaico de pedra, cerâmico, cimentício deve ter em conta as cargas estáticas e dinâmicas impostas à estrutura da parede.

A solução de alvenaria de tijolo à vista perfurado em parede de cavidade é de utilização generalizada em edifícios

com esta solução estrutural em países como o Reino Unido, Canadá e E.U.A., permitindo que estes se integrem perfeitamente no tecido urbano tradicional, tal como acontece com a utilização dos ETICS em países em que a parede rebocada é a solução mais comum. Neste caso deve existir uma adequada ancoragem do paramento exterior à estrutura.

#### **2.6.4.3 Revestimento de elementos descontínuos fixos mecanicamente, sem lâmina de ar ventilada**

Neste caso o revestimento exterior é aplicado directamente na superfície do revestimento estrutural, for fixação directa ou através de elementos de apoio. Estas soluções podem-se constituir isolantes termicamente por si só ou incluírem na própria constituição uma camada de material isolante.

Algumas das alternativas são:

- painel *sandwich* metálico com núcleo de poliestireno expandido, extrudido ou espuma de poliuretano;
- painel *sandwich* de fibras poliméricas (FRP - *fibre-reinforced polymer*) com núcleo de poliestireno expandido, extrudido ou espuma de poliuretano;
- painel de policarbonato de parede dupla ou múltipla;
- painel de policarbonato opaco com núcleo de poliestireno ou espuma de poliuretano;
- painel *sandwich* de madeira ou derivados com núcleo de poliestireno expandido, extrudido ou espuma de poliuretano.

## **2.7 Sustentabilidade**

A questão da sustentabilidade tem vindo a introduzir-se no sector da construção no intuito de perceber qual o impacto ambiental das actividades relativas a esta indústria, quantificando o consumo de recursos naturais e energia, emissões poluentes para a atmosfera, cursos de água e solo, assim como o desperdício gerado.

A problemática da eficiência energética dos edifícios é algo que começa a ser considerado a partir dos anos 50 do séc. XX, com a introdução do conceito de arquitectura bioclimática por autores como Victor Olygay e Richard Neutra. No entanto é com a crise de petróleo de 1978 que a comunidade internacional fica motivada para a implementação de medidas regulamentares para a melhoria do desempenho térmico das construções, no intuito de diminuir o consumo de energia dos edifícios durante a fase de utilização, nomeadamente para climatização do ar interior e aquecimento de águas domésticas (Zygomalas et al. 2011).

A definição comum de desenvolvimento sustentável é apresentada em 1987 pela equipa de Gro Harlem Brundtland no denominado *Brundtland Report – “Our Common Future”* (WCED 1987), no qual refere o conceito como a satisfação das necessidades básicas humanas ao nível global de forma a proporcionar uma melhor qualidade de vida, sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras. Este é um processo que estará associado a três vertentes: crescimento económico, progresso social e protecção efectiva do ambiente.

Tendo em consideração que o aumento da qualidade de vida e da produtividade das diversas indústrias estão associados a uma melhoria dos locais onde estas actividades se desenvolvem, é inevitável a conclusão que o sector da construção é um dos pontos-chave do desenvolvimento sustentável. À construção e custo de operação dos edifícios está associada cerca de 40% da energia consumida, 16% em recursos hídricos, 25% da madeira e 40% de rocha e areia (Burgan & Sansom 2006). Com base nas mesmas fontes, se por um lado o transporte de materiais de construção representa igualmente cerca de 40% da economia global, a sua produção e processamento tem um profundo impacto na paisagem e é fonte de poluição para a atmosfera, cursos de água

e representa perda de área florestal e agrícola. Uma fracção importante do impacto negativo desta “indústria” está relacionada com a produção de resíduos decorrentes quer da execução de novos edifícios como da sua demolição quando atingido o fim de vida útil.

De acordo com o Programa Ambiental das Nações Unidas de 2007, o sector da construção envolve cerca de 36% da energia consumida na Europa, sendo 27.5% relativo à utilização residencial, nomeadamente no climatização e ventilação do ar interior, aquecimento de águas sanitárias, iluminação e uso de equipamentos domésticos. Sendo dependente da zona climática em foco, o consumo destinado a climatização é aquele que tem globalmente mais impacto, abrangendo cerca de 55% a 74% (Gervásio et al. 2010). Em Portugal o consumo relativo ao sector residencial apresenta uma distribuição distinta, existindo uma predominância para águas quentes sanitárias e equipamentos de cozinha (50%), repartindo-se o restante para iluminação e outros equipamentos (25%) e climatização do ar interior (25%) (Mendonça 2005).



24: Distribuição dos consumos de energia nos edifícios residenciais por áreas de consumo, segundo dados da Direcção Geral da Energia, Ministério da Economia (Mendonça 2005)

Embora a directiva comunitária europeia - “Desempenho energético de edifícios” 2002/91/EC - introduza a obrigatoriedade da certificação energética dos edifícios, com o objectivo de implementar um maior controlo no consumo de energia, a comunidade científica argumenta que estas medidas dizem respeito apenas ao consumo na fase operacional dos edifícios, sendo negligenciadas fases essenciais do ciclo de vida dos mesmos: as de construção e demolição (Santos et al. 2009).

Adalberth, em 1997 publica um estudo pioneiro de análise do consumo energético durante o ciclo de vida de edifícios localizados na Suécia. Com temperaturas médias oscilantes entre os -4 °C e os 17 °C ao longo do ano, as exigências relativas ao conforto térmico dos edifícios é preponderante na distribuição do consumo energético na fase operacional (85%), enquanto a parcela associada aos materiais de construção e actividades de construção e demolição dizem respeito a cerca de 15% do consumo energético global para um ciclo de vida de 50 anos (Adalberth 1997).

Uma publicação mais recente que compara 13 edifícios em diversas localizações como Argentina, E.U.A., Itália e Finlândia corrobora esta ideia, enquadrando entre 80% e 85% a percentagem de energia destinada à fase operacional (Sharma et al. 2011).

No caso português o menor consumo destinado à climatização dos edifícios poderá representar um maior peso em termos de impacto ambiental na parcela destinada às fases não operacionais dos empreendimentos construtivos (construção, remodelação, demolição).

Com estes dados como referência existem dois contributos possíveis no sector da construção. O primeiro consiste na redução dos impactos energéticos, produção de resíduos e emissões nas fases que abrangem desde da produção dos materiais, fase de execução das obras e utilização dos edifícios. O segundo tem a ver com a introdução de soluções inovadoras face a alterações das condições climáticas cada vez mais exigentes que se

têm vindo a observar nas últimas décadas e que se prevêem a agravar: variações higrótérmicas de maior amplitude, ventos fortes, ocorrência de inundações ou situações de secagem extrema dos solos com elevado risco de subsidência. Também a cada vez menor disponibilidade de solo livre para novos empreendimentos nos países industrializados é um factor de preocupação. Algumas destas questões como a transformação do clima, emissão de gases, taxaço da energia e gestão de resíduos é já considerada pela versão actualizada da directiva comunitária europeia relativa ao “Desempenho energético dos edifícios” (U.E. 2010). Este documento estabelece a meta de “Edifícios de energia quase zero” para o sector público em 2018, abrangendo todos os novos edifícios em 2020.

A crescente atenço dada à fase de pré-utilizaço do edifício, nomeadamente o impacto ambiental dos materiais de construçáo e sua proveniência, levou ao estabelecimento de uma metodologia de quantificaço desses parâmetros – Análise do Ciclo de Vida (*Life-Cycle Assessment* – LCA). Um dos principais factores a ser analisado é a “energia incorporada” nos materiais, no que diz respeito à energia consumida na sua extracço, transformaço e produço (*cradle-to-gate*), podendo incluir ainda, conforme especificaçáo dos autores e dados disponíveis, as acçoões de aplicaço, manutenço, reparaço, demoliço ou desconstruçáo e reutilizaço, reciclagem ou disposiço em aterro (*cradle-to-cradle* ou *cradle-to-grave*) (Franzoni 2011).

É de evidenciar que a energia incorporada (*embodied energy* – EE) nos materiais torna-se um parâmetro de maior peso quanto mais eficiente for o edifício durante a fase operacional. Num ciclo de vida estimado de 50 anos esta corresponde entre 2 a 38 % da energia global consumida para edifícios de construçáo tradicional, enquanto que em edifícios de baixo consumo esta parcela é mais preponderante (9 a 56%) (Franzoni 2011).

O conceito de “Edifícios de energia quase zero” (*near zero energy buildings*) apresenta-se como uma alternativa ao conceito idealista de “Edifícios de energia zero”, argumentando alguns autores que os primeiros oferecem melhor comportamento na análise de ciclo-de-vida global que os últimos, que utilizam materiais com um valor superior de energia incorporada (Franzoni 2011).

Os principais desenvolvimentos a promover, tendo como objectivo uma maior sustentabilidade das operaçoões de construçáo, são a minimizaço do impacto a nível local (ex.: ruído, poeiras, poluiço atmosférica e congestáo do trânsito) e reduço do desperdício gerado, sendo este último um dos principais efeitos a nível global.

Por outro lado também é conhecido que a energia consumida durante a fase de utilizaço dos edifícios suplanta largamente a energia potencial utilizada para a sua construçáo (incluindo produço dos materiais). Burgan e Sansom referem que esta relaço é de cerca de 1:10 em edifícios de escritórios climatizados artificialmente, quando considerado um período de vida útil estimado de 60 anos (Burgan & Sansom 2006).

Tendo em conta os princípios gerais do desenvolvimento sustentável, a quantificaço da sustentabilidade como um indicador de impactos ambientais, económicos e sociais de qualquer empreendimento construtivo está dependente de um conjunto complexo de variáveis como a escolha e utilizaço eficiente dos materiais, minimizaço de resíduos, reduço no consumo de energias primárias e produço de CO<sub>2</sub>, poluiço nas suas diversas formas e impactos associados a questões sociais como a facilidade de transportes, questões associadas à qualidade de vida, bem estar e biodiversidade (Lawson 2007).

As variáveis que devem ser controladas e optimizadas durante a fase de concepço são: forma e orientaço do edifício, minimizaço das perdas térmicas através da envolvente construtiva, controlo de necessidades de arrefecimento durante a estaço quente e introduço de medidas de economia e auto-produço de energia (Burgan & Sansom 2006).

A equipa de Ciutina defende que na concepço de edifícios, para além das variáveis respeitantes à funcionalidade



e segurança da construção e valor económico (custo de construção vs rendimento de utilização), deve ser integrado um terceiro vector correspondente ao impacto ambiental (Ciutina et al. 2011). Embora torne este exercício mais complexo e entre em conflito com os aspectos económicos, fornece ao mesmo tempo um conhecimento profundo sobre o desempenho do edifício ao longo do ciclo de vida, permitindo prever o impacto de operações de manutenção e reparação intermédias (com correspondente custo económico e ambiental e constrangimentos operacionais e sociais).

Resumindo, em termos estratégicos existem três medidas a implementar na actividade da edificação:

- incentivo para um prolongamento da vida útil dos edifícios existentes;
- utilização de soluções construtivas mais eficientes nas três vertentes da sustentabilidade (económica, social e ambiental) nas fases de execução, manutenção e demolição;
- melhorar o desempenho energético das construções na fase operacional, de forma a providenciar um nível de conforto adequado com o consumo mínimo de recursos.

### **2.7.1 Reabilitação**

Operações que têm como objectivo a extensão do período de vida útil do parque construtivo actual constituem uma estratégia extremamente positiva do ponto de vista energético. A reutilização ou reabilitação de edifícios preexistentes consome menos recursos que a execução de uma nova construção para a mesma parcela de terreno, nomeadamente em relação aos gastos (energéticos, se não económicos) relativos à demolição e reencaminhamento de resíduos.

Noutras ocasiões são somente os componentes que constituem a envolvente construtiva do edifício que atingem o fim de vida útil do ponto de vista funcional ou estético sendo necessária a sua actualização através da reposição ou substituição da solução de revestimento exterior. Estas intervenções normalmente não necessitam que o normal funcionamento do edifício seja interrompido, possibilitando resolver problemas como fissuras e desagregações do revestimento original, melhorar o comportamento térmico e actualizar a identidade urbana do edifício em termos estéticos (Burgan & Sansom 2006).

### **2.7.2 Contributo do aço como solução sustentável**

No sentido de desperdício gerado pela operação de construção, a utilização de sistemas estruturais baseados na utilização do aço, muitas vezes executadas completamente a “seco”, oferece um importante contributo. As estruturas leves formadas por perfis enformados a frio surgem como uma oportunidade de “aligeirar” o impacto das operações de construção que é normalmente associado às soluções construtivas tradicionais, quer através da diminuição de produção de resíduos como utilizando de materiais mais sustentáveis (capacidade de reutilização e reciclagem) e melhorando os níveis de controlo de qualidade, segurança e ambiente das actividades da construção na direcção de uma maior industrialização do sector.

Outra das formas que se revela bastante eficiente neste sentido passa por utilizar soluções pré-fabricadas parciais ou integrais, reduzindo as operações que produzem maiores constrangimentos no local da obra e que, sendo maioritariamente produzidas em ambiente de fábrica ou oficina, permitem uma maior eficiência, segurança e qualidade, diminuindo igualmente a quantidade de resíduos. Quando utilizados produtos pré-fabricados em aço é expectável uma taxa de desperdício gerado em relação à quantidade de material usado de cerca de 1% a 4%, dependendo da complexidade do projecto (Burgan & Sansom 2006).

Quando possível a nível físico e patrimonial, a ampliação de um edifício possibilita a sua actualização funcional e

económica. Para tal, soluções de elevado rendimento peso/resistência que utilizam perfis de aço enformados a frio permitem a reformulação da compartimentação interior e substituir componentes preexistentes com maior massa por outros com a mesma resistência e menor massa, possibilitando a ampliação com reforço mínimo da estrutura e fundações preexistentes.

De uma forma geral as soluções construtivas baseadas na utilização do aço oferecem:

- elevado nível tecnológico na produção e construção, concordante com as tecnologias de informação e projecto contemporâneas;
- produção em oficina/fábrica que permite economia de recursos em obra e melhores condições de segurança e ambiente para os trabalhadores e criação de postos de trabalho permanentes;
- métodos de fabricação e construção que permitem uma futura adaptação e actualização dos edifícios;
- soluções de ligação que facilitam o desmantelamento dos edifícios e a reutilização de elementos;
- indústria com uma infraestrutura global de reciclagem e reutilização dos produtos.

Quando a vida útil do edifício já não pode ser estendida é permitida, até um certo nível, a reutilização dos componentes e, após esta capacidade se extinguir, o aço tem o potencial de ser reciclado na sua totalidade, sendo o seu desmantelamento facilitado pelas ligações aparafusadas, traduzindo-se numa minimização no consumo de recursos naturais e redução de energia despendida no tratamento de desperdícios.

Actualmente todo o novo aço é composto por uma quantidade de material reciclado, sendo a sua percentagem variável desde 10% a 100%, dependendo da utilização a que se destina. Em 2002 a taxa de recuperação de aço utilizado para construção no Reino Unido era de 94%, sendo 15% reutilizado e 79% reciclado (Burgan & Sansom 2006).

A construção em aço constitui uma tecnologia altamente versátil e sustentável e que é passível de utilização em muitos sectores desta indústria, com potencial demonstrado na construção para uso residencial.

Os sistemas construtivos baseados na utilização do aço promovem a industrialização, permitindo uma adequação plena aos processos de concepção e de tecnologia de informação contemporâneos. A capacidade de pré-fabricação, variável entre a execução de pequenos componentes até módulos integrais, que têm como limite dimensional os meios disponíveis de transporte, permite a minimização de trabalhos *in situ* e impactos de estaleiro. Os métodos de concepção que utilizam sistemas informáticos CAD/CAM (*Computer Aided Design / Computer Automated Manufacturing*) e BIM (*Building Information Modeling*) permitem a comunicação directa entre projectistas, medidores-orçamentistas e fornecedores e conduzem a uma melhoria na eficiência de execução e qualidade do produto final, reduzindo a produção de resíduos e consumo de energia e recursos (naturais e humanos).

A entrega em obra de componentes construtivos semi-acabados “na hora” para montagem imediata permite uma economia substancial em espaço de estaleiro e gestão de recursos em mão-de-obra e equipamento, levando a uma redução no tempo de execução em comparação a outros sistemas construtivos que se baseiam maioritariamente em actividades *in situ* (por exemplo, a construção em betão armado e alvenaria de tijolo e argamassa). Desta forma é reduzido o risco em termos de programação e o dono de obra pode prever um reembolso do investimento num período de tempo mais curto.

Em termos operacionais (durante o período de utilização do edifício) algumas das vantagens da construção em aço são: envolventes construtivas muito eficientes em termos energéticos, flexibilidade a longo prazo, não está sujeita a algumas patologias mais frequentes da construção tradicional como o efeito de fluência do betão, empenamento da madeira, fissurações devido à contracção e dilatação das estruturas, alterações dimensionais

devido a oscilações térmicas, podridão ou térmitas, facilidade de adaptação, ampliação, reabilitação e em caso de reversibilidade é um dos materiais com maior taxa de reciclagem e reutilização.

Num estudo britânico protagonizado pela Corus e Steel Construction Institute (SCI) é referido que para um empreendimento de 6 pisos localizado numa área urbana, a utilização de soluções baseadas em aço permite uma economia de 6% na fase de construção, isto tendo em conta que à execução da estrutura está associada uma percentagem de 12% a 15% do custo total (Lawson 2007).

Sendo o factor-tempo uma das duas variáveis incontornáveis na gestão de um empreendimento construtivo, é inevitável que a rapidez da sua execução esteja directamente relacionada com os potenciais ganhos (economia) no investimento do empreiteiro e dono de obra. Estes podem ser desde custos de estaleiro, constrangimentos e ocupação de vias, custos de mão-de-obra e equipamento, juros de crédito e garantias bancárias, rendimentos de utilização do edifício (rendas e funcionamento de serviços).

Todos os tipos de construção baseadas no aço empregam algum tipo de pré-fabricação tornando as operações desencadeadas *in situ* muito céleres, levando a diversos benefícios em termos de tempo consumido.

Lawson argumenta que o tempo requerido para executar uma envolvente construtiva pode ser reduzido até 20% comparativamente com a solução tradicional britânica de paredes de alvenaria. Quando extrapolado para o período de execução de toda obra os ganhos podem atingir os 60%, tendo este efeito implicação em termos de utilização de recursos (ex.:mão-de-obra) e de certa forma mais importante, uma mais rápida recuperação do investimento por parte do dono de obra e investidores (Lawson 2007).

*Tabela 6: Comparação segundo rendimento de execução e custo entre sistemas construtivos com diferentes níveis de pré-fabricação no contexto da construção britânica (Lawson 2007)*

Critério	Construção tradicional	Construção por painéis	Construção híbrida por painéis e módulos	Construção modular
Tempo de construção global	100%	75%	70%	40%
Tempo de execução da envolvente construtiva	100%	55%	50%	20%
Requisitos de mão-de-obra	100%	80%	70%	25%
Proporção de custo de material sobre o custo global	65%	55%	45%	15%
Proporção de custo de mão-de-obra sobre o custo global	35%	25%	20%	10%
Proporção de custo de produção pré-fabricada sobre o custo global	0%	20%	35%	75%

Em termos de consumo de matérias primas, sendo o sector da construção um dos que mais consome recursos naturais para a fabricação dos diversos elementos que compõem os edifícios - cerca de 40% (Franzoni 2011), com diversos níveis de transformação associados, é importante que se caminhe para uma maior reutilização e reciclagem dos materiais recolhidos das construções demolidas e se o recurso a “novos”. Neste sentido o recurso as soluções construtivas baseadas em perfis enformados a frio apresentam características pertinentes: conforme é descrito por Lawson, uma casa típica em “*light steel framing*” utiliza apenas cerca de 40 kg de aço por metro quadrado de construção; em termos gerais estas soluções levam a uma redução de material empregue até cerca de 70% comparativamente com a construção tradicional pesada britânica e atingindo um valor de

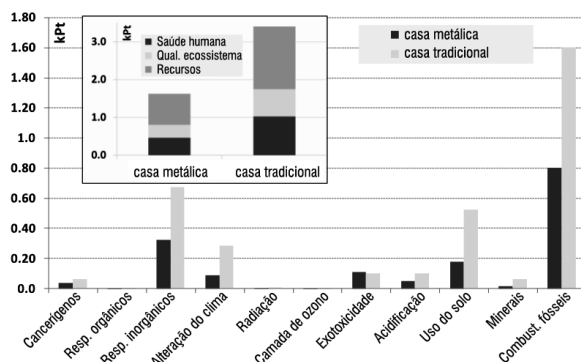
rendimento energético elevado, representando uma poupança proporcional na energia e recursos despendidos para transporte e manuseio dos materiais (Lawson 2007). A reduzida massa permite empregar soluções de fundação relativamente ligeiras resultando num valor de energia incorporada proporcionalmente baixo.

### 2.7.2.1 Discussão do de estudo de análise do ciclo de vida comparativo entre construção em aço leve e tradicional

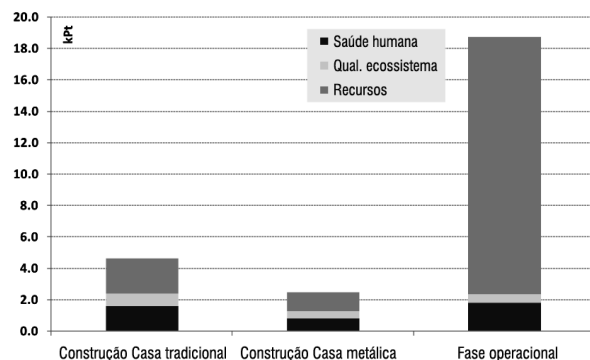
A investigação protagonizada pela equipa de Ciutina faz a análise de ciclo de vida de um edifício como conjunto e componentes (paredes, pavimentos e cobertura) que o integram, comparando duas soluções construtivas para o mesmo projecto de arquitectura de uma moradia familiar. (Ciutina et al. 2011). É considerada uma solução tradicional composta por estrutura de betão armado *in-situ*, paredes maciças de alvenaria de tijolo perfurado e cobertura de estrutura de madeira e revestimento de telha cerâmica. Como solução alternativa é apresentada uma construção com estrutura composta por perfis de aço enformados a frio (LSF), revestimento estrutural com painéis de OSB, paredes interiores e revestimento interior com painéis de gesso laminado e cobertura com estrutura de perfis enformados a frio e revestimento com chapa perfilada. Ambos as sistemas contemplam soluções similares de revestimento exterior com ETICS e fundação em betão armado. Neste estudo não foram contemplados os custos de transporte dos materiais e energia consumida nas actividades de construção (máquinas e equipamentos), embora seja reconhecido pelos autores que os valores para a solução LSF são bastante inferiores.

De uma forma geral, no que diz respeito aos materiais empregues, a solução tradicional apresenta valores superiores de impacto ambiental (3409 eco-pontos para 1626 relativos à solução LSF), com diferenças mais expressivas no que diz respeito a tópicos como: área de aterro para disposição de desperdícios, consumo de combustíveis fósseis, substâncias respiráveis inorgânicas e alterações climáticas. É importante referir que quando se extrapola a análise para um ciclo de vida útil de 50 anos, o consumo relativo à fase operacional para os dois edifícios totaliza 19000 eco-pontos, tendo como referência que as duas soluções construtivas têm um desempenho energético equivalente, o que demonstra o peso respeitante à eficiência energética dos edifícios em utilização.

Num cenário para o mesmo ciclo de vida de 50 anos com calendarização equivalente de acções manutenção, reparação e demolição, com conseqüente reutilização, reciclagem ou disposição em aterro dos materiais removidos, a construção tradicional apresenta igualmente valores superiores de impacto ambiental: 4600 eco-pontos em comparação com 2450 eco-pontos para a solução LSF.



25: Comparação de impacto ambiental entre as duas soluções (Ciutina et al. 2011)



26: Comparação de impacto ambiental entre as fases de construção para as duas soluções e a fase operacional (Ciutina et al. 2011)

## 2.8 Vantagens e inconvenientes

As características dos produtos de aço enformados a frio permitem que estes constituam uma alternativa interessante em aplicações em que a madeira seria a opção mais tradicional. Também surge aplicável, em certa medida, em muitos empreendimentos quando não é viável a utilização de betão armado ou aço laminado devido ao elevado peso próprio da estrutura ou por não se tornar rentável do ponto de vista de recursos (mão-de-obra e equipamento) e calendarização.

Burstrand, num documento publicado em 1998, defende a introdução do sistema construtivo LSF como uma oportunidade de dinamizar o mercado da construção na Suécia, o qual, no princípio dessa década, é caracterizado por uma reduzida dinâmica devido à baixa produtividade nos empreendimentos, regulamentos estritos e soluções construtivas desactualizadas em relação às exigências contemporâneas. O autor evidencia a alta produtividade da actividade da construção, pelo facto de consistir em operações a “seco”, não estando sujeitas às condições climáticas. Para este existem quatro pontos que descrevem os empreendimentos baseados neste sistema: solução global, colaboração entre as partes envolvidas, gestão de informação e processo construtivo industrializado. A questão da informatização no processo construtivo é um dos níveis que este autor defende como um dos principais contributos: a concepção em sistemas informáticos CAD/BIM, que permitem uma sistematização global na especificação dos diversos componentes e dos pormenores construtivos que fazem a sua ligação e a extracção directa de mapas de quantidades permitindo o cálculo de custos e fornecimento dessa informação para os fabricantes, reduzindo os erros e omissões (Burstrand 1998).

Face a soluções construtivas mais tradicionais pode-se referir as seguintes vantagens:

- elevada relação entre resistência e peso;
- possibilidade de pré-fabricação e produção em massa;
- rapidez de execução em obra;
- menor dependência às condições climáticas;
- tolerância dimensional baixa;
- baixas oscilações dimensionais e tensões devido a alterações térmicas;
- ausência de cofragens ou estruturas de apoio temporárias;
- não susceptível a podridão ou térmitas;
- economia em transporte, armazenamento e manuseamento;
- incombustível;
- material reciclável,
- possibilidade de concepção por teste (*design by testing*), a leveza das estruturas permite a execução de testes à escala real.

No entanto este tipo de produtos são abrangidos por uma série de características próprias de comportamento mecânico que os distinguem dos elementos mais tradicionais de aço laminado a quente:

- fenómenos de instabilidade devido à elevada esbelteza das chapas;
- esmagamento da alma sob acção de cargas concentradas não previstas;

- grande deformabilidade por torção e empenamento devido ao desfasamento do centro de gravidade em relação ao de corte;
- fenómeno de endurecimento do aço (diminuição da ductilidade);
- não concebido para suportar estruturas preexistentes em betão e alvenaria;
- pouco competitivo face ao aço laminado para estruturas portantes com vãos de grande envergadura.

### 3 Soluções construtivas em edifícios

A utilização de produtos de aço enformados a frio é transversal a várias indústrias e está presente em materiais que encontramos nos edifícios e ruas e em diversos objectos e equipamentos que utilizamos no nosso dia-a-dia desde automóveis, carruagens de comboios, postes para passagem de cabos, sistemas de drenagem, protectores laterais nas estradas, mobiliário, equipamento sanitário, utensílios para diversa funções, etc. A sua utilização em componentes de edifícios é proporcionalmente diversa, podendo estes ser utilizados em conjugação com outras tecnologias construtivas ou como solução integral. Apresenta-se uma lista de componentes que podem ser produzidos com estes produtos:

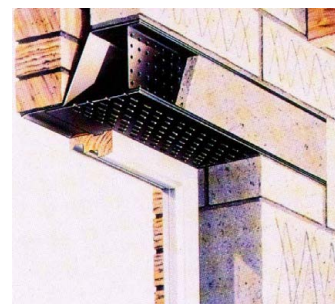
- asnas para coberturas (comuns ou mansardas);
- treliças para pavimentos e coberturas planas;
- estruturas espaciais;
- *decking* para lajes de pavimento;
- lajes de pavimento mistas (chapa perfilada e betão armado);
- paredes portantes (em solução construtiva compatível);
- paredes divisórias leves;
- paredes exteriores para preenchimento de estruturas porticadas (aço ou betão);
- poços de elevador;
- painéis para construção em estrutura porticada leve;
- módulos tridimensionais para pré-fabricação integral;
- sistemas de *mezzanine* (sub-pisos);
- subsistemas estruturais para revestimento de fachadas e coberturas;
- estruturas porticadas com vãos de média envergadura (até 30 m);
- estruturas de cobertura auto-portantes em consola simétrica;
- estruturas auto-portantes de armazenagem (*racking systems*);
- lintéis para portas e janelas;
- sistemas de caixilharia auto-portante.



27: Paredes exteriores para preenchimento de estruturas porticadas (Burgan & Sansom 2006)



28: Execução de sub-piso (Trebilcock 1994)



29: Lintel (Trebilcock 1994)

### 3.1 Tipologias construtivas

As soluções construtivas que utilizam os perfis de aço enformados a frio como solução estrutural global para edifícios destinados a habitação, comércio ou equipamentos são normalmente identificadas como *Light Gauge Steel Framing* (LGSF) ou *Light Steel Framing* (LSF). Estas denominações anglo-saxónicas são, de uma certa forma a descrição directa da solução estrutural, podendo ser desmontada da seguinte forma:

- *Light* significando leve, está associado ao baixo peso dos perfis, devido à sua reduzida espessura. Por outro lado também diz respeito ao conceito de construção leve, designadamente em relação ao peso próprio da estrutura em relação a outras soluções como é exemplo o “tradicional” betão armado e alvenaria furada;
- *Gauge* diz respeito a uma unidade de medida, representando a “bitola” ou espessura das chapas de aço de que são produzidos os perfis;
- *Steel* é a designação traduzida do material aço;
- *Framing* designa a solução estrutural em “moldura”, que neste caso é transposta para uma solução tridimensional em “gaiola”, a qual tem génese conceptual nas soluções tradicionais em madeira. Outra denominação normalmente utilizada é a de “esqueleto” estrutural.

A grande percentagem das estruturas construídas com estes produtos, à semelhança dos sistemas com madeira, funciona igualmente com a mesma filosofia de distribuição de cargas. Este sistema construtivo a “seco” é largamente utilizado em tipologias habitacionais e comerciais de baixa densidade e industriais em países como E.U.A., Canadá, Japão e Austrália. Para além do “esqueleto” estrutural constituído por perfis de aço “leve” (de espessura reduzida), a envolvente construtiva é forrada com painéis de revestimento estrutural, os quais têm a função de contraventar a estrutura metálica e usualmente constituem uma barreira primária de estanquidade. Tal como foi referido anteriormente como revestimento interior são normalmente utilizados painéis de gesso laminado, sendo inserida lã mineral na cavidade resultante do vazio entre painéis e elementos metálicos, como solução básica de isolamento térmico e acústico. Na face exterior das placas OSB é aplicado o revestimento exterior, sendo normalmente utilizados sistemas ETICS que se constituem como solução integral de isolamento térmico e impermeabilização. Em países como o Canadá e Reino Unido é comum a aplicação de um paramento exterior de alvenaria de tijolo à vista sem função estrutural.

De um modo geral podem-se distinguir três estratégias de construção:

- por elementos (*stick construction*),
- pré-fabricação por painéis,
- pré-fabricação modular.

A primeira consiste na montagem em obra dos membros individuais, os quais podem ser fornecidos com a dimensão exacta para a montagem ou adaptados no local. Este é um método construtivo bastante flexível, não envolve um planeamento de obra demasiado rigoroso e permite que sejam introduzidas alterações durante a mesma, caso necessário. Com esta estratégia é possível discriminar dois métodos de construção distintos: plataforma e balão. Na construção em plataforma (*platform system*) os pavimentos são apoiados sobre os elementos portantes verticais, servindo cada piso como base de trabalho para erigir o seguinte. A construção em balão (*balloon system*) consiste na fixação lateral dos pavimentos aos elementos portantes verticais, os quais podem abranger neste caso mais que um piso em altura. Este método estrutural limita-se normalmente a construções até dois pisos.





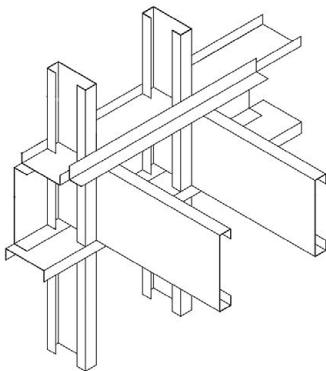
30. Construção por elementos, Ilha da Armonia, Olhão, 2007



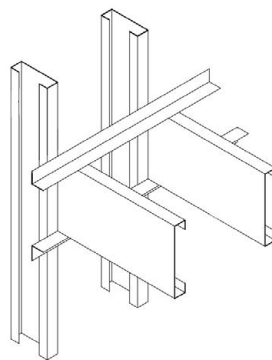
31. Instalação de painéis pré-fabricados (Veljkovic & Johansson 2006)



32. Construção modular em Alho, Alemanha (Lawson et al. 1999)



33: Sistema estrutural de plataforma (CSSBI 2002)



34: Sistema estrutural de balão "balloon system" (CSSBI 2002)



35: Construção por elementos com "balloon system" (Trebilcock 1994)

A construção através da acoplagem de painéis ou outros elementos bidimensionais representa um primeiro passo para a implementação de processo industrial para construção. Neste caso são montados em fábrica troços de parede, cobertura e fachada, asnas e treliças, elementos esses que são aplicados na forma de "esqueleto" estrutural ou com revestimentos de acabamento e isolamento no interior. Em obra são manobrados com recurso a equipamento dedicado e utilizados para preencher vãos em estruturas porticadas ou acoplados continuamente constituindo uma solução integral de cargas distribuídas. Um exemplo de larga utilização nos países escandinavos são as denominadas "cassetes" - painéis constituídos por perfis em C e preenchidos com espuma rígida de poliestireno ou poliuretano constituindo uma solução muito resistente a embates e punção, assim como a esforços de flexão e corte (Davies 2000).

Na pré-fabricação modular uma parte substancial da obra é executada em fábrica. Os módulos são dimensionados para possibilitar o transporte, contendo os acabamentos interiores, equipamentos e instalações técnicas já finalizados. A estrutura tem de ser sobre-dimensionada para permitir a elevação por grua, com a qual os módulos são inseridos numa estrutura portante construída para o efeito ou empilhados e consolidados com reforço das ligações.

### 3.2 Soluções para reabilitação de edifícios

A utilização de produtos enformados a frio torna-se particularmente interessante em obras de reabilitação, onde as vantagens descritas no capítulo 2.8 se evidenciam em relação a soluções construtivas mais tradicionais.

Comparativamente com o betão armado pode-se destacar o reduzido impacto em termos de peso próprio, evitando ou minimizando o reforço da estrutura original e fundações), a rapidez de construção (sendo ainda mais evidente quando utilizados sistemas de pré-fabricação), vida útil elevada, facilidade de manutenção e reparação,

possibilidade de alteração ou reversibilidade das intervenções, redução de constrangimentos durante a construção, quer em tempo de execução, produção de ruído, ocupação de vias, transporte, armazenagem e manuseio dos materiais.

Em situações de preexistências de estruturas de madeira estas soluções estruturais, que funcionam preferencialmente com cargas distribuídas, comportam o potencial de se constituírem como uma alternativa compatível, apresentando vantagens como a não susceptibilidade a podridão ou térmitas e incombustibilidade, sendo possível a consideração da sua utilização para substituição ou reforço de elementos individuais.

Neste contexto, as principais aplicações destes produtos são (SCI 2001):

- compartimentação interior;
- sub-estruturas sobrepostas a paredes preexistentes, para suporte de revestimento de fachada (*over-cladding*);
- sobreposição ou substituição de coberturas (*over-roofing*);
- ampliação vertical;
- unidades modulares para ampliação de edifícios, introdução ou substituição de equipamentos como instalações sanitárias, elevadores ou escadas;
- compartimentação vertical (introdução de sub-pisos), onde exista pé-direito adequado.

Não se aplicam, no entanto, a situações de retenção de fachada de alvenaria, execução de fundações ou muros de suporte, onde devem ser favorecidas soluções com recurso a betão armado ou aço laminado a quente.



36: Revestimento de fachada "over-cladding" – antes (Burgan & Sansom 2006)



37: Revestimento de fachada "over-cladding" – depois (Burgan & Sansom 2006)



38: Sobreposição de cobertura "over-roofing"

Rhodes e Lawson referem a possibilidade de utilização de perfis enformados a frio para substituição de vigotas de madeira em pavimentos e coberturas de edifícios de estrutura mista (madeira e alvenaria resistente), sendo utilizado o mesmo espaçamento da estrutura original (Rhodes & Lawson 1992). Nesta publicação, se bem que algo datada, os autores fazem um comparativo com outras soluções construtivas (madeira e aço laminado a quente) para a mesma função quer para utilização residencial ou comercial, o qual está representado na tabela 8. Como exemplo, na substituição de vigas de madeira com dimensões de 175x37 mm os autores sugerem a utilização de uma secção com 100x40x1,2 mm para uma resistência equivalente.

Tabela 7: Dimensões de secção com equivalência estrutural, em mm (Rhodes & Lawson 1992)

Madeira	150x37	175x37	175x50	200x50	225x50	225x63	250x75
Secção C	70x40x1,2	100x40x1,2	100x40x1,5	100x65x1,6	120x65x1,6	127x65x1,6	165x65x2,0

*Tabela 8: Comparação entre dimensões e pesos próprios de secções de perfis enformados a frio, madeira e aço laminado para diferentes aplicações em pavimentos (Rhodes & Lawson 1992)*

	Edifícios residenciais cargas impostas = 2,5 kN/m <sup>2</sup>		Edifícios comerciais cargas impostas = 3,5 kN/m <sup>2</sup>	
	Vão = 4 m Espaç. = 0,6 m	Vão = 5 m Espaç. = 0,6 m	Vão = 5 m Espaç. = 1,2 m	Vão = 6 m Espaç. = 1,2 m
Secção U	150x50x3,0 mm p.p. = 56 N/ml	2x 150x50x3,0 mm p.p. = 110 N/ml	2x 150x50x5,0 mm p.p. = 178 N/ml	
Secção C	165x63x1,6 mm p.p. = 39 N/ml	220x63x1,8 mm p.p. = 49 N/ml	2x 220x63x2,0 mm p.p. = 109 N/ml	2x 300x65x2,0 mm p.p. = 150 N/ml
Madeira	250x75 mm p.p. = 101 N/ml	300x75 mm p.p. = 121 N/ml	2x 300x75 mm p.p. = 242 N/ml	
Aço laminado	102x51 mm RSC p.p. = 104 N/ml	127x76 mm UB p.p. = 130 N/ml	152x89 mm p.p. = 160 N/ml	178x102 mm p.p. = 190 N/ml

Um dos pontos que favorece a utilização de estruturas compostas por perfis enformados a frio face a outras soluções tradicionais é o facto de, ao constituir-se como uma solução com menor massa associada, a energia implicada num evento sísmico é inferior, isto não obstante o facto de estar sujeita aos fenómenos de instabilidade que lhes estão associados.

No âmbito da reabilitação de edifícios, embora a capacidade de pré-fabricação se revele interessante no sentido de levar a uma maior eficiência em termos de tempo de execução e minimizar os constrangimentos em obra, não é muitas vezes a solução que melhor se adapta. Nomeadamente em edifícios que, pela sua morfologia, não permitem a utilização de módulos repetitivos. Neste caso, o método de construção por elementos revela-se mais adaptável, não sendo necessários equipamentos pesados para a adaptação dos perfis e painéis. Existem no entanto situações em que, por exemplo, o edifício é formado por uma estrutura portante moderna, constituída por eixos estruturais com dimensões constantes, permitindo a sua reformulação ou ampliação com recurso a elementos pré-fabricados, quer através de painéis, quer recorrendo a módulos tridimensionais que são inseridos ou apoiados sobre a estrutura preexistente.

Quando a preexistência é de natureza monolítica, como uma viga, laje de betão ou um elemento de alvenaria aparelhada que se apresente devidamente consolidado, a operação de fixação dos elementos enformados a frio é executada com recurso a parafuso passante com porca de aperto e introdução de buchas de ancoragem (preferencialmente químicas) ou chumbadouros (previamente embutidos durante a execução do elemento de betão). Nestes casos, devido a possíveis condições higrométricas desfavoráveis e possibilidade de existirem contaminantes corrosivos na constituição do elemento monolítico, deve ser evitada a exposição dos elementos metálicos a níveis de humidade elevados, devendo ser promovida a ventilação o quanto possível. Por forma a evitar a corrosão acelerada do aço podem ser utilizadas formas de protecção suplementares como a instalação de uma membrana impermeável intercalar na superfície de contacto com o elemento monolítico.

### 3.3 Descrição do sistema construtivo

A construção ou intervenção em edifícios com perfis enformados a frio pressupõe uma forma de construção que difere da “tradicional” construção monolítica com estrutura porticada de betão armado e alvenaria cerâmica. Nos subcapítulos seguintes pretende-se descrever a prática comum a nível nacional na execução dos vários componentes da envolvente construtiva e de compartimentação que constituem os edifícios. O método construtivo aplicado baseia-se na construção por elementos, fazendo-se alguma menção à técnica de painelização. Conforme o descrito pelos vários intervenientes entrevistados é rara a utilização de pré-fabricação modular, devido fundamentalmente a questões de inconsistência e dimensão do mercado.

#### 3.3.1 Fundações e caves

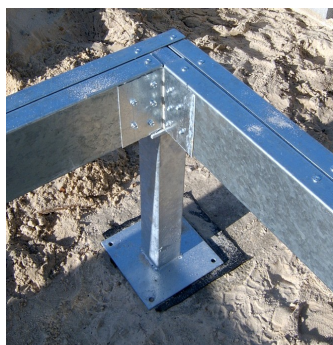
A forma mais comum de resolução das fundações de um edifício com estrutura LSF consiste na execução de vigas de fundação em betão armado, que permitirão receber de forma distribuída ao longo do comprimento destes elementos as cargas provenientes dos eixos estruturais superiores.

Uma variante a esta solução baseia-se na execução de uma laje de ensoleiramento geral, quando o projecto e condições do terreno o justificarem.

Outra solução aplicável em construções térreas de reduzida massa, como habitações modulares ou similares, consiste na execução de *pilotis* em aço laminado a quente, os quais são fixos a sapatas de betão armado.



39: Estrutura de parede apoiada sobre viga de fundação, Beja



40: Piloti em secção tubular laminada a quente sobre sapata de betão, Ilha da Armona, Olhão



41: Laje de pavimento sobre-elevada apoiada em pilotis, Ilha da Armona, Olhão

Uma vez que estas construções implicam valores significativamente inferiores em termos de peso próprio da estrutura é situação normal que a solução de fundação seja menos exigente em termos de dimensionamento e, conseqüentemente, em custo geral da operação, comparativamente com construções “tradicionais” de tipologia arquitectónica semelhante.

A montagem de estruturas em LSF em estruturas preexistentes, como a substituição de estruturas de madeira, não obriga em grande parte dos casos, ao reforço da fundação existente, devido ao menor peso próprio da estrutura a executar. No entanto isto não exclui a necessidade de consolidação de elementos que se apresentem degradados e o eventual reforço às acções sísmicas quando aplicável. Nos casos em que a preexistência é composta por alvenarias resistentes é usual a execução de uma viga de coroamento em betão de armado, que funciona como diafragma de ligação entre as paredes e na qual é fixa a estrutura metálica.

#### 3.3.2 Paredes

Existem dois tipos de paredes que são utilizadas na construção com perfis enformados a frio: resistentes e divisórias não resistentes. Uma parede resistente, para além da função portante (resistência às cargas verticais),

deve resistir igualmente a acções horizontais e de corte/flexão como é o caso do vento, sismos ou embates (Tian et al. 2004). De uma forma geral todas as paredes portantes devem estar alinhadas ao longo dos pisos, seguindo a lógica de distribuição das cargas ao longo dos vários elementos resistentes. No caso de paredes divisórias sem função resistente não existe esta condicionante, permitindo uma livre composição na compartimentação do espaço interior (NAHB 1997).

As paredes são do tipo cavidade (em oposição ao tipo monolítico) e desempenham as exigências comuns destes componentes (estanquidade, impermeabilização, isolamento térmico e acústico) através das diferentes camadas que as compõem, com acréscimo da função estrutural (portante-resistente ou auto-portante) que é desempenhada pelos perfis metálicos que as estruturam.

Em termos estruturais um painel de parede resistente é constituído pelos “perfis-guia” em U (*channel*) – elementos horizontais, “montantes” (*stud* ou *joist*) – elementos verticais em perfis C, elementos de contraventamento e ligações (Tian et al. 2004). Os elementos de contraventamento têm a função de resistir às acções horizontais através do mecanismo de diafragma, podendo ser utilizados para este fim os seguintes dispositivos: painéis de revestimento estrutural, diagonais de contraventamento (*X-bracing*), ligações de resistência à flexão parcial ou total (Silvestre 2011). No caso de revestimento estrutural, a situação mais comum é o recurso a painéis de OSB, os quais servem simultaneamente de camada de base para o revestimento final, no caso das paredes exteriores.

A sua espessura é directamente dependente da secção dos perfis utilizados, os quais por sua vez são dimensionados consoante as cargas a que estão sujeitos, tendo como principal característica condicionante o número de pisos que compõem o edifício. Outros factores que têm influência na espessura total destes elementos são o tipo de revestimento, número de painéis, inclusão de um sistema de isolamento térmico pelo exterior, composição com perfis resilientes ou paredes duplas.

Os elementos portantes enquadram-se usualmente com comprimentos de alma compreendidos entre 80 e os 150 mm e espessuras entre os 1,2 e os 2,5 mm (Perfisa, S.A. sem data), enquanto para funções não resistentes (auto-portantes) são usadas espessuras a partir dos 0,4 mm e comprimentos de secção a iniciar nos 35 mm (Saint-Gobain Placo Iberica 2011; Knauf 2012).

O espaçamento entre montantes é sensivelmente variável mas directamente relacionado com a largura dos painéis de revestimento e as cargas estáticas impostas. Uma das medidas mais comuns consiste num espaçamento ao eixo de 625 mm que, quando utilizado conjuntamente com painéis de OSB com 1220 mm de largura, assegura uma folga de 3 mm entre painéis. Em casos em que seja necessário aumentar a rigidez pode-se reduzir esta grelha para 312,5 mm, enquanto em caso de se utilizarem revestimentos mais rígidos ou os montantes possuam uma espessura mais substancial é possível dobrar o valor para 1250 mm (LSK 2005).

A introdução de vãos exige a execução de elementos de cabeceira e peito nas paredes resistentes, assim como perfis verticais por forma a assegurar o seu suporte, sendo utilizados para este fim combinações de perfis em U e C. No caso das portas, dependendo da constituição e pormenorização do pavimento e soleiras, pode não ser incluído o perfil-guia normalmente fixo no pavimento. Os troços dos painéis de parede que contém vãos não são considerados para capacidade resistente da parede (NAHB 1997; Silvestre 2011).

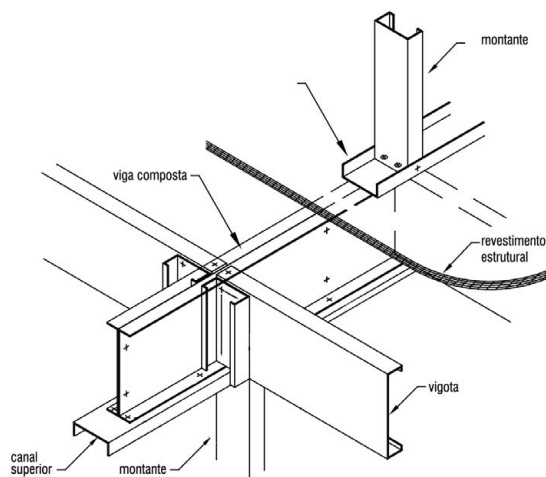
Estes elementos podem ser executados integralmente em obra ou pré-fabricados em fábrica ou oficina na forma de painéis que são transportados para a obra no momento exacto da sua aplicação. Para este fim estes elementos devem ser concebidos de forma a resistir mecanicamente ao transporte e manuseamento em obra. Uma solução comum consiste na pré-fabricação de painéis de parede constituídos pela estrutura metálica e uma folha de revestimento estrutural fixa numa das faces, permitindo a sua fixação ao pavimento e painéis adjacentes,

sendo posteriormente montadas as instalações técnicas, preenchida a cavidade com lã mineral e colocado o revestimento na face oposta.

Mesmo quando utilizado o método de construção por elementos, integralmente executado *in situ*, são utilizadas técnicas semelhantes à da pré-fabricação. Numa situação normal os painéis de parede são montados na horizontal e seguidamente erigidos, posicionados e fixos. Os perfis podem ser adaptados para a dimensão pretendida no próprio local ou fornecidos com a medida adequada à função a que se destinam, quando se considerar justificável e rentável por repetição de elementos semelhantes.

Em caso de fixação a uma laje de fundação ou pavimento preexistente a execução da parede pode ser iniciada com a fixação de um perfil-guia ao pavimento, por forma a facilitar a marcação dos eixos estruturais.

Na fixação sobre lajes de pavimento compostas por perfis enformados a frio e placa de OSB a fixação é executada com recurso a parafusos auto-perfurantes, que são utilizados para todas as ligações entre elementos de metal deste género.



42: Exemplo de concepção de paredes resistentes (NASFA 2000)

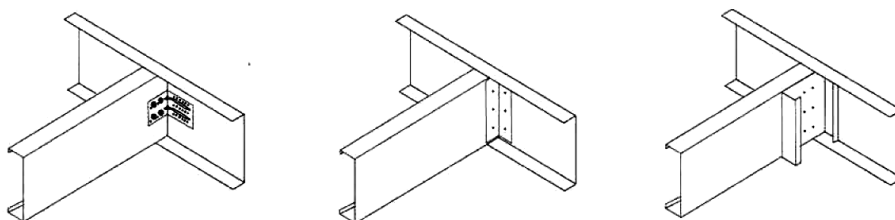


43: Exemplo de execução de parede em obra, Beja

### 3.3.3 Pavimentos

As lajes de pavimento são compostas normalmente por elementos com altura de alma compreendida entre 150 a 300 mm e espessura enquadada entre os 1,5 e 3 mm dependendo do envergadura do vão, espaçamento entre vigotas, constituição do pavimento e cargas de utilização.

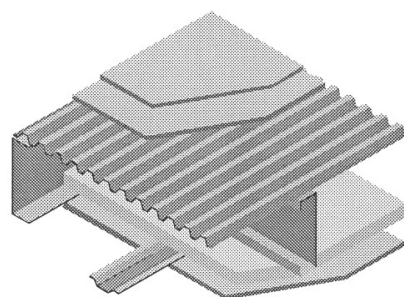
A execução inicia-se pela fixação de perfis-guia perimetrais, com recurso a secções em U nos sistemas de plataforma ou secções em Z ou cantoneiras nos sistemas *balloon*. A estes são fixas as vigotas, sendo comum a utilização de perfis Z, C ou composições dos últimos, sendo possível obter ligações articuladas ou semi-rígidas utilizando troços de cantoneira ou perfis C como esquadros de fixação (LSK 2005).



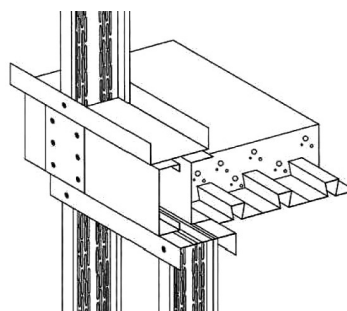
44: Fixação de vigota ao perfil guia: esquadro (articulada), cantoneira e perfil C (semi-rígida) (LSK 2005)

Por forma a criar o plano do pavimento são possíveis duas soluções. A primeira consiste na fixação de painéis de revestimento estrutural, sendo usual para este fim a utilização de painéis OSB classe 3 ou 4 com uma espessura mínima de 18 mm. Caso a situação o exija podem ser fixos “tarugos” utilizando perfis C e ligações com cantoneira, por forma a providenciar contraventamento e aumentar a rigidez do pavimento. Sobre o revestimento estrutural são passíveis de ser aplicados diversos acabamentos, sendo inclusivé possível a execução de uma camada de espessura reduzida de betonilha aligeirada com inclusão de grânulos de argila expandida, partículas de poliestireno expandido ou produtos similares, permitindo a inclusão de instalações técnicas, a melhoria do comportamento acústico e aumento do factor de inércia térmica do pavimento.

Outra solução possível é a de aplicação de painéis metálicos perfilados (igualmente enformados a frio), aplicando ou não uma lâmina de compressão de betão armado de pequena espessura (cerca de 40 mm), constituindo um pavimento compósito. Esta última solução deverá ter em consideração o peso acrescido da camada de betão colaborante. Neste caso a chapa metálica perfilada serve quatro funções simultâneas: constitui a cofragem para o betão, funciona como plataforma de trabalho, providencia resistência a esforços de flexão positivos e serve como diafragma e reforço de contraventamento (W. W. Yu & LaBoube 2000).



45: Pavimento com chapa trapezoidal sem enchimento (Höglund & Burstrand 1998)



46: Pavimento com laje compósita (LSK 2005)

A espessura final dos pavimentos depende da altura da alma dos elementos metálicos utilizados, da constituição acima dos painéis de revestimento estrutural e da solução de tecto instalada abaixo dos perfis, a qual pode ser resolvida com painéis de gesso laminado que são fixos directamente nos perfis estruturais (vigotas) ou recorrendo a uma subestrutura suspensa dedicada, evitando a transmissão da vibração ao longo dos elementos. É comum ser introduzida uma camada de lã mineral na cavidade sobre o painel de tecto, a qual tem função simultânea de protecção contra fogo entre pisos e diminuir a transmissão de sons aéreos.

### 3.3.4 Coberturas

Este sistema construtivo permite a execução de coberturas planas ou inclinadas, sendo comum a sua utilização na substituição de estruturas de madeira danificadas, permitindo criar (ou recriar) tipologias com diversos graus de complexidade. Este tipo de soluções permite uma rápida execução em obra e, pelo facto de serem compostas por um revestimento estrutural, revelam-se adequadamente estanques e resistentes face a diversos agentes causadores de patologias (vento, água, oscilações higró-térmicas, animais, intrusos).

De uma forma geral, a solução estrutural de uma cobertura plana é idêntica à empregue numa laje de pavimento embora, neste caso, tratando-se de um componente da envolvente construtiva, seja necessário responder solicitações no que diz respeito a isolamento térmico, estanquidade e impermeabilização.

No caso de se tratar de uma cobertura inclinada será composta por asnas, sendo possíveis diferentes configurações, dependendo da envergadura do vão, espaçamento destes elementos, peso global da solução,

cargas dinâmicas previstas e a necessidade de utilização do desvão. Estes elementos podem ser fornecidos pré-fabricados ou executados deslocalizadamente em oficina ou no próprio local de obra, sendo erigidos e fixos às vigas por aparafusamento.

Por forma a assegurar a consolidação da estrutura são fixos perfis em Z ou  $\Omega$  na direcção transversal às asnas, como madres, assim como uma viga de cumeeira. Sobre estas são fixos os painéis de revestimento estrutural, chapa perfilada simples ou sanduíche ou são colocadas no espaço intercalar placas de isolamento térmico, dependendo da solução de cobertura empregue (aquecida ou não aquecida).

Como revestimentos de cobertura podem ser utilizados diversos produtos direccionados para este fim, como telha cerâmica, metálica ou asfáltica, folha metálica (bronze, zinco ou outro), painéis sanduíche ou materiais de fibra mineral ou PVC, assim como outras soluções “ligeiras”. Em revestimentos descontínuos como a telha cerâmica, caso a inclinação da cobertura não seja adequada, dever-se-á assegurar a impermeabilização através da aplicação de uma sub-telha asfáltica ou tela.

Segundo o descrito por diversos intervenientes consultados, a solução mais usual consiste na aplicação de uma barreira pára-vapor sobre o revestimento estrutural, sobre a qual é disposto o isolamento térmico, sendo normal a utilização de XPS - placas de poliestireno extrudido ou EPS – placas de poliestireno expandido, seguido da solução de impermeabilização como uma tela de PVC com fixação mecânica e vulcanização e finalmente a colocação da protecção mecânica.

### 3.4 Considerações Técnicas

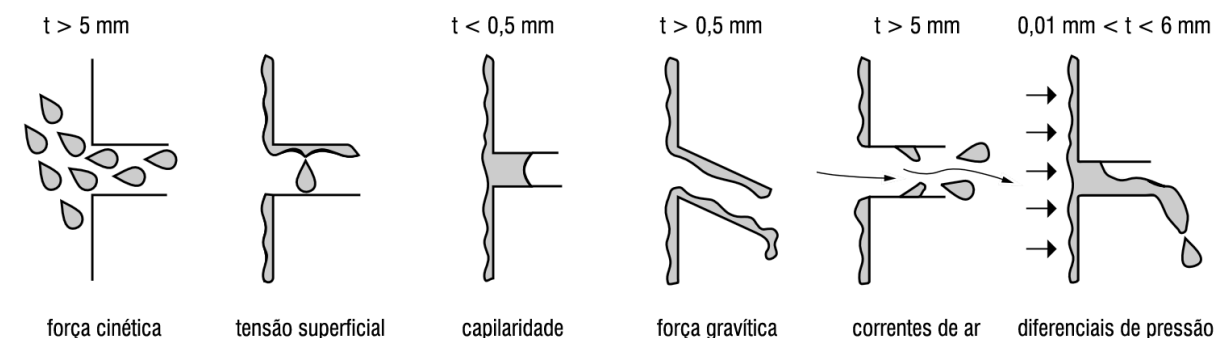
Neste capítulo são abordadas as questões associadas ao desempenho dos edifícios que utilizam a tecnologia construtiva em estudo e variáveis relacionadas com exigências funcionais e da ciência da construção no geral.

#### 3.4.1 Impermeabilização

A protecção à precipitação é uma das exigências básicas a que um edifício comum com a função de abrigo deve responder. Para além da ausência de água no interior dos compartimentos habitáveis de um edifício ser uma das exigências fundamentais para a salubridade de um edifício, o controlo da presença deste elemento nos materiais de construção têm um impacto directo no seu desempenho em termos de longevidade e conforto térmico.

A penetração da chuva resulta da combinação de concentração de água nas superfícies da envolvente construtiva, aberturas que permitem a sua passagem e forças que a induzem para o interior.

A entrada da água pode acontecer através de diferentes mecanismos, dependendo do tipo de forças em causa e dimensão das fenestraçãoes por onde é conduzida: força cinética, tensão superficial, capilaridade, força gravítica, correntes de ar e diferencial de pressão do ar (CSSBI 2002).



47: Mecanismos de ingresso de água na envolvente construtiva dos edifícios (CSSBI 2002)



O vento é exemplo de uma força que, devido a efeitos de turbulência, tem uma influência directa no volume, velocidade e direcção da água precipitada nas superfícies. Um exemplo deste efeito acontece em coberturas de telha cerâmica com declive pouco acentuado, em que a água é empurrada horizontalmente pelo vento, penetrando nas camadas intersticiais. No caso de sistemas de fachada ventilada concebidos sem este factor em causa pode provocar diferenças de pressão com efeito contrário ao pretendido, causando a sucção da água para a cavidade (da fachada ventilada).

De uma forma geral existem duas estratégias que se podem implementar na concepção da envolvente construtiva dos edifícios: selagem integral da envolvente ou fachada ventilada.

#### **3.4.1.1 Selagem integral**

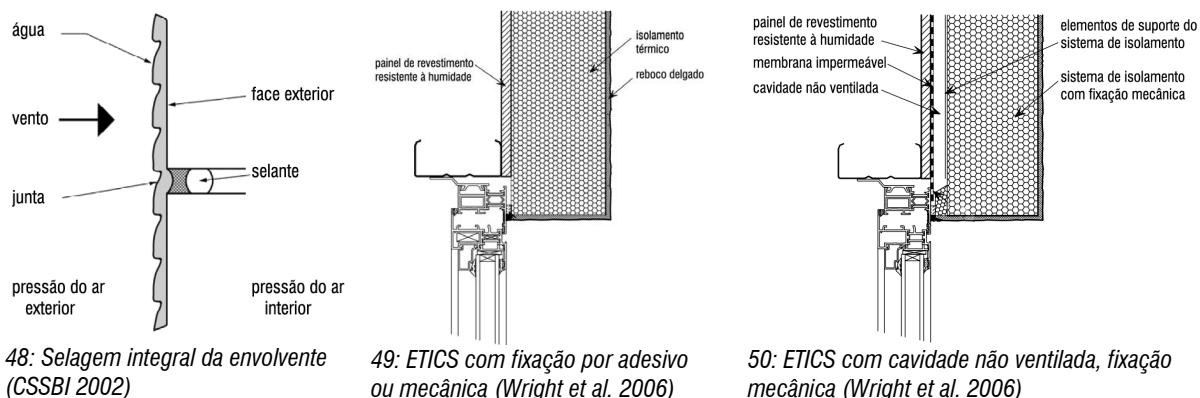
Nesta opção todos os componentes que compõem a envolvente e juntas são vedados, constituindo uma única barreira à chuva e vento. Existe uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados como revestimento exterior, oferecendo vários graus de penetração da água.

Pode ser utilizada uma solução de “gabardine” (*raincoat*) em que o material de superfície tem uma porometria muito reduzida, como vidro ou metal, não permitindo qualquer absorção de água. Esta opção é de utilização comum na execução de coberturas, devendo ser incluída uma protecção que evite a acção mecânica da chuva sobre o sistema de impermeabilização (Trotman et al. 2004).

Outras soluções denominadas como “*overcoat*” caracterizam-se por permitir a absorção da água até uma certa espessura, levando à colmatação dos poros, de forma que o próprio material saturado se constitui como barreira à penetração da mesma. Após o período de precipitação cessar, a água contida nos poros evapora, promovendo a secagem da superfície. Os rebocos compostos aplicados em sistemas ETICS, que se utilizam recorrentemente na construção *light steel framing*, funcionam segundo este mecanismo.

Os sistemas de selagem integral demonstram vantagens de concepção e execução pela razão de consistirem um só plano de exposição e resolução, permitindo espessuras mínimas e representando um custo global reduzido. No entanto é sensível a imperfeições e a penetrações da base o que, quando pormenorizado incorrectamente ou por execução deficiente, pode ser causa de infiltrações e outros efeitos nefastos resultantes da presença de água. Outro ponto crucial tem a ver com os selantes utilizados nas juntas e interfaces com outros materiais, normalmente com duração de 10 a 15 anos que, pelo nível de esforço a que estão sujeitos, quer pelas oscilações dimensionais de origem higró-térmica, exposição aos raios ultra-violeta e outras acções, podem ter a sua longevidade original alterada (CSSBI 2002).

No Reino Unido, conforme o nível de precipitação da zona climática em que o edifício se enquadra, são contempladas três formas de pormenorização dos sistemas de isolamento pelo exterior (ETICS) em estruturas de perfis de aço enformados a frio: a) fixação por adesivo ou mecânica sobre revestimento estrutural com características impermeabilizantes; b) fixação mecânica sobre revestimento estrutural com membrana impermeável à água líquida mas permeável ao vapor de água; c) sistema de cavidade não ventilada e membrana impermeável à água no estado líquido mas permeável ao vapor de água (Wright et al. 2006).



### 3.4.1.2 Fachada ventilada

No caso de sistemas de fachada ventilada a envolvente é constituída por uma barreira mecânica à precipitação, uma cavidade de ar ventilada e uma película impermeável à água líquida mas permeável ao vapor de água.

Estes sistemas, que são designados nos países anglo-saxónicos como “*rainscreens*”, têm como conceito a protecção dos materiais localizados nas camadas posteriores à superfície da fachada que são normalmente vulneráveis à água, como é o caso das lãs minerais. Este “*ecrá de protecção*”, pode tomar diversas formas: através de materiais completamente opacos e impermeáveis com juntas abertas, como também através de malhas com aberturas de dimensão semelhante à das gotas de água. As juntas podem ser concebidas de forma a evitar o ingresso da água lateralmente, assim como promover a descarga vertical da água graviticamente (Trotman et al. 2004).

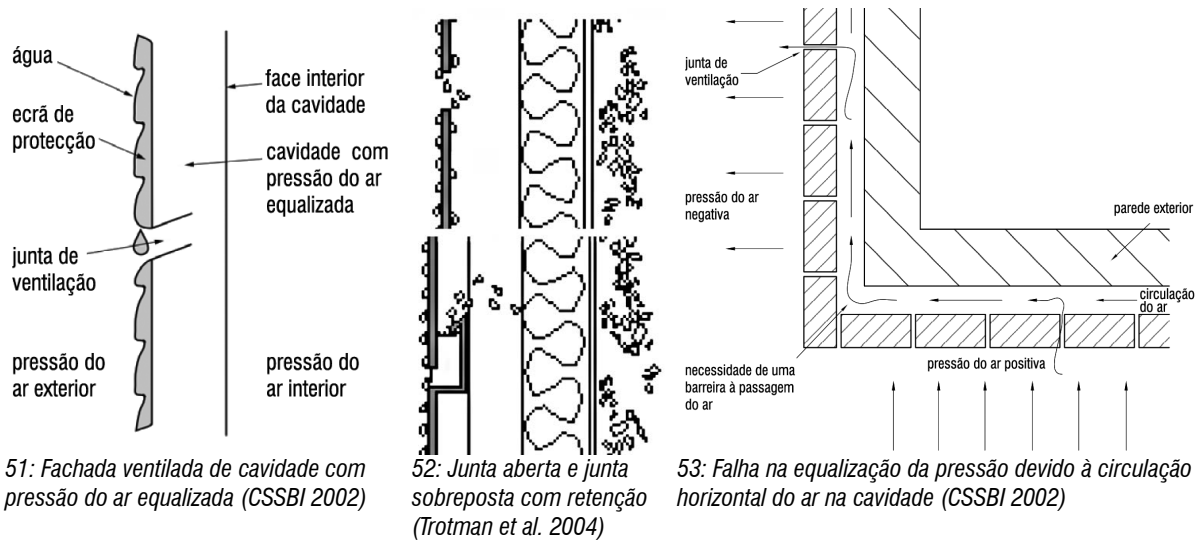
Basicamente existem dois métodos de conceber fachadas ventiladas. No denominado de “*escoagem e ventilação integral*” (*drained and back ventilated*) a cavidade deve ser integralmente ventilada e com espessura adequada para permitir a secagem eficiente da quantidade de água que consiga penetrar o *ecrá de protecção*.

No sistema mais sofisticado designado de “*fachada ventilada de cavidade com pressão do ar equalizada*” o conceito consiste na equalização da pressão entre o ar exterior e a camada de ar existente na cavidade. Neste método, o “*ecrá de protecção*” evita a penetração de grande parte das partículas de água, enquanto a camada de ar é dimensionada por forma a não existir diferencial de pressão em relação ao ar exterior, anulando a acção de qualquer força ou corrente de ar passível de “empurrar” a água que escorre pela superfície da fachada para o interior da cavidade.

Este efeito obriga a um dimensionamento cuidado da espessura da cavidade e das juntas de ventilação, especialmente quando não existe qualquer elemento vertical ou horizontal de recolha e condução da água. É necessária igualmente uma selagem integral ao ar da superfície tardoz da cavidade, de forma a não ocorrerem fugas para o núcleo das paredes, provocando uma depressão e eventualmente ao efeito de sucção, contrário ao pretendido. Outros cuidados a ter em conta dizem respeito ao efeito do vento nas zonas de mudança de plano das fachadas, sendo necessário que nas esquinas e cantos da construção as cavidades sejam barradas de forma a não ocorrer circulação do ar entre as diferentes faces dos edifícios, o que poderia provocar efeitos de depressão e sucção (Trotman et al. 2004).

As vantagens a enumerar em relação aos sistema de fachada ventilada são: ser pouco sensível a imperfeições, conter uma segunda linha de defesa à entrada da água, proteger a camada que desempenha a estanquidade ao ar da radiação ultra-violeta e oscilações térmicas e facilitar a secagem caso alguma água penetre na cavidade.

Desvantagens consideradas são: a elevada espessura de parede resultante, maior complexidade de concepção e execução e custo elevado (CSSBI 2002).



### 3.4.2 Isolamento térmico

Tal como foi descrito no capítulo 2.7, relativo à questão da sustentabilidade das construções, a fase operacional é aquela tem maior peso no impacto ambiental dos edifícios, nomeadamente devido à energia consumida para manter o conforto térmico adequado aos habitantes e utentes que os utilizam.

Por forma a reduzir os custos e emissões de poluentes associados à energia consumida para a climatização artificial dos edifícios é necessário que estes ofereçam um desempenho térmico adequado à zona climática em que se localizam.

De uma forma resumida os parâmetros que caracterizam e influenciam directamente o comportamento térmico de um edifício são: i) coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente; ii) inércia térmica da construção; iii) área e factor solar dos vãos envidraçados e iv) taxa de renovação de ar (RCCTE 2006).

O coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos que compõem a envolvente refere-se à quantidade de calor que é conduzido através dos materiais por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que separa pelo que, quanto menor for este valor, maior é a sua capacidade de isolamento.

A inércia térmica ( $I_i$ ) interior de uma construção é função da capacidade de armazenamento de calor que os compartimentos apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos de compartimentação. A massa superficial útil está associada à constituição do elemento e caso este integre uma camada de isolante térmico, somente a espessura situada do lado interior desta é contabilizável.

A energia solar que é irradiada através dos vãos envidraçados para o interior dos compartimentos é dependente da área e do factor solar destes, sendo este controlado pela sua orientação, existência ou não de obstruções, eficiência dos dispositivos de protecção e propriedades do vidro. O calor que é transmitido pelos vãos envidraçados é a principal fonte natural de energia que penetra no interior dos compartimentos, podendo ocorrer tanto por radiação directa nos vãos expostos ao Sol, como também por difusão ou reflexão em vãos orientados para os restantes quadrantes.

A taxa de renovação diz respeito ao caudal horário de entrada de ar novo para renovação do ar interior de um edifício, estando limitado a um valor mínimo para manutenção das condições de salubridade.

### 3.4.2.1 Caracterização do desempenho térmico das construções LSF

Nos edifícios com estrutura em aço enformado a frio, que são revestidos por painéis, resultam paredes pouco espessas para fins de cálculo de massa superficial (10 a 30 mm). Uma característica comum nos edifícios construídos com massa específica baixa é a sua reduzida inércia térmica, podendo resultar numa excessiva oscilação térmica da temperatura interior em zonas climáticas com uma elevada amplitude térmica diária (como é exemplo Portugal continental) (Mendonça 2005). É de referir que edifícios caracterizados como construção “pesada” podem igualmente apresentar uma inércia térmica baixa devido à introdução de materiais isolantes nas superfícies interiores (ex.: pavimentos flutuantes, alcatifas, tectos falsos) e integração de mobiliário fixo (LSK 2005).

Por forma de suplantar esta limitação os edifícios de construção “leve” devem ser concebidos de forma a limitar as perdas de calor na estação de arrefecimento e ganhos térmicos na estação de arrefecimento, controlando variáveis como a dimensão e orientação dos vãos envidraçados, dispositivos de protecção e capacidade isolante da envolvente construtiva. Santos refere que em edifícios de ocupação intermitente, como é o caso do sector residencial, o valor reduzido de inércia térmica apresenta a “vantagem” de permitir a climatização imediata do ambiente interior com recurso a sistemas AVAC, que só necessitam ser activados nos momentos em que o edifício é ocupado (Santos et al. 2010).

Lawson argumenta que para fins de climatização no contexto residencial britânico, uma moradia de dois pisos construída com uma solução LSF consome menos 100 kWh/m<sup>2</sup> por ano, representando uma redução de 30% em relação a uma construção tradicional. Segundo o autor este tipo de soluções permite obter componentes de envolvente construtiva com coeficiente de transmissão térmica até 0,15 W/m<sup>2</sup> °C, sem aumento substancial da massa e com níveis de energia incorporada inferiores às soluções tradicionais (Lawson 2007).

Recentemente, num empreendimento de 5 pisos situados em Southwark - Londres, a utilização de painéis de preenchimento com estrutura enformada a frio com isolamento integrado e três soluções distintas de revestimento exterior (reboco, tijolo à vista e azulejo) como envolvente construtiva, permitiu valores de coeficiente de transmissão térmica de 0,11 W/m<sup>2</sup> °C (Architecture Today 2012).

Na investigação protagonizada pela equipa de Santos, que consiste no estudo analítico e experimental de uma construção LSF localizada em Coimbra, é feita a verificação dos valores de transmissão térmica dos vários componentes da envolvente construtiva para todos os cenários climáticos contemplados para o território nacional pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, sendo sempre cumpridos os valores máximos em todos os pontos, resultando na classificação “A” em termos de eficiência energética do edifício (Santos et al. 2010).

### 3.4.2.2 Pontes térmicas

A eficiência térmica da envolvente construtiva de um edifício é função do desempenho térmico dos componentes planares que a constituem (ex.: paredes, coberturas, vãos envidraçados) e as perdas de calor locais passíveis de ocorrer nos remates e penetrações por outros elementos construtivos. Essas descontinuidades provocam uma alteração local de comportamento em relação à condutividade térmica num mecanismo que é denominado de “ponte térmica”, podendo ser provocado por diversas causas: i) geometria (cantos), ii) fenestrações, iii) ligações e interfaces estruturais, iv) penetrações na envolvente construtiva, v) elementos estruturais (lintéis, suportes de revestimentos) ou vi) execução deficiente (Way & Kendrick 2008).

Uma das particularidades do funcionamento das pontes térmicas é a que o seu efeito condutor será mais pronunciado quanto menor for o valor de transmissão térmica da zona corrente adjacente. No caso das paredes

de cavidade compostas por elementos de aço enformados a frio é necessário que este efeito seja seriamente considerado em fase de concepção, pelo facto das zonas específicas onde estão localizados os perfis serem caracterizadas por um valor de transmissão térmica superior em relação à zona corrente intermédia, que normalmente é preenchida com material isolante.

Este efeito acontece em qualquer tipo de parede não monolítica, sendo o calor conduzido directamente através da cavidade, assim como através dos elementos estruturais que fazem a ponte entre as duas faces. Nesse caso ambos os coeficientes de transmissão térmica devem ser considerados, de forma a calcular o desempenho global do componente (SFA 2008).

No estudo liderado por Santos é demonstrado o impacto dos elementos de aço que constituem a estrutura no coeficiente de transmissão térmica envolvente construtiva vertical. Através da simulação no *software* THERM (2003) conclui-se que este efeito de ponte térmica leva a um aumento do valor de transmissão térmica ( $U=0,269 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) em relação ao valor teórico da zona corrente ( $U=0,210 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ) para uma composição de parede com painel simples de gesso cartonado, perfil C de 90 mm, preenchimento com lã mineral em toda a espessura da cavidade, placa de OSB de 11 mm e sistema ETICS com 33 mm de espessura (Santos et al. 2010).

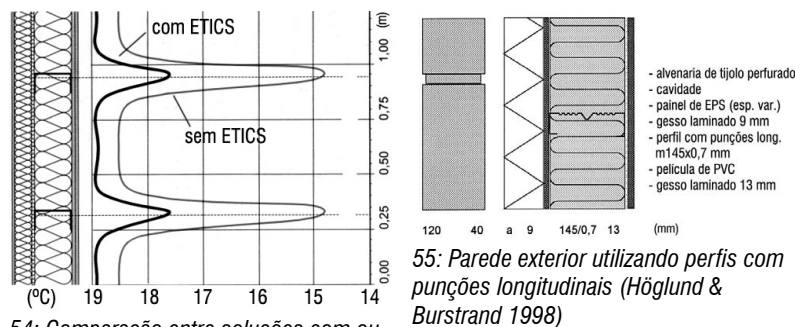
Existem três formas de reduzir o efeito de ponte térmica na construção com aço: a) eliminar a ponte térmica mantendo toda a estrutura no interior do isolamento térmico (*warmframe*), b) isolar localmente qualquer elemento que penetre a envolvente construtiva, c) reduzir o efeito de transmissão térmica utilizando cortes térmicos.

A primeira estratégia passa pela aplicação de uma camada adicional de isolamento térmico exterior, sobre o qual é então aplicado o revestimento final. Esta camada é muitas vezes solucionada com um sistema integrado de revestimento delgado sobre isolamento pelo exterior (ETICS).

Onde exista a necessidade de um elemento estrutural penetrar a envolvente isolada de um edifício, o efeito de condução térmica deverá ser minimizado com o revestimento do elemento com material isolante ou outro mecanismo que torne mais complexo o “percurso” do calor. Isolamento adicional poderá ser aplicado quer no lado interior onde o elemento é fixo, quer no exterior, por forma a minimizar a perda de calor (ou ganho, no Verão) através deste.

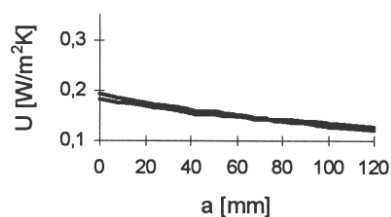
O recurso a barreiras térmicas tem como objectivo a minimização da transmissão térmica entre dois elementos com elevada condutividade térmica através da redução da secção de ligação ou na introdução de um material com baixa condutividade térmica. Um dos exemplos consiste em elementos de apoio para fixação de painéis de fachada usualmente constituídos por aço inoxidável, que têm como características para além de maior resistência à corrosão também a baixa condutividade comparativamente com o aço carbónico (Way & Kendrick 2008).

Outro tipo de produto que tem como objectivo a minimização da transmissão térmica são os perfis com punções ou cortes longitudinais. Estes foram desenvolvidos como forma de integrar o aço em paredes exteriores em climas frios e são já de aplicação comum nos países escandinavos. Estes elementos integram um padrão de cortes longitudinais ao longo da alma dos perfis, tornando mais complexo o “percurso” do calor entre banzos e diminuindo o efeito de ponte térmica do elemento metálico. As construções “*light steel framing*” de países como a Suécia integram estes elementos em paredes resistentes, como também em painéis de preenchimento em estruturas porticadas (Höglund & Burstrand 1998).



54: Comparação entre soluções com ou sem revestimento pelo exterior (ETICS) e Influência da presença dos montantes na temperatura interior (LSK 2005)

55: Parede exterior utilizando perfis com punções longitudinais (Höglund & Burstrand 1998)



56: Valor de coeficiente de transmissão térmica do modelo de parede da imagem anterior, conforme espessura de EPS (Höglund & Burstrand 1998)

### 3.4.2.3 Isolamento integrado na cavidade

Uma das soluções para a melhoria (diminuição) do coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente passa pela integração de materiais isolantes térmicos na constituição da mesma. No que diz respeito ao isolamento térmico em soluções constituídas por perfis enformados a frio existe uma camada que pode ser automaticamente integrada na cavidade formada entre os elementos constituintes da estrutura e os painéis que os revestem. Neste sentido a espessura dos componentes da envolvente construtiva, nomeadamente das paredes, é função não só das exigências estruturais do perfil a integrar no seu interior, como também do desempenho térmico pretendido. Por forma a não propiciar a circulação de ar no seu interior, resultante de diferenças de pressão do ar entre compartimentos ou quando a estanquidade à entrada de ar exterior não for assegurada pelo revestimento, esta cavidade deve ser completamente preenchida com material isolante (LSK 2005).

### 3.4.2.4 Isolamento pelo exterior

Na abordagem de minimização de pontes térmicas através do conceito “*warm frame*” a camada de isolamento térmico é transposta para o exterior da estrutura, formando uma pele contínua ao longo da envolvente vertical. Neste sentido pode não ser necessária a aplicação de isolamento na cavidade, embora esta opção seja condicionada a espessuras até aos 100 mm por questão de estabilidade do material isolante, não se constituindo por isso a prática mais comum.

Esta solução minimiza o impacto da estrutura no comportamento térmico da construção e torna-se mais eficiente para a qualidade geral da envolvente construtiva vertical comparativamente com o isolamento integrado na cavidade, que se pode tornar uma operação substancialmente complexa em pontos de ligação estrutural e que está sujeito ao risco de condensação intersticial. As espessuras utilizadas em isolamento pelo exterior são normalmente inferiores que aquelas aplicadas em cavidade, tendo em conta o mesmo desempenho térmico (SFA 2008).

Uma forma comum de isolamento exterior são os designados sistemas ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), também conhecidos como EIFS (*External Insulation and Finish System*) em países anglo-saxónicos, SATE (*Sistema de Aislamiento Térmico Exterior*) em Espanha ou ainda sistema *Capotto*, por banalização de um produto comercial de origem italiana. Estes sistemas de isolamento são constituídos por um produto pré-fabricado de isolamento térmico (normalmente poliestireno expandido) que é fixo a um suporte rígido e perfeitamente plano por colagem, mecanicamente ou ainda por combinação das duas soluções. A face exposta do produto isolante é protegida por um reboco aplicado *in situ* constituído por uma ou mais camadas, sendo uma destas reforçada com uma armadura de fibra de vidro imune aos álcalis. Em alternativa podem ser aplicados

revestimentos rígidos, desde que seja verificada a sua compatibilidade em termos de estabilidade e durabilidade do sistema de fixação.

No contexto norte-americano é contemplada a aplicação do isolamento directamente sobre a estrutura metálica (SFA 2008), não sendo no entanto esta a situação mais comum, constando na fixação mecânica ou colagem sobre os painéis de revestimento estrutural.

#### **3.4.2.5 Estação de aquecimento**

Na estação de aquecimento é considerado que, para que um edifício tenha um bom desempenho energético deve-se promover a retenção de calor no seu interior, reduzindo as perdas térmicas. Pelo facto destas construções oferecerem um valor de inércia térmica baixo, por forma a diminuir as perdas de calor, a ventilação deve ser reduzida ao mínimo considerável em termos de salubridade (0,6 mudanças de ar por hora) e os ganhos solares através dos envidraçados devem ser promovidos mantendo os dispositivos de protecção abertos durante o dia (Santos et al. 2010).

#### **3.4.2.6 Estação de arrefecimento**

Na estação de arrefecimento o maior problema relativo ao desempenho térmico de um edifício diz respeito ao aquecimento excessivo no interior. Este é influenciado pelos mesmos parâmetros considerados para a estação de aquecimento: radiação directa através dos envidraçados sob exposição directa dos raios solares, radiação indirecta pela reflexão em superfícies e calota atmosférica e convecção através de volumes de ar estáticos ou dinâmicos. Tendo em conta que o aquecimento do interior dos edifícios pode ser causado por isolamento insuficiente, impermeabilização deficiente, ausência de sombreamento nos vãos envidraçado e ventilação inadequada, a prevenção ou resolução destes erros deve ser controlada pela seguinte ordem de prioridade: redução do factor solar dos vãos, isolamento térmico e estanquidade ao ar eficientes, redução das fontes de calor nos espaços interiores, promoção de uma ventilação adequada do interior para o exterior e optimização do índice de transmissão e inércia térmica dos membros estruturais, especialmente quando existe uma combinação de elementos, que promove o efeito de ponte térmica (LSK 2005).

### **3.4.3 Estanquidade**

O circulação de ar e vapor de água através dos componentes de compartimentação de um edifício são dos factores de maior importância para a salubridade dos edifícios, quer em termos de conforto térmico, quer em qualidade do ar interior, consumo de energia e durabilidade dos elementos construtivos.

A estanquidade tem um impacto significativo no desempenho térmico das construções no geral e deve ser alvo de uma cuidadosa especificação, pormenorização e controle de execução nas construções a “seco”.

#### **3.4.3.1 Estanquidade ao ar e vento**

A penetração e circulação do ar nos edifícios acontece de três formas: por acção do vento, efeito chaminé ou diferencial de pressão entre o interior e o exterior, o qual poderá ser causado por sistemas de ventilação mecânica. Enquanto no Inverno a fuga do ar para o exterior provoca perdas de calor e diminuição dos níveis de humidade relativa, no Verão representa o oposto.

Em relação à acção do vento a ausência de uma barreira eficiente pode provocar a circulação do ar nas cavidades, em particular nos pavimentos com camada de ar interna, podendo levar a um diferencial térmico no interior dos compartimentos. Também o fluxo do ar entre espaços interiores adjacentes deverá ser controlado,

nomeadamente entre fracções autónomas, por forma a evitar a circulação de odores e pó. Estes fluxos de ar podem ser controlados através da adequada especificação e aplicação de barreiras de ar e vapor (LSK 2005).

A estanquidade ao ar consiste na protecção aos fluxos de ar indesejados que podem resultar de diferenças de pressão do ar entre os compartimentos e o ar exterior. Os materiais integrados como isolamento térmico na cavidade, normalmente de natureza fibrosa e de baixa densidade, permitem a circulação do ar, podendo ocorrer uma troca incontrolada de ar entre o interior e o exterior caso esse diferencial exista. No caso da estação de aquecimento, uma vez que ao ambiente aquecido no interior dos compartimentos está associada uma maior pressão do ar, este fenómeno poderá representar a perda de energia calorífica.

Para que este efeito não ocorra é importante que nas construções não monolíticas seja instalada uma membrana na face interna do revestimento exterior que, embora parcialmente permeável, vai evitar que o ar exterior impulsionado pelo vento promova circulação na cavidade. Normalmente neste tipo de construção esta função é exercida pelos próprios painéis que revestem a estrutura, devendo no entanto ser melhorada devido à existência de juntas construtivas. A utilização de sistemas integrados de isolamento e revestimento exterior como ETICS constituem-se igualmente como uma solução com um desempenho considerável em relação a este ponto (Wright et al. 2006).

### **3.4.3.2 Estanquidade ao vapor**

Por forma a promover a salubridade e longevidade das construções, para além ser necessário implementar barreiras à água no estado líquido, é importante incorporar soluções que evitem a ocorrência de condensação nas superfícies e camadas intersticiais que compõem os componentes de compartimentação.

Se o revestimento interior não for suficientemente selado, o vapor de água proveniente do interior dos espaços e o ar aquecido (no Inverno) podem penetrar nos componentes da envolvente construtiva através do mecanismo de convecção e provocar condensação nas camadas intersticiais. O volume de água transportada por este mecanismo é significativamente superior ao transmitido por simples difusão. Este fenómeno, caso persistente, resulta em diversos efeitos nefastos, como o aumento da transmissão térmica nos materiais de isolamento térmico, promoção de corrosão dos elementos metálicos, proliferação de fungos e outras alterações físicas e estéticas (LSK 2005).

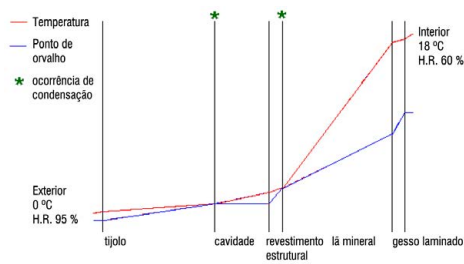
Se por um lado a condensação superficial, que ocorre devido à existência de pontes térmicas, é facilmente detectável visualmente, no caso da condensação intersticial, por ocorrer no interior das cavidades, pode passar despercebida, podendo trazer consequências não evidentes visualmente, como corrosão dos perfis de aço ou saturação do material isolante (Trotman et al. 2004).

Formas de evitar ou controlar a condensação intersticial consistem em:

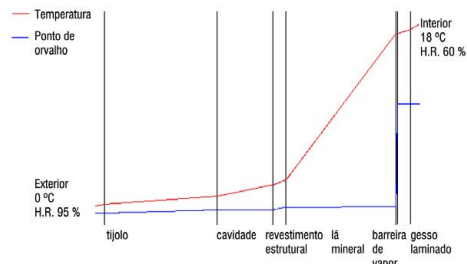
- i) reduzir a pressão do vapor no interior do edifício promovendo uma adequada ventilação e reduzindo as fontes de humidade;
- ii) utilização de materiais com elevada resistência ao vapor no lado aquecido da envolvente, como uma barreira de vapor na forma de uma película de polietileno;
- iii) utilização de materiais com reduzida resistência ao vapor na face não aquecida do vapor;
- iv) incluir uma cavidade ventilada no lado aquecido da envolvente construtiva, como pode ser o caso do desvão de uma cobertura inclinada isolada termicamente;



- v) utilizar materiais de elevada resistência térmica junto aos elementos não aquecidos da construção, como exemplo as soluções em “warm frame” permitem que toda a estrutura se mantenha com temperatura acima do ponto de orvalho e elimina o risco de condensação (Trotman et al. 2004).



57: Relação entre temperatura e ponto de orvalho (Trotman et al. 2004)



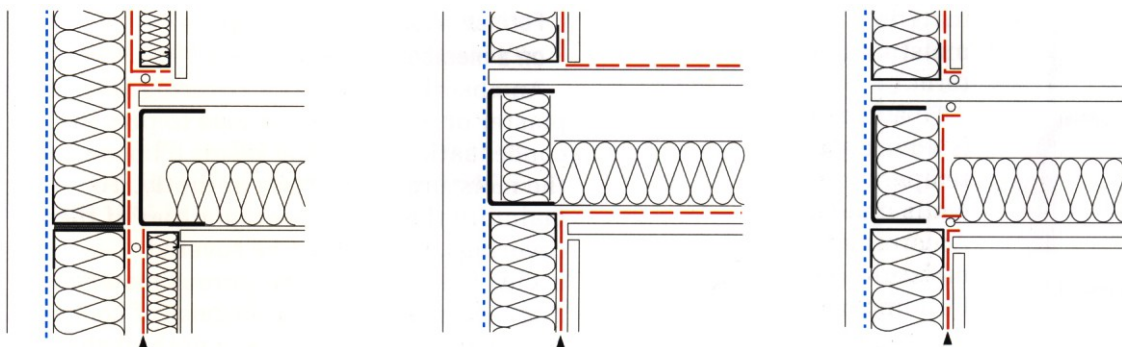
58: Relação entre temperatura e ponto de orvalho, com barreira de vapor (Trotman et al. 2004)

A questão da estanquidade e controlo do vapor deve ser apropriadamente considerada em fase de concepção construtiva. Caso seja negligenciada e daí resultem problemas de desempenho durante a fase operacional do edifício, os custos de reparação serão consideravelmente elevados e dificilmente remediáveis na totalidade.

A estanquidade dos componentes de compartimentação entre os diferentes espaços de um edifício e o exterior é obtida, em primeiro lugar, através da pintura de todas as juntas entre painéis e, em segundo com a instalação de uma membrana barreira de vapor na face interna do revestimento exterior, evitando a entrada de humidade (LSK 2005).

Embora a condensação intersticial seja normalmente causada pelo transporte do vapor de água por difusão através dos materiais sólidos, uma quantidade substancial penetra na constituição de paredes e cobertura através de juntas construtivas e fissuras com dimensão suficiente para a sua passagem, embora estanques à água líquida. A especificação e execução de membranas com a função de barreira de vapor deve ter em conta a devida selagem nas juntas de continuidade, limites e quando penetradas por canalizações ou outras instalações técnicas.

A sua aplicação deve ser localizada na face quente do isolamento térmico. Caso seja situada no lado exterior do isolamento poderá ocorrer condensação do vapor de água proveniente do interior dos compartimentos, com as resultantes consequências no desempenho do material isolante e possível corrosão dos perfis metálicos (Trotman et al. 2004).



59: Controlo da humidade intersticial em estrutura em balão e plataforma, membrana azul permite difusão, membrana vermelha é barreira de vapor (LSK 2005)

De uma forma geral soluções de revestimento interior como gesso laminado ou derivados permitem um controlo do nível de humidade no interior dos espaços devido à estrutura porosa do material de que são compostos, ocorrendo a sua saturação de uma forma significativamente lenta. Para que as propriedades dos mesmos se mantenham é importante que, quando revestidos com acabamentos estéticos, a solução aplicada tenha um nível de porosidade semelhante (LSK 2005).

### 3.4.4 Isolamento acústico

Consistindo o som num fenómeno energético que consiste na vibração das partículas do ar e materiais, a forma como os seres humanos o percebem determina a forma como este é descrito e quantificado. Nesse sentido esta forma de energia pode ser caracterizada através de dois factores: o nível (volume) e a frequência (tonalidade). Tanto o nível de som percebido, como a sua absorção pelos objectos são expressos em decibéis (dB) enquanto a tonalidade ou frequência é representada em Hertz (Hz).

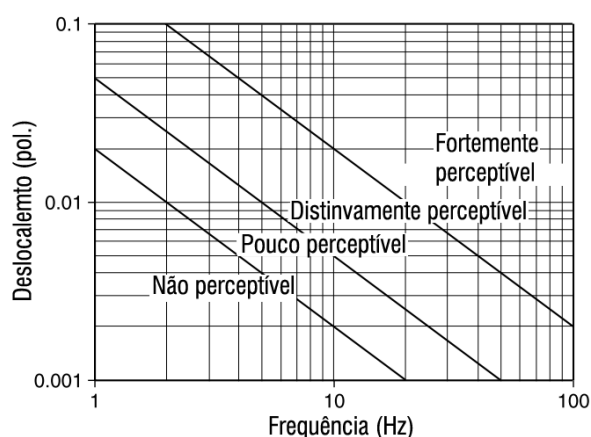
O conceito universal de isolamento sonoro define-o como a diferença entre o nível médio de pressão sonora produzido num determinado compartimento emissor e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento receptor.

Na análise e concepção acústica dos edifícios são previstas duas formas de transmissão da energia sonora: os sons de condução aérea e o som de impacto ou percussão.

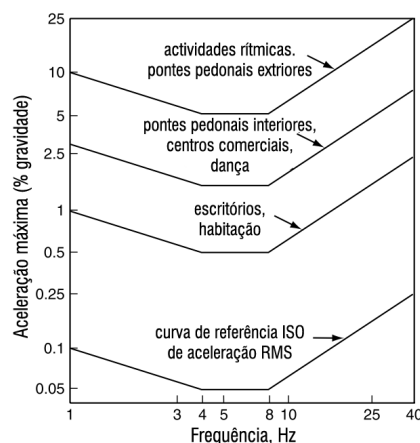
Nos primeiros é importante que o valor de redução sonora dos componentes de compartimentação tenha o valor mais alto possível, expresso em decibéis (dB) e a frequência fundamental de ressonância com o valor menor possível, expressa em Hertz (Hz). O ouvido humano é sensível a uma gama de frequências enquadrada entre os 20 e os 20000 Hz, embora as diferentes fontes de ruído provenientes da actividade humana tenham diferentes perfis de enquadramento nesta largura de banda. Desta forma, no que diz respeito ao isolamento a sons de condução aérea, este deve ser indicado para a fonte de ruído predominante. Por exemplo, no caso de fontes vocalizadas, estas desenvolvem-se numa largura de banda entre os 100 e os 5000 Hz.

A percepção humana à vibração nos componentes construtivos resulta da combinação do movimento do componente, da percepção física e da reacção psicológica. Segundo Grether (1971) o ser humano é particularmente sensível a movimentos oscilatórios dentro da gama dos 4 a 8 Hz devido à própria frequência de ressonância do corpo e pulsação sanguínea dos órgãos internos. Esta questão é alvo de alguma subjectividade, pois a percepção de vibrações exteriores está dependente do grau de actividade do indivíduo no instante em que este é exposto (Xu 2011).

Uma vez que os pavimentos são os componentes que estão mais sujeitos a movimentos de impacto, devido à própria actividade de caminhar, estes devem ser concebidos de forma que a frequência fundamental de vibração seja superior a 8 Hz ou que os valores de aceleração (RMS – *root mean square*) sejam inferiores aos estipulados na norma ISO 2631 - *Standard for Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration* (Xu 2011; ISO 2003).



60: Escala modificada Reiher-Meister (Xu 2011)



61: Limites de aceleração conforme ISO 2631-2 (Xu 2011)

No exercício de pormenorização e especificação de soluções construtivas são previstos dois caminhos simultâneos que o som descreve entre dois compartimentos: a transmissão directa, normal aos planos que definem os componentes de compartimentação e a transmissão marginal, que acontece nas intersecções destes planos e juntas construtivas complanares, percorrendo os interfaces entre materiais e estrutura. A primeira depende das propriedades dos materiais que constituem os componentes de compartimentação, enquanto a transmissão marginal é influenciada pelos pormenores que definem as ligações entre os componentes e estrutura e depende directamente da qualidade de execução em obra.

A redução sonora provocada pelos componentes de compartimentação de uma construção é controlada por três características: massa, isolamento e selagem.

O efeito da massa, característico dos elementos monolíticos obedece à denominada “lei da massa”, sendo aplicável em materiais com uma densidade entre  $10 \text{ kg/m}^3$  e  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Esta regra sugere que a capacidade de absorção de um volume sólido aumenta sensivelmente 5 dB por duplicação da massa (LSK 2005).

O isolamento parte do princípio que num sistema composto por várias camadas o desempenho global praticamente equivale à soma do valor de absorção sonora de cada uma delas, desde de que funcionem isoladamente.

À semelhança do que acontece em relação ao desempenho térmico, na construção leve como o “*light steel framing*”, são atingidos níveis satisfatórios de redução sonora a sons de transmissão aérea, embora seja caracterizada por uma reduzida massa em todos os componentes. Devido à presença da cavidade, delimitada pelos painéis que compõem os componentes de compartimentação, os componentes de compartimentação funcionam como um sistema de parede dupla, em que o desempenho de redução acústica é correspondente ao somatório do valor de redução de cada camada constituinte. Como exemplo, no caso de se utilizarem painéis com uma redução acústica correspondente de 25 a 30 dB é expectável que uma solução de parede obtenha uma redução sonora global de 50 a 60 dB. É importante notar que a eficiência de um sistema destas características depende da largura da cavidade, da qual está dependente a frequência de ressonância. No caso de parede simples considera-se que a cavidade de não deve ser inferior a 40 mm (LSK 2005; Gorgolewski & Couchman 2003). Nos sistemas de parede com função de compartimentação entre duas fracções, com espessura da cavidade inferior a 200 mm, é possível que a frequência de ressonância se enquadre dentro da gama audível, podendo ser reduzido este efeito com a introdução de materiais absorventes como a lã mineral (Uris et al. 2006).

No que diz respeito à selagem, dado que qualquer folga na união entre paredes perpendiculares, tectos e pavimentos poder representar uma deterioração significativa do desempenho acústico, as ligações entre estes componentes devem ser cuidadosamente pormenorizadas. Os encontros entre os planos que compõem os diferentes componentes de compartimentação devem ser selados e colmatados com recurso a fitas e materiais destinados a esta função. Os vazios intersticiais nas zonas das ligações estruturais são normalmente preenchidos com lãs minerais, assim como selantes de alta densidade nas juntas resultantes entre materiais. Os painéis que compõem componentes de compartimentação entre diferentes fracções ou unidades de alojamento não devem ser penetrados com condutas técnicas. O desempenho acústico de um edifício é sensível à qualidade de execução durante a fase de construção. A existência de brechas não colmatadas, a não aplicação de materiais absorventes onde prescrito pelo projectista ou a não correcta fixação destes pode ter um impacto significativo em relação a este ponto, tornando a posterior identificação e resolução de problemas mais complexa.

De uma forma geral as soluções construtivas com estrutura de perfis enformados a frio consistem na sobreposição de várias camadas com uma ligação rígida mínima, integrando materiais absorventes nas cavidades dos componentes de compartimentação. Estas são passíveis de obter um bom desempenho acústico,

desde que sejam seguidas as seguintes regras na concepção e especificação em projecto:

- i) construção por sobreposição de camadas como gesso laminado ou chapa OSB;
- ii) maximizar a separação estrutural entre camadas;
- iii) separar a estrutura das camadas de revestimento através de perfis ou películas resilientes;
- iv) colmatação de vazios dentro das cavidades dos componentes de compartimentação através da inserção de material absorvente, como lã mineral;
- v) evitar a propagação do ar entre componentes e compartimentos implementando soluções de selagem (Gorgolewski & Couchman 2003).

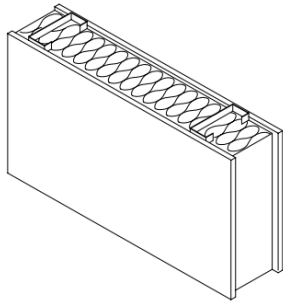
#### **3.4.4.1 Paredes**

Segundo o descrito no actual Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE 2008) as paredes de compartimentação entre fracções distintas necessitam essencialmente de corresponder a requisitos mínimos de redução de transmissão de sons aéreos.

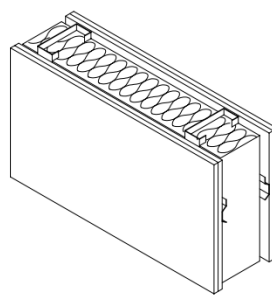
As soluções de parede na construção metálica “leve” utilizam duas ou mais camadas com massa relativamente reduzida (8 a 26 Kg/m<sup>2</sup>) com uma camada de ar de separação. Quanto maior for a independência física e estrutural de cada camada, melhor será o seu desempenho acústico. Em utilizações de maior exigência, como é o caso das paredes meeiras entre fracções habitacionais, pode ser necessário que a parede seja composta por duas estruturas independentes paralelas sem ligações rígidas entre elas, reduzindo significativamente a transmissão de vibrações. Na Figura 64 está representado um exemplo de solução com esta descrição em que existe uma separação mínima de 25 mm entre as duas estruturas paralelas, sendo aplicada uma camada de lã mineral não revestida, com espessura mínima de 50 mm e densidade entre 30 e 60 Kg/m<sup>3</sup>, inserida no espaço intersticial entre estruturas ou na cavidade de cada uma das estruturas (Gorgolewski & Couchman 2003).

Numa investigação liderada por Uris foi estudado o efeito da introdução de um painel de gesso laminado na zona intersticial de uma solução de parede dupla semelhante à descrita anteriormente. Embora esta inovação possa trazer vantagens do ponto de vista de protecção contra o fogo, foi demonstrado que não introduz melhorias no desempenho acústico, pelo facto de tender a funcionar como um sistema monolítico e que, pela sua reduzida massa (43 kg/m<sup>2</sup>), resulta numa diminuição na redução sonora e aumento da frequência fundamental do componente (Uris et al. 2006).

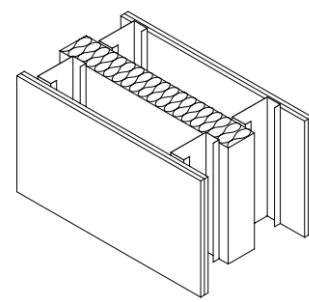
Outra solução para aumentar o factor de redução sonora do componente, consiste na utilização de perfis de comportamento resiliente entre a estrutura da parede e o painéis de revestimento, os quais vão reduzir o efeito de transmissão directa do som pela estrutura. O aumento na densidade dos panos de parede também auxilia neste efeito. Gorgolewski e Couchman apresentam uma solução de parede meeira em que é utilizada uma estrutura simples com fixação de perfis resilientes em cada um dos lados da parede, aos quais são fixos os painéis de revestimento, neste caso camada dupla de painel de gesso laminado acústico de 15 mm – Figura 63. Os autores alertam para o facto deste tipo de solução, embora de comportamento razoável na zona corrente da parede, ser mais susceptível a “fugas” de transmissão marginal (Gorgolewski & Couchman 2003).



62: Parede com camada simples de gesso laminado e lã mineral  $R_w = 48$  to  $53$  dB (Gorgolewski & Couchman 2003)



63: Parede com perfis resilientes e camada dupla de gesso laminado,  $D_{nT,w} + C_{tr} = 50$  dB (Gorgolewski & Couchman 2003)



64: Parede com estrutura dupla, separação com lã mineral e camada dupla de gesso laminado,  $D_{nT,w} + C_{tr} = 52$  to  $56$  dB, (Gorgolewski & Couchman 2003)

$R_w$  representa o valor de redução sonora avaliado em laboratório de um determinado componente de divisão entre dois compartimentos interiores, conforme descrito na EN ISO 717-1 (Gorgolewski & Couchman 2003).  $D_{nT,w}$  representa o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea um determinado compartimento, como local emissor, e quartos ou zonas de estar de um fogo, como locais receptores;  $C_{tr}$  representa o termo de adaptação definido na EN ISO 717-1 (RRAE 2008).

#### 3.4.4.2 Pavimentos

Os pavimentos entre fracções autónomas deve responder a requisitos acústicas quer a sons de transmissão aérea, quer a sons de percussão.

Em relação aos primeiros a abordagem é semelhante ao que acontece nas paredes meieras, tendo como princípio fundamental a separação da estrutura de pavimento do revestimento de sobre-piso, assim do tecto do piso inferior. Este isolamento é obtido com a introdução de materiais ou perfis resilientes, que permitem uma redução na transferência da vibração entre camadas. Uma composição usual de pavimento inclui uma malha linear de vigotas com alma superior a 150 mm, com aplicação de lã mineral para absorção acústica sobre o painel que delimita o piso inferior. Para execução do plano horizontal que consiste o pavimento pode ser utilizada uma solução de *decking* com painéis de OSB ou semelhante, sendo também usual a execução de uma de laje compósita de espessura reduzida de betão armado sobre chapa perfilada (Gorgolewski & Couchman 2003).

No caso de *decking* com painéis de OSB ou outro revestimento estrutural são utilizadas de forma comum três soluções de acabamento:

- i) pavimento flutuante, consistindo numa camada resiliente (30 a 50 mm de lã mineral de 120 a 400 Kg/m<sup>3</sup>), uma folha de gesso laminado (para adicionar massa) e finalmente o piso de acabamento;
- ii) pavimento sobre ripado de madeira, com fixação de uma camada resiliente na face inferior, disposição de lã mineral (mínimo de 20 mm de espessura) no espaço intercalar e finalmente o pavimento de acabamento. Neste caso é recomendável a introdução de uma folha de gesso laminado sobre o ripado, sobre a qual será disposto o pavimento final (resistente mecanicamente). Os parafusos de fixação do pavimento não devem perfurar a camada resiliente sob o ripado;
- iii) betonilha leve sobre uma camada resiliente, normalmente composta por lã mineral ou outro material esponjoso de alta densidade indicado para o efeito (Gorgolewski & Couchman 2003).

O desempenho acústico a sons aéreos também pode ser controlado de uma forma significativa com um tratamento adequado do tecto que reveste a face inferior dos perfis metálicos. Os painéis de revestimento podem

ser fixos de três formas: a) directamente, b) em perfis resilientes ou c) suspensos numa sub-estrutura independente da estrutura resistente. Tal como nas paredes a densidade do painel tem um impacto significativo na redução sonora, sendo variável segundo o número de painéis acoplados ou constituição dos mesmos.

A transmissão de sons de percussão é um factor que deve ser alvo de uma análise cuidada na concepção de lajes de pavimento com as estruturas de aço enformado a frio, com o intuito de evitar soluções mais complexas e dispendiosas na fase de construção ou mesmo já em uso. A construção metálica leve implica, por defeito, uma reduzida massa própria e é caracterizada por um reduzido amortecimento das vibrações, nomeadamente as induzidas pelo acto de andar, resultante da ocupação normal dos compartimentos.

Xu desenvolve uma investigação iniciada em 1999, incluindo análise numérica e campanhas experimentais com cargas estáticas e dinâmicas em espécimes laboratoriais e “reais” com o objectivo de identificar os parâmetros críticos que contribuem para a redução na vibração de pisos que utilizam estruturas desta tipologia. Algumas conclusões que o autor retira:

- 1) a aplicação de uma betonilha leve à base de gesso aumenta a rigidez e massa do pavimento diminuindo a vibração do mesmo desde que a frequência fundamental do sistema se mantenha acima dos 10 Hz;
- 2) o sistema estrutural em balão (*ballon framing*) permite um melhor desempenho em relação ao sistema de plataforma, quando comparadas estruturas de dimensões equivalentes, demonstrando um valor superior na frequência fundamental e redução na flecha quando aplicadas cargas dinâmicas;
- 3) a adição de uma placa de gesso laminado com fixação directa no banzo inferior das vigotas ou através de um perfil resiliente intermédio aumenta a rigidez do conjunto e a massa, sendo comprovada uma redução da flecha e aumento da frequência fundamental. Este efeito não acontece em tectos suspensos “desligados” da estrutura;
- 4) quando comparadas soluções de pavimento em laboratório com equivalentes integradas em construções “reais” foi concluído que os espécimes *in situ* demonstram um melhor desempenho em uso que as primeiras. Em quase todos os casos as soluções construídas manifestaram um valor superior na frequência fundamental e melhor capacidade de absorção das vibrações, sendo passível de concluir que isto deve-se a estas estarem apoiadas sobre os quatro lados e terem paredes apoiadas sobre os pavimentos, enquanto os espécimes de laboratório constituem pavimentos simples com apoio em apenas duas extremidades opostas (adaptado de Xu 2011).

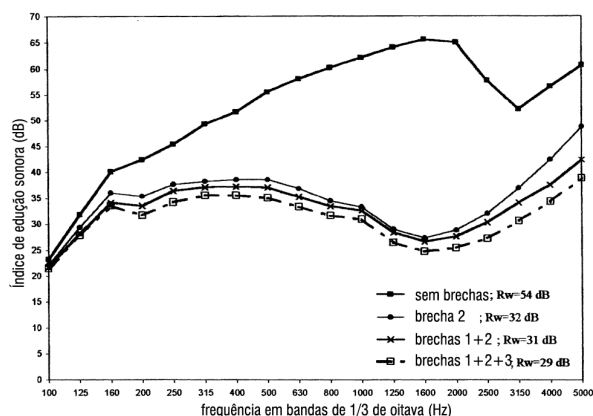
Para além destas considerações estritamente estruturais, alguns cuidados devem ser tidos em conta para assegurar a eficiência da separação estrutural: especificação de um material resiliente com rigidez apropriada para as cargas impostas, durabilidade do mesmo, isolar a camada “flutuante” do pavimento da restante estrutura e componentes nas extremidades, podendo ser executado dobrando esta camada no encontro com as paredes e outros elementos (Gorgolewski & Couchman 2003).

#### **3.4.4.3 Transmissão marginal**

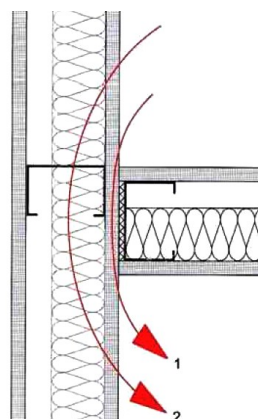
Qualquer brecha que ocorra no encontro de planos perpendiculares ou juntas complanares pode provocar uma degradação significativa no desempenho dos componentes em termos de redução sonora.

No estudo protagonizado pela equipa liderada por Uris, é demonstrado que a existência de pelo menos uma brecha ao longo do comprimento da parede (tomando como exemplo a inexistência de selante) e largura de 1,5 mm representa uma diminuição de cerca de 15 a 40 dB na gama de frequência entre os 400 e 5000 Hz,

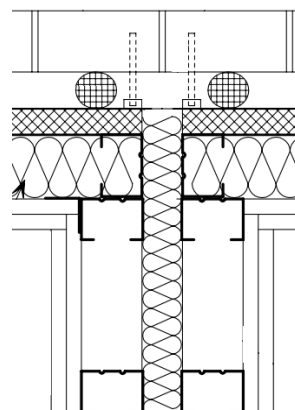
tornando-se significativo para a utilização normal de qualquer compartimento, tendo em conta que este intervalo de frequência enquadra-se na actividade vocal (Uris et al. 2004).



65: Influência de brechas no valor de redução sonora ( $R_w$ ) de paredes interiores (Uris et al. 2004)



66: Transmissão marginal via revestimentos (1) e via cavidade (2), (LSK 2005)



67: Exemplo de resolução de encontro de parede meeira com parede exterior (Way & Couchman 2008)

De forma a reduzir a transmissão marginal devem ser tidas em consideração as seguintes medidas (LSK 2005; Way & Couchman 2008):

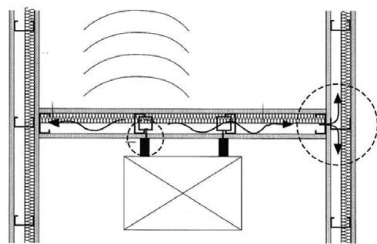
- deve ser evitado o contacto directo entre as superfícies de paredes e pavimentos, de forma a reduzir a transmissão sonora por condução. Os painéis de parede devem ser sobrelevados, num mínimo de 5 mm, em relação ao pavimento, sendo a junta resultante preenchida por selante acústico;
- nos encontros dos pavimentos com paredes exteriores, empenas e paredes meeiras os vazios entre panos devem ser totalmente preenchidos com lã mineral ao longo de uma extensão mínima de 300 mm acima e abaixo do pavimento;
- a estrutura de uma parede exterior não deve ser contínua nas intersecções com paredes meeiras. Deve ser introduzida uma interrupção, a qual deve abranger igualmente o painel de revestimento estrutural;
- onde uma parede meeira encontra uma parede exterior ou de compartimentação simples (dentro da mesma fracção), deve ser introduzida uma camada adicional de material absorvente acústico (lã mineral) adjacente à zona de ligação;
- as paredes de compartimentação sem função estrutural não devem penetrar tectos que componham lajes de pavimento de separação entre fracções, assim como não devem estar em contacto directo com as vigotas que estruturam o pavimento de apoio;
- devem ser evitados vazios nas cavidades de componentes que separam fracções;
- juntas entre materiais de revestimento ou sub-revestimento devem ser colmatadas com selante acústico.

#### 3.4.4.4 Instalações técnicas

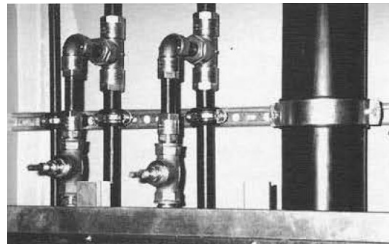
Na integração de condutas e instalações técnicas devem ser considerados os seguintes aspectos:

- em zonas de concentração de várias instalações técnicas (por exemplo nas cozinhas), deve ser prevista a sua integração em ductos com pormenorização acústica adequada;
- a localização de canalizações das redes hidráulicas e eléctricas em paredes meeiras deve ser cuidadosamente pormenorizada e sempre que possível evitada;

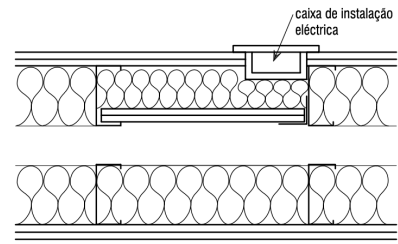
- iii) quando a integração deste tipo de instalação seja inevitável em paredes meeiras, deve ser evitada a sobreposição ou cruzamento de condutas e a zona de passagem colmatada com a inserção de lã mineral e fixação de uma camada dupla de gesso laminado;
- iv) em pavimentos fixos sobre apoios com camada resiliente a passagem de tubagens deve ser executada de forma a evitar o contacto das instalações com os elementos de apoio, devendo estes ser interrompidos, se tal for necessário para cumprir este requisito;
- v) à semelhança do que acontece em paredes meeiras a penetração de condutas em pavimentos de separação entre fogos deve ser reforçada com a execução de uma “caixa” composta por camada dupla de gesso laminado (mínimo de 16 Kg/m<sup>2</sup> no total) e camada mínima de 25 mm de lã mineral (densidade mínima de 10 Kg/m<sup>3</sup>);
- vi) evitar as penetrações de condutas e outras instalações com atravessamento total na direcção normal à parede;
- vii) evitar a concordância de caixas de equipamentos eléctricos ou outros nas faces opostas da mesma parede;
- viii) colmatar qualquer penetração no pano de parede para instalação de caixas de cablagem ou equipamentos com introdução de material absorvente acústico e painel rígido equivalente à composição do pano de parede (mesma densidade e espessura) (Gorgolewski & Couchman 2003).



68: Transmissão de ruído proveniente de equipamentos sanitários (LSK 2005)



69: Fixação de tubagens (LSK 2005)



70: Integração de caixas de instalação eléctrica em paredes meeiras (Gorgolewski & Couchman 2003)

### 3.4.5 Protecção contra fogo

O comportamento ao fogo dos edifícios e materiais que os compõem é um dos principais factores que condicionam as decisões dos projectistas na concepção dos edifícios. Na actual regulamentação nacional (SCIE 2008; RTSCIE 2008) os requisitos a que as operações urbanísticas (execução e funcionamento de edifícios, estruturas temporárias e recintos) são sujeitas estão classificados segundo utilização-tipo, categoria de risco e existência ou não de locais com risco agravado de incêndio.

Este texto não tem como intuito descrever uma análise profunda de todas as exigências relativas às condições de segurança em edifícios e recintos onde sejam utilizados elementos de aço enformados a frio mas, sim, apresentar exemplos de soluções de protecção passiva para componentes de envolvente construtiva e compartimentação que respondem a estes requisitos segundo utilização-tipo.

De uma forma simplista, um dos critérios mais condicionantes na concepção e especificação de soluções construtivas é a altura do último pavimento susceptível de ocupação num edifício, medida em relação ao plano de referência (cota de pavimento do acesso destinado às viaturas de socorro). A edição do regime jurídico de segurança contra incêndio actualmente em vigor (SCIE 2008) estratifica em quatro categorias de risco para todas as utilizações-tipo, sendo na maioria das utilizações equivalente a três níveis generalizados de altura dos



edifícios: até 9 m (inclusivé), de 9 m a 28 m (inclusivé), superior a 28 m. Existem excepções a este critério, como as categorias de edifícios de habitação com altura até 50 m (3ª cat.) ou superior (4ª cat.) ou o caso em que os edifícios para fins de industriais e armazenagem são categorizados conforme carga de incêndio modificada. Outros dos critérios mais relevantes nesta categorização é o número de pisos abaixo do plano de referência e a capacidade de ocupação em termos de efectivo (ocupantes permanentes) e de efectivo de público, para locais destinados a utilizações do tipo comercial, restauração, serviços e administrativos, por exemplo. Estes factores, entre outros descritos no regulamento em questão, determinam a categoria de risco de cada espaço dos edifícios, à qual está associada uma classe de resistência, expressa em minutos, para os componentes estruturais e de compartimentação (paredes, pavimentos, cobertura, vigas, pilares, varandas, escadas, passagens) que o compõem. Entre os vários parâmetros, os mais determinantes para os componentes compostos por perfis de aço enformados a frio são: capacidade de suporte de carga ( R ), estanquidade ( E ) e isolamento térmico ( I ). A tabela apresentada, transposta do regulamento técnico (RTSCIE 2008) que acompanha o referido regulamento jurídico (SCIE 2008), resume os valores mínimos de desempenho exigidos nos elementos estruturais e de compartimentação para as diferentes utilizações-tipo.

*Tabela 9: Quadro síntese adaptado da resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios (RTSCIE 2008)*

Utilizações-tipo	Categorias de Risco			
	1ª	2ª	3ª	4ª
Todas as outras, incl. hab. (I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX e X)	R 30 REI 30	R 60 REI 60	R 90 REI 90	R 120 REI 120
Garagens, bibliotecas, arquivos, indústria, armazéns (II, XI, XII)	R 60 REI 60	R 90 REI 90	R 120 REI 120	R 180 REI 180

Se por um lado, em Portugal, uma parte substancial da aplicação de soluções com enformados a frio destina-se ao sector habitacional de baixa densidade - até 9 m – como por exemplo: moradias uni-familiares ou construção modular até 3 pisos, a utilização destas estruturas para a reabilitação e ampliação de edifícios, com a vantagem de sobrecarga mínima em estruturas preexistentes, pode proporcionar a sua utilização para alturas de piso superiores a 9 m em relação ao plano de referência, inserindo-se portanto em categorias de risco mais exigentes para a capacidade de resistência dos vários componentes.

Embora o aço não se inflame ou propague a chama, um aumento de temperatura substancial pode alterar o seu comportamento mecânico, nomeadamente em características como a tensão de cedência e o módulo de elasticidade e, em certas condições, a própria microestrutura do material, levando a que a capacidade resistente de uma estrutura afectada pelo fogo seja diminuída, propriedade dependente do período de tempo em que está exposta ao fogo em curso (Schulitz 2000).

A resistência ao fogo de um elemento estrutural é definida como sendo o intervalo de tempo decorrido desde o início do incêndio normalizado até ao momento em que o elemento atinja a sua temperatura crítica, temperatura a partir da qual o elemento deixa de satisfazer as funções de suporte de cargas para que terá sido projectado. Esta temperatura crítica depende do grau de carregamento do elemento (Gomes Pinto 2008 a citar Vila Real 2003).

Em termos físicos, no que diz respeito ao comportamento ao fogo, os perfis enformados a frio têm um desempenho algo distinto comparativamente com os laminados a quente. Os últimos, que são utilizados regularmente na forma de secções simétricas (I, H, tubulares) e com espessuras mínimas superiores a 5 mm permitem, inclusivamente, que em situações pouco exigentes (até 30 min.) não seja necessária a aplicação de

protecção contra ao fogo (Gomes Pinto 2008).

O aço sofre uma alteração significativa das suas propriedades mecânicas a partir dos 500 °C, que no caso do aço enformado a frio representa a perda da rigidez atribuída pela operação de enformagem recuperando a ductilidade original do material ((Blanc et al. 1993). Neste sentido o Eurocódigo 3 Parte 1-2 recomenda que se considere o valor de 350 °C como a temperatura crítica para a concepção e dimensionamento de estruturas compostas por elementos Classe 4, englobando os enformados a frio (CEN 2003; Access Steel 2006a).

Este “material” é por norma utilizado em espessuras reduzidas (1,2 mm a 3 mm) na forma de secções assimétricas em uma ou duas direcções (ex.: C,  $\Omega$  ou Z), levando a que, em contacto com temperaturas elevadas, os seus modos de instabilidade (globais e locais) ocorram sob cargas de valores menores àqueles a que são dimensionadas para temperaturas ambientais normais (Feng & Y. C. Wang 2005). Segundo estes autores, este fenómeno é causado pelo diferencial térmico entre os banzos, quando as secções integram uma parede de separação entre um compartimento exposto a incêndio e outro não.

Assim sendo, embora este material seja incombustível, é importante que seja dotado de uma protecção passiva por forma a prevenir e atrasar o aquecimento dos componentes de aço, tendo como objectivo que esse período de tempo seja suficiente para a evacuação do edifício e se possível, permitir o combate e extinção do sinistro. Características comuns de materiais utilizados para esta função são: baixa condutividade térmica, resistência mecânica adequada para a zona aplicada e boa aderência aos elementos a proteger.

As soluções de protecção contra fogo aplicáveis em estruturas deste tipo consistem na utilização de revestimentos rígidos, encamisamento ou introdução na cavidade de placas ou mantas de fibras minerais, pinturas intumescentes e outros materiais aplicados por projecção.

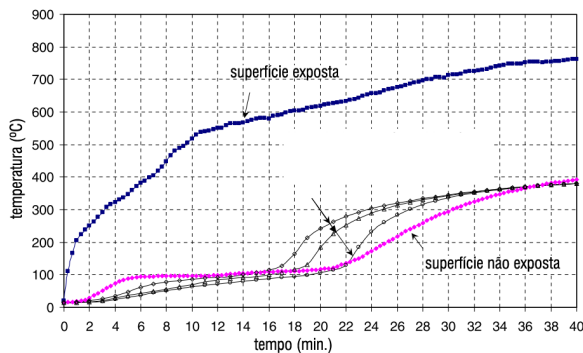
#### **3.4.5.1 Revestimentos rígidos**

Os revestimentos rígidos são a solução que, por razões práticas e económicas, melhor se enquadra para esta função. Uma vez que na construção com enformados a frio os membros portantes estão embebidos na constituição das paredes, por forma a responder às diferentes exigências funcionais relativas a estes componentes (opacidade, estanquidade, isolamento térmico e acústico, etc.), são normalmente revestidos com painéis, o que torna natural terem a função simultânea de protecção contra o fogo. Para esse efeito são correntemente considerados os seguintes materiais para a constituição desses painéis: gesso laminado, podendo integrar fibras de vidro, placas de fibra de vidro com revestimento de gesso, placas de cal aérea, painéis compósitos de fibras de madeira e cimento Portland ou placas de vermiculite.

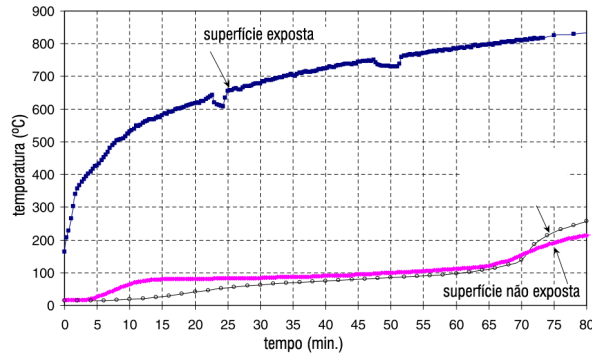
Os produtos que incorporam gesso na sua constituição são os de utilização mais comum, devido à eficácia natural deste material para o efeito de protecção. Este material contém água de duas formas: uma porção de água livre cristalizada e outra porção ligada quimicamente ao material gesso e que integra a sua constituição molecular. O peso de água livre é de cerca de 3% do peso do material, enquanto a quantidade de água ligada quimicamente corresponde a cerca de 21% do peso (Ang & Y. C. Wang 2009).

Em condições de incêndio o gesso reage em duas fases de vaporização conforme a temperatura de exposição. A primeira reacção acontece entre os 100 °C e 120 °C e consiste na libertação das moléculas de água cristalizadas no sulfato de cálcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ), transformando-se em sulfato de cálcio demi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), cerca de 75% do volume de água total. A segunda reacção, que liberta os restantes 25% de volume de água, ocorre a temperaturas cujo valor é discutido entre vários autores, enquadrando-se entre 210 °C e 650 °C, consistindo na calcinação do material com redução de volume e perda de resistência e resultando o sulfato de cálcio anídrico (Ang & Y. C. Wang 2009).

Estas reacções estão associadas a uma absorção de energia que atrasa a transferência de calor no interior do volume da placa e por consequência na zona envolvente - cavidade e elementos metálicos em contacto directo. A vaporização da água contida no volume de gesso é acompanhada de uma redução na densidade do material, o que origina fissurações na placa, possibilitando a passagem do ar quente do compartimento em fogo para a cavidade e em último estágio para o compartimento a proteger. A utilização de camadas sobrepostas de gesso laminado com juntas desfasadas vai introduzir uma melhoria significativa neste aspecto, evitando uma rápida transmissão de calor entre a face exposta e a face não exposta (no interior da cavidade) (Ang & Y. C. Wang 2009). É necessário referir que esta solução evita igualmente a exposição do perfis metálicos nas zonas de junta entre placas.

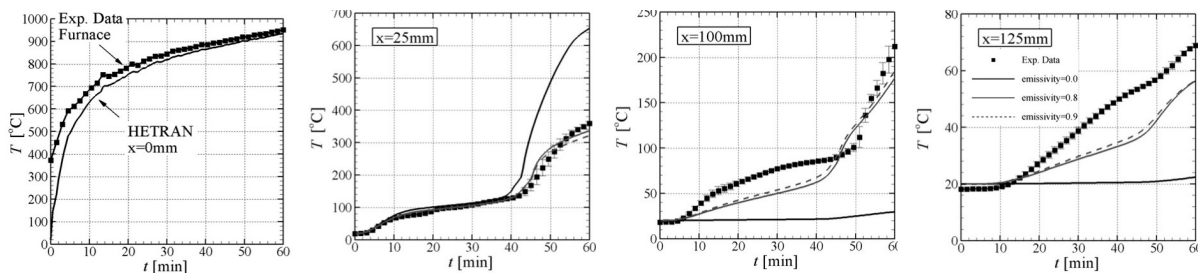


71: Teste de alteração da temperatura superficial em painel de gesso de 12,5 mm de espessura (Ang & Y. C. Wang 2009)



72: Teste de alteração da temperatura superficial em composição com dois painéis de gesso de 12,5 mm de espessura (Ang & Y. C. Wang 2009)

Na pesquisa de Kontogeorgos é analisado o fluxo de calor numa solução de parede com camada dupla de gesso laminado, sendo visível a diferença de temperatura que existe ao longo da secção transversal do componente, nomeadamente entre o ponto 12,5 mm (primeira camada) que ultrapassa o valor de 600°C e o ponto 25 mm (lado interior da face exposta ao fogo) com cerca de 360°C. Neste estudo os autores referem a importância da transmissão da energia calorífera no interior da cavidade na forma de radiação, a qual explica a disparidade dos valores calculados analiticamente sem este factor em consideração quando comparados com os resultados obtidos experimentalmente (Kontogeorgos et al. 2012).



73: Painel de parede testado em fornalha (valores a negrito), posição 0 mm - face exposta directamente, posição 25 mm - face para a cavidade do painel exposto, posição 100 mm - face para a cavidade do painel não exposto, posição 125 mm - face não exposta da parede

### 3.4.5.2 Lãs minerais

São materiais fibrosos, de baixa densidade, disponíveis na forma de mantas ou de placas rígidas, aglomerados pela adição de resinas termo-endurecíveis. A matéria-prima básica utilizada na confecção das placas é o basalto no caso da lã de rocha ou a sílica na lã de vidro. Outro material de utilização semelhante mas para aplicações mais específicas são as mantas cerâmicas, constituídas por fibras silico-aluminosas, constituindo-se como um

produto muito flexível, normalmente aplicado em elementos de aço laminado com recurso a pinos soldados (Gomes Pinto 2008).

Uma questão pertinente na aplicação de lãs minerais na cavidade de paredes está relacionada com a correcta identificação das paredes portantes e não portantes e quais os compartimentos que constituem caminho de evacuação e onde existe maior risco de fogo. Estes materiais são particularmente interessantes na melhoria do comportamento acústico e térmico dos componentes de compartimentação mas, em termos de protecção contra ao fogo, caso sejam aplicados numa localização incorrecta, o seu contributo pode tornar-se nefasto, tendo em conta que isolará termicamente e evitará a dissipação da energia calorífera, levando à concentração do calor junto dos membros estruturais (Schulitz 2000; LSK 2005).

Esta questão pode ser observada na campanha experimental de Feng, onde diferentes configurações de parede são comparadas, tendo como variáveis a configuração dos perfis, número de camadas de gesso laminado e inclusão ou não de lã mineral na cavidade (Feng et al. 2003). Embora nesse estudo os autores não discutam esta questão em específico é interessante ver os resultados apresentados na tabela 10, adaptados do mesmo documento. A análise dos dados apresentados leva a concluir que a inclusão de lã mineral na cavidade não traduz uma melhoria significativa no comportamento ao fogo, sendo inclusivamente observável valores de temperatura crescentes ao longo do tempo em três das quatro variantes do sistema de parede que incluem este material. Este último ponto indicia ser causado pela barreira térmica criada pelo isolamento, levando à não dissipação da energia calorífera (por convecção e radiação) e à sua concentração junto aos perfis metálicos sendo conduzida inevitavelmente através da secção metálica.

*Tabela 10: Temperaturas registadas na face não exposta da parede em teste de fornalha (adaptado de Feng et al. 2003)*

Tipo de montantes	N.º de placas de gesso por lado	Lã mineral na cavidade	Temperatura após 30 min. (°C)	Temperatura após 60 min. (°C)	Temperatura após 120 min. (°C)
Secção U 104x63x1,5 mm	1	Sim	60	99	231
Secção U 104x63x1,5 mm	1	Não	32	49	60
Secção U 104x63x1,5 mm	2	Sim	20	28	50
Secção U 104x63x1,5 mm	2	Não	21	26	43
Secção C 100x54x15x1,2 mm, furado	1	Sim	29	58	82
Secção C 100x54x15x1,2 mm, furado	1	Não	53	91	183
Secção C 100x54x15x1,2 mm	1	Sim	38	88	128
Secção C 100x54x15x1,2 mm	1	Não	41	69	111

No Anexo C apresentam-se diversas hipóteses de compartimentação vertical patentes no documento "European Lightweight Steel-framed Construction" (LSK 2005), sendo possível constatar que nos exemplos de paredes destinadas a funções resistentes não é prevista a inclusão de lã mineral na cavidade, ao contrário do recomendado para paredes não sujeitas a cargas.

### **3.4.5.3 Pinturas intumescentes**

As tintas intumescentes são materiais reactivos formulados com uma série de componentes activos, que sob a acção de temperaturas enquadradas entre 100 °C e 300 °C reagem quimicamente entre si formando uma

espuma carbonosa, provocando um aumento de volume entre 40 a 50 vezes, constituindo-se como uma camada isolante que reduz o aumento da temperatura no aço (Gomes Pinto 2008; Access Steel 2006b). A espessura aplicada é dependente do grau de protecção exigido.

Esta solução de protecção passiva apresenta como vantagens o baixo peso associado, a obtenção de um bom acabamento com impacto mínimo em termos de espessura e textura e a possibilidade de aplicação em elementos de configuração complexa. Este tipo de pinturas pode ser aplicado em obra, embora seja mais eficaz em termos de produtividade quando esta operação é executada em oficina ou fábrica. Por outro lado, obriga a um elevado controlo de qualidade no que diz respeito à espessura aplicada e é necessário que seja previsto espaço para que a expansão da espuma ocorra. No caso de aplicação em elementos enformados esta operação pode tornar-se dispendiosa e complexa devido ao elevado número de perfis e sua configuração, embora se torne interessante para situações em que não se pretenda o revestimento com painéis rígidos de determinados elementos isolados.

Podem ser aplicadas pinturas posteriores com a função de proteger mecanicamente e melhorar o aspecto estético do acabamento, desde que assegurada a compatibilização pelo fabricante no sentido de permitir a adequada expansão do material.

#### **3.4.5.4 Protecções projectadas**

Os materiais aplicados por projecção como meio de protecção passiva consistem em argamassas compostas por diferentes aglomerantes que, quando misturados com água, resultam massas fluídas permitindo a sua bombagem. Estes produtos diferem em termos de densidade, variando entre 250 kg/m<sup>3</sup> e 450 kg/m<sup>3</sup>. Os materiais que usualmente servem de base são: gesso, cimento, vermiculite, resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido e celulose (Gomes Pinto 2008; Access Steel 2006c).

Estas soluções são passíveis de utilização em membros de configuração complexa como treliças ou nós de ligação, sendo normalmente ocultos por tectos falsos ou revestimentos apainelados. Vantagens conhecidas são o relativo baixo custo (comparativamente com pinturas intumescentes, por exemplo), rápida aplicação, facilidade de protecção de elementos complexos, possibilidade de melhorar a protecção à corrosão e a não necessidade de aplicação de primário. Como desvantagens podem-se apontar o aspecto extremamente rugoso, a produção de sujidade na operação de aplicação (obrigando à protecção das restantes superfícies), a necessidade de monitorização cuidada da espessura aplicada, a susceptibilidade a impactos ou outras acções mecânicas, assim como o peso próprio adicionado à estrutura, no caso de membros enformados a frio.

O aspecto estético, habitualmente texturado e espesso, pode ser controlado cromaticamente com a inclusão de aditivos corantes.

A protecção está relacionada com a massa do produto e índice de vazios. A camada adicionada à superfície da secção isola o elemento de aço, evitando a subida da temperatura durante o período de resistência exigido. A espessura depende do factor de secção, classificação de resistência ao fogo do elemento e temperatura crítica da secção dimensionada (Gomes Pinto 2008). No caso do material activo ser o gesso o processo de funcionamento é semelhante ao que ocorre com o painéis laminados compostos por este: quando a temperatura ambiente ultrapassa os 100 °C as ligações químicas existentes no gesso hidratado sofrem alteração, libertando água. Esta reacção absorve a energia da acção do fogo, que seria conduzida para o aço, permitindo que este mantenha uma temperatura relativamente baixa por 20 a 30 minutos, classificado como o período crítico de um incêndio (Lawson 2001; Pignatta e Silva et al. 2006; Gomes Pinto 2008; Park et al. 2011).

#### 4 Comparação com outras soluções construtivas de reabilitação

Por forma a contextualizar a integração desta solução construtiva no panorama da construção em geral é necessário analisar factores como o custo e tempo de execução. A leitura geral proveniente da discussão com intervenientes que projectam e executam estruturas com este sistema é a de que o custo por área é semelhante ao sistema usualmente utilizado em Portugal, que se baseia na utilização de estrutura de betão armado executado *in situ* e alvenaria cerâmica. Embora haja potencial de obter valores mais reduzidos, com recurso à pré-fabricação de painéis ou módulos, reduzindo o desperdício, área de estaleiro e outros constrangimentos característicos do ambiente de obra, as características da actuais necessidades urbanísticas nacionais, assim como o custo relativamente mais elevado dos produtos utilizados neste sistema construtivo levam a que os preços praticados sejam equivalentes ou superiores aos aplicados na construção “tradicional”.

Kopke enumera os factores que têm influência no custo global das soluções LSF distinguindo-os em três categorias. Estes são de ordem comercial: experiência entre as partes envolvidas no empreendimento e historial de colaboração (dono-de-obra, projectistas, construtores), experiência dos projectistas (na optimização da estrutura em termos de custos), envolvimento dos construtores nas fases de projecto, termos de contrato (controlo de custos e coordenação no fornecimento dos materiais), concentração de responsabilidades numa só entidade (contratos “chave na mão”); de ordem técnica em projecto: coordenação entre a arquitectura e especialidades, nível de informatização da documentação, maximização de áreas resultante da reduzida espessura das paredes, minimização do peso próprio da estrutura permitindo economia nos trabalhos de fundação, aplicação de soluções construtivas certificadas, com garantias de fabricante e desempenho comprovado; de ordem técnica em obra: área e organização de estaleiro, gestão eficiente de recursos (número de equipas, meios de transporte, equipamento, coordenação de trabalhos), rendimento de execução (aplicação de técnicas industrializadas, reduzindo o tempo e custo envolvidos nas operações), fornecimento de elementos pré-fabricados com as dimensões exactas para aplicação sem recorrer a adaptações (Kopke 2008).

A equipa de Gervásio, num projecto de investigação protagonizado em 2009 e patrocinado pela ArcelorMittal, concebeu um modelo arquitectónico direccionado para construção semi-modular utilizando uma solução estrutural em LSF, cumprindo todos os requisitos regulamentares correntes. Embora o objectivo deste estudo seja a análise de ciclo de vida (LCA) foi previsto um custo global de construção de 533 €/m<sup>2</sup> (Gervásio et al. 2010).

A investigação liderada por Ciutina faz um comparativo entre uma construção tradicional de betão e alvenaria e outra com estrutura com perfis enformados a frio, para o contexto romeno, também com o objectivo de análise do ciclo de vida (Ciutina et al. 2011). Neste estudo é feita uma descrição dos vários componentes e massa por unidade de área associada: paredes exteriores (50 kg), paredes interiores (54,44 kg), pavimentos (42,39 kg), cobertura (56,44 kg) e fundações em betão (1412,75 kg). Esta construção em específico totaliza uma massa global por área de construção encerrada de 902,42 kg e de 152,67 kg se for contabilizada apenas a construção acima da cota de soleira (excluindo fundações).

Lawson, utilizando dados do Steel Construction Institute britânico relativos à construção de moradias de dois pisos, apresenta valores totais de massa por área de construção de 1113 kg, podendo limitar a cerca de 250 kg caso seja excluída a porção relativa a elementos de betão e alvenaria (utilizados em fundações e na envolvente construtiva). Numa construção tradicional britânica são contabilizados no mesmo estudo 1395 kg de material por metro quadrado de área de construção (Lawson 2007).

Por forma a ser ponderada a competitividade das soluções construtivas com estrutura de perfis de aço enformados a frio para o contexto nacional é apresentado um levantamento de dados que caracterizam diferentes

sistemas construtivos aplicáveis em situação de reabilitação:

- perfis de aço enformados a frio;
- estrutura de madeira;
- betão armado e alvenaria cerâmica.

Com o intuito de objectivar a comparação foram seleccionados dois componentes caracterizantes das diferentes soluções construtivas:

- laje de pavimento com vão até 4 m;
- parede divisória interior não resistente.

As variáveis em comparação são:

- custo de material e mão-de-obra;
- rendimento de execução;
- massa associada aos componentes construtivos.

Estes dados, quantificados em incidência por área de construção, foram obtidos de diversas fontes, nomeadamente na consulta a empresas construtoras, equipas de projectistas, catálogos de fornecedores e bases de dados de orçamentação, sendo possível que os valores de custo e rendimento de recursos seja alvo de alguma variabilidade devido a questões de gestão comercial e de oscilações do mercado.

Os custos contemplados nas tabelas, em euros, não englobam equipamentos, meios auxiliares, custos indirectos e percentagem de lucro.

#### **4.1 Laje de pavimento**

No comparativo das soluções de laje de pavimento é considerado que cada pavimento é composto pelos elementos que o tornam estável tanto em termos estruturais, como funcional do ponto de vista de que tem de constituir uma plataforma horizontal. Não são contempladas as camadas de acabamento superiores ou inferiores, mesmo que esse facto represente desempenhos insuficientes em exigências como o isolamento acústico, estanquidade ao ar ou protecção contra fogo. Esta decisão decorre do facto das soluções não monolíticas compostas por perfis enformados a frio ou elementos de madeira oferecerem inúmeras possibilidades de revestimento. Dando como exemplo a utilização de uma camada de betonilha aligeirada com 40 mm de espessura, solução com um custo adicional de 14,53 €/m<sup>2</sup> e rendimento de execução de 0,258 h/m<sup>2</sup>, que iria adicionar cerca de 46 Kg/m<sup>2</sup> (CYPE 2012c) à massa e aumentar a rigidez dos pavimentos, consiste apenas em uma das hipóteses de resolução, sendo possível obter desempenhos equivalentes de comportamento acústico com o recurso a camadas intercalares e perfis de apoio de comportamento resiliente.

##### **4.1.1 Solução com aço enformado a frio**

O pavimento que utiliza perfis enformados a frio é concebido com a utilização de vigas C200x43x15x2,0 mm, com espaçamento ao eixo de 600 mm, reforço perimetral e intermédio com canais U204x43x2,0 mm e revestimento estrutural com painel OSB classe 3 de 18 mm de espessura. Este conjunto resulta numa espessura do pavimento em tosco de 222 mm.

Os dados sobre custo e recursos de montagem do pavimento foram cedidos pela Futureng - Projectos de Construção Civil, Lda.. A massa associada aos perfis metálicos foi obtida no catálogo de perfis metálicos

estruturais fornecidos pela Perfisa - Fábrica de Perfis Metálicos, S. A. (Perfisa, S.A. sem data). A massa relativa às placas OSB foi obtida no catálogo “Kronoply”, cuja gama de produtos é fornecida pela JULAR - Madeiras, S.A. (JULAR sem data).

Tabela 11. Dados sobre execução de pavimento com estrutura de perfis de aço enformados a frio

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
0,500	ml	Canal U204x43x2,0 mm	4,53	2,27	4,78	2,39
2,000	ml	Viga C200x43x15x2,0 mm	4,96	9,92	5,21	10,42
0,200	ml	Montante C90x43x15x1,5 mm	2,42	0,48	2,55	0,51
0,200	ml	Cantoneira L100x100x1,5 mm	2,36	0,47	2,47	0,49
15,000	un	Parafuso auto-perf. HILTI S-MD01Z 6,3x19 mm	0,01	0,09	0,05	0,75
1,000	m2	Placa OSB Classe 3 18X2500X1250 mm (630 Kg/m3)	11,52	11,52	9,62	9,62
22,000	un	Parafuso autoperfurante com asas 4,8x32 mm			0,06	1,32
					24,75	25,50
Quantidade	Unidade	Recurso			Custo un.(€)	Custo (€)
0,280	h	Montador	execução de estrutura		16,00	4,48
0,280	h	Ajudante de montador			13,00	3,64
0,250	h	Ajudante de montador	aplicação de revestimento		13,00	3,25
0,530						11,37
					Total	36,87

#### 4.1.2 Solução com madeira

A solução de pavimento em madeira é composta por vigotas de madeira com secção 100x200 mm, com uma espaçamento entre eixos de 600 mm. O revestimento estrutural é executado com painel OSB classe 3 de 18 mm de espessura. Este conjunto resulta numa espessura do pavimento em tosco de 218 mm.

Para a obtenção dos custos e rendimento de recursos foi contactada a empresa Portilame - Engenharia e Madeira, Lda., sediada em Viana do Castelo, da qual se obteve um custo total para a operação de 76,00€/m<sup>2</sup> (material e mão de obra de dois operários) e rendimento de 0,67 h/m<sup>2</sup> por operário. Estes valores dizem respeito somente para a execução da estrutura de pavimento sem revestimento composta por elementos com secção de 100x200 mm de madeira lamelada classe GL24h, colocados com um espaçamento ao eixo de 610 mm.

Na página de internet “Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A.” está patente uma ficha de rendimento com a seguinte descrição: *Laje de vigotas de madeira tratada de 10x20 a 15x25 cm de secção, com uma separação entre eixos de 60 cm, e painel hidrofugado de aglomerado de madeira de 19 mm de espessura, aço A400 NR, quantidade 1,1 kg/m<sup>2</sup>, e malha electrossoldada AR42, aço A500 EL, em camada de compressão de 4 cm de espessura de betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua*” (CYPE 2012j). Foi decidido utilizar os valores de custo da execução da estrutura de madeira e rendimento das actividades do carpinteiro utilizados nesta ficha, ignorando os artigos e recursos consumidos na execução da camada de compressão de betão armado e na fixação do painel de aglomerado de madeira, tendo este último



sido substituído por OSB Classe 3 de 18 mm de espessura.

O valor do custo horário do recurso “Ajudante de carpinteiro”, contabilizado com o mesmo rendimento do “Carpinteiro”, foi obtido através da ficha de rendimento obtida na mesma fonte para “Viga de madeira serrada” (CYPE 2012h).

Tabela 12. Dados sobre execução de pavimento com estrutura de madeira

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
0,063	m3	Madeira serrada <i>Pinus Sylvestris L.</i> para vigota de 100x200	530,00	33,39	375,42	23,65
1,000	m2	Placa OSB Classe 3 18X2500X1250 mm (630 Kg/m3)	11,52	11,52	9,62	9,62
22,000	un	Parafuso auto-perf. Galvanizado 4,0X55 mm			0,01	0,22
				44,91		33,49
Quantidade	Unidade	Recurso			Custo un.(€)	Custo (€)
0,995	h	Carpinteiro			16,36	16,28
0,995	h	Ajudante de carpinteiro			15,74	15,66
0,995						31,94
Total						65,43

#### 4.1.3 Solução com laje aligeirada de vigota e abobadilha

A laje de pavimento aligeirada foi considerada com a seguinte descrição, patente na página de internet “Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A.”: *Laje aligeirada horizontal, altura 20 = 16+4 cm; betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, volume total de betão 0,093 m³/m²; aço A400 NR com uma quantidade total de 2 kg/m²; vigota pré-esforçada de secção em "T" invertido; abobadilha de betão, 40x16x20 cm; malha electrossoldada AR42, aço A500 EL em camada de compressão (CYPE 2012i).* Foi calculado que a massa relativa a este conjunto totaliza 313,77 kg por metro quadrado de área construção.

Outra fonte, no entanto, considera pesos próprios desde 227 kg/m² para uma laje com espessura total de 150 mm, incluindo uma lâmina de compressão de 30 mm (Secil Prebetão - Préfabricados de Betão, S.A. sem data).

Tabela 13. Dados sobre execução de pavimento com laje aligeirada de vigota e abobadilha

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
0,820	m2	Cofragem			4,05	3,32
7,880	un	Abobadilha de betão, 400x160x200 mm	7,00	55,16	0,37	2,92
2,260	ml	Vigota pré-esforçada de secção "T" invertido	17,00	38,42	1,66	3,75
2,000	kg	Aço em varões nervurados, A400 NR		2,00	0,72	1,44
1,100	m2	Malha electrossoldada AR42 100x300 mm	1,32	1,45	1,80	1,98
0,090	m3	Betão C25/30	2408,16	216,73	105,70	9,51
				313,77		22,92

Quantidade	Unidade	Recurso	Custo un.(€)	Custo (€)
0,630	h	Oficial de 1ª	16,08	10,13
0,630	h	Servente	15,62	9,84
0,320	h	Operário	14,63	4,68
0,630				24,65
			Total	47,57

## 4.2 Parede interior não resistente

Na consideração das soluções de parede de compartimentação não resistente são utilizados argumentos que diferem dos considerados para a formulação da composição dos pavimentos. Neste caso é determinado que na concepção de um elemento vertical de compartimentação, para além de ser auto-portante, tem associadas exigências de desempenho mínimo em isolamento acústico e protecção ao fogo.

No caso da parede de alvenaria de tijolo furado com argamassa de assentamento de cimento Portland e reboco estucado os valores de redução a sons de transmissão aérea são de cerca de 42 dB e a classe de protecção ao fogo de 90 minutos.

As soluções de parede com estrutura de perfis enformados a frio ou estrutura de madeira são integradas com lã mineral no interior da cavidade e revestimento simples com placa de gesso laminado de 12,5 mm de espessura em cada face, sendo expectável, para este sistema, uma resistência ao fogo de 30 minutos (o mínimo exigido para paredes interiores em fogos habitacionais) e redução na transmissão de sons aéreos de cerca de 45 dB (Way & Couchman 2008; LSK 2005).

### 4.2.1 Solução com aço enformado a frio

Esta solução é aqui apresentada com a utilização de elementos de espessura estrutural, nomeadamente montantes C90x43x15x1,5 mm e canais U93x43x1,5 mm, com espaçamento de 600 mm. Este conjunto totaliza 6,52 kg por área de parede para a estrutura de parede.

Como revestimento, em cada uma das faces da parede é aplicada uma placa de gesso laminado com 9,5 kg/m<sup>2</sup> com inserção de painéis de lã mineral não revestida na cavidade. Este conjunto resulta numa espessura total da parede de 118 mm.

No caso de serem utilizados elementos enformados a frio de espessura não estrutural (até 0,8 mm de espessura) a massa relativa à estrutura pode ser reduzida para cerca de 3 kg, utilizando perfis com altura de alma semelhante e o mesmo espaçamento ao eixo entre montantes. Esta alternativa tem um custo de material de 23,93€/m<sup>2</sup>, mão de obra de 7,65 €/m<sup>2</sup> e rendimento de execução de 0,401 h/m<sup>2</sup> (CYPE 2012f).

Os dados sobre custo e recursos para a montagem da estrutura com perfis enformados a frio estruturais foram cedidos pela Futureng - Projectos de Construção Civil, Lda.. O valor da massa por metro linear dos perfis metálicos estruturais foi obtido no catálogo de perfis metálicos estruturais fornecidos pela Perfisa - Fábrica de Perfis Metálicos, S. A. (Perfisa, S.A. sem data). O valor da massa relativo às placas de gesso laminado e perfis metálicos não estruturais foi obtido no catálogo da Saint-Gobain Placo Iberica (Saint-Gobain Placo Iberica 2011). Os valores de rendimento dos recursos na aplicação do revestimento foram obtidos através da página de internet "Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A. (CYPE 2012g).

Tabela 14. Dados sobre execução de parede com estrutura de perfis de aço enformados a frio

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
0,800	ml	Canal U93x43x1,5 mm	2,10	1,68	2,21	1,77
2,000	ml	Montante C90x43x15x1,5 mm	2,42	4,84	2,55	5,10
4,000	un	Parafuso auto-perf. 4,2x13 mm			0,01	0,04
1,050	m2	Painel de lâmineral não revestido, esp. 45 mm, dens. 15 Kg/m <sup>3</sup>	0,68	0,71	4,26	4,47
2,100	m2	Placa de gesso laminado PLACO BA 13	9,50	19,95	4,60	9,66
22,000	un	Parafuso auto-perf. Galvanizado 3,5x45 mm			0,01	0,22
2,800	ml	Fita microperfurada para acabamento de juntas			1,00	2,80
0,660	kg	Massa de secagem em pó para trat. das juntas		0,66	16,60	10,96
				27,84		35,02

Quantidade	Unidade	Recurso	Custo un.(€)	Custo (€)
0,340	h	Montador	16,00	5,44
0,190	h	Ajudante de montador	13,00	2,47
0,283	h	Montador	16,00	4,53
0,101	h	Ajudante de montador	13,00	1,31
0,623				13,75
			Total	48,77

#### 4.2.2 Solução com madeira

Para a obtenção dos custos e rendimento de recursos na execução da estrutura de madeira para parede divisória foi contactada a empresa Portilame - Engenharia e Madeira, Lda., sediada em Viana do Castelo. Deste contacto obteve-se um custo total de 12,00€/m<sup>2</sup> para a operação (material e mão de obra de dois operários) e rendimento de 0,125 h/m<sup>2</sup> por operário, sendo o componente estrutural composto por elementos com secção de 70x45 mm em madeira de pinho silvestre CL18, colocados com um espaçamento ao eixo de 610 mm.

Na página de internet “Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A.” está patente uma ficha de rendimento com a seguinte descrição: “*Barrote de madeira serrada de pinho silvestre (Pinus Sylvestris L.) Portugal, de 5x5 cm de secção e até 5 m de comprimento; (...), classe resistente C-27, (...)*”, em que o custo do material é de 2,30 €/ml, (CYPE 2012b). Este valor foi adaptado para uma secção de 7x5 cm, resultando um custo de 3,64 €/ml.

Pelo facto de não terem sido obtidos dados sobre a quantidade de material por área foi simulada a concepção de uma parede com 4,0 m de comprimento e 2,6 m de altura. Nesse modelo a estrutura de madeiras é composta por 7 montantes e travessas horizontais no pavimento e tecto, totalizando 21,0 ml em 10,4 m<sup>2</sup>, o que significa uma incidência de 2,019 ml/m<sup>2</sup>. Para o cálculo da massa por metro linear dos elementos de madeira foi considerada uma densidade de 440 kg/m<sup>3</sup>.

O valor global (material e mão-de-obra) da execução da estrutura de madeira totaliza 11,4 €/m<sup>2</sup>, sendo

aproximado do indicado pela Portilame - Engenharia e Madeira, Lda.. Para cálculo do rendimento na execução da estrutura da parede foi utilizado o valor transmitido por esta empresa.

Como revestimento, em cada uma das faces da parede é aplicada uma placa de gesso laminado com 9,5 kg/m<sup>2</sup>, com inserção de painéis de lã mineral não revestida na cavidade. Este conjunto resulta numa espessura total da parede de 95 mm.

O valor da massa superficial das placas de gesso laminado foi obtido no catálogo da Saint-Gobain Placo Iberica (Saint-Gobain Placo Iberica sem data). Os valores de custo de material e recursos e rendimento de aplicação do revestimento foram obtidos através da página de internet "Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A. (CYPE 2012g).

*Tabela 15. Dados sobre execução de parede com estrutura de madeira*

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
2,019	ml	Barrote de madeira serrada de pinho silvestre (Pinus Sylvestris L.), secção de 70x50 mm	1,54	3,11	3,64	7,35
4,000	un	Parafuso auto-perf. Galvanizado 4,0X41 mm			0,01	0,04
1,050	m2	Painel de lâmineral não revestido, esp. 45 mm, dens. 15 Kg/m3	0,68	0,71	4,26	4,47
2,100	m2	Placa de gesso laminado PLACO BA 13	9,50	19,95	4,60	9,66
22,000	un	Parafuso auto-perf. Galvanizado 4,0X55 mm			0,01	0,22
2,800	ml	Fita microperfurada para acabamento de juntas			1,00	2,80
0,660	kg	Massa de secagem em pó para trat. das juntas		0,66	16,60	10,96
				24,43		35,50

Quantidade	Unidade	Recurso	Custo un.(€)	Custo (€)
0,125	h	Carpinteiro	16,36	2,05
0,125	h	Ajudante de carpinteiro	15,74	1,97
0,283	h	Montador	16,00	4,53
0,101	h	Ajudante de montador	13,00	1,31
0,408				9,85
Total				45,35

#### 4.2.3 Solução de alvenaria

Na solução de parede de alvenaria de tijolo de 11 cm é prevista a aplicação de gesso projectado como revestimento por forma a fornecer um acabamento semelhante ao do gesso laminado.

No levantamento de dados para esta solução foi contactada a empresa Socobre - Sociedade de Construções S.A., tendo sido transmitido um custo de 12 €/m<sup>2</sup> e uma massa por metro quadrado de parede de 110 kg e um custo de 9,5 €/m<sup>2</sup> e massa superficial de 20 kg para cada um dos paramentos.

No entanto, para ter uma descrição mais pormenorizada da solução construtiva e obtenção de valores

discriminados no custo e rendimento dos recursos foram utilizadas as fichas de rendimento “PTZ010” e “RPG015” obtidas na página de internet “Gerador de preços – Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A” (CYPE 2012e; CYPE 2012d).

A densidade do gesso projectado foi obtida no “Documento de Aplicação” para produtos Iberplaco (LNEC 2007).

*Tabela 16: Dados sobre execução de parede de alvenaria*

Quantidade	Unidade	Artigo	Massa un. (kg)	Massa (kg)	Custo un.(€)	Custo (€)
16,800	un	Tijolo cerâmico furado duplo, para revestir, 30x20x11 cm	5,00	84,00	0,12	2,02
0,009	m3	Argamassa de cimento com 230 kg/m <sup>3</sup> de cimento e uma proporção em volume 1/6	1288,33	11,59	115,30	1,04
0,024	m3	Pasta de gesso de construção para projectar com misturadora-bombeadora B1	830,00	19,92	94,66	2,27
0,006	m3	Pasta de gesso para aplicação em camada fina C6	630,00	3,78	88,58	0,53
0,430	ml	Cantoneiras de plástico e metal, estáveis à acção dos sulfatos			0,35	0,15
0,210	m2	Rede de fibra de vidro, 5x5 mm de vão, 70 g/m <sup>2</sup> , 0,40 mm de espessura do fio	0,07	0,01	0,76	0,16
				119,31		6,17

Quantidade	Unidade	Recurso	Custo un.(€)	Custo (€)
0,374	h	Oficial de 1 <sup>a</sup>	16,08	6,01
0,187		Servente	14,63	2,74
0,500	h	Estucador	16,08	8,04
0,306	h	Ajudante de estucador	15,62	4,78
0,874				21,57
			Total	27,74

### 4.3 Análise dos dados obtidos

Quando são comparados os valores respectivos ao custo, rendimento de execução e massa associada de cada uma das soluções para pavimento a vantagem da estrutura com perfis enformados a frio é evidente em todos os valores. Outro dos pontos de relevo é a proporção de custo do material em relação ao custo da mão de obra, em que esta solução, embora apresente custo do material superior ao betão, a despesa efectuada com a mão-de-obra é bastante inferior.

Na questão da massa da estrutura o pavimento aligeirado de vigota e abobadilha apresenta um valor 13 vezes superior ao do pavimento em LSF, embora esta relação seja reduzida para 9 vezes se for considerado o valor mínimo de 227 kg/m<sup>2</sup> apresentado na página da internet da Secil Prebetão - Préfabricados de Betão, S.A..

Em relação ao rendimento de execução a laje aligeirada composta por vigotas de betão pré-esforçado e abobadilha apresenta valores pouco superiores à alternativa com estrutura metálica, embora após a execução

implique um período de espera até à obtenção de presa da lâmina de compressão, durante o qual não deve ser evitada a execução de trabalhos directamente sobre o pavimento.

A solução de pavimento com estrutura de madeira é aquela que apresenta valores superiores de custo (material e mão-de-obra) e de tempo de execução, embora na questão da massa associada seja somente cerca de 20 kg superior à de LSF.

É importante relembrar que as soluções com estrutura metálica e madeira não atingem os níveis de desempenho relativos ao comportamento acústico e de protecção contra ao fogo exigidos a pavimentos de compartimentação vertical entre fogos habitacionais. Para que essas exigências sejam cumpridas é necessário que os pavimentos sejam complementados com camadas adicionais, sendo expectável um acréscimo substancial em custo, rendimento e massa associada.

Na comparação das soluções para paredes interiores não resistentes os dados apresentam resultados dissimilares. No que diz respeito ao custo, aquela que é baseada em alvenaria obtém o menor valor com as soluções de cavidade a serem cerca de 1/3 mais dispendiosas, sendo a composta por perfis estruturais LSF com o valor mais elevado. Em relação à proporção entre custo de material e mão-de-obra, as soluções de cavidade apresentam uma distribuição inversa da solução em alvenaria, com uma despesa de material enquadrada entre 22 a 28 %.

No que diz respeito ao peso próprio a solução de alvenaria apresenta um valor mais de quatro vezes superior ao das soluções com perfis enformados a frio ou madeira, sendo esta última a que incorpora menos massa por superfície construída.

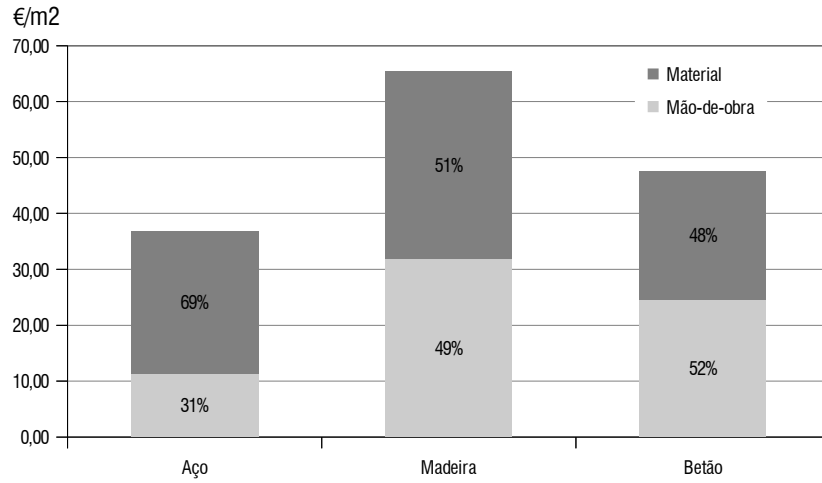
Em termos de rendimento de execução a solução de madeira permite uma construção mais célere, sendo seguida pela metálica e finalmente pela solução de alvenaria, sendo esta duas vezes mais lenta e sejam excluídos os tempos de secagem.

Um dos factores que torna menos interessante a utilização de perfis de aço enformados a frio em relação à estrutura de madeira para a execução de paredes interiores não resistentes, aparenta ser a desadequação do produto à função. Na solução apresentada utilizam-se perfis com dimensões e espessuras que são normalmente utilizadas para paredes resistentes. Embora o modelo apresentado possa exercer funções portantes a cargas verticais, o que impede a parede apresentada de servir como elemento de contraventamento é o facto de não incluir revestimento estrutural ou outro dispositivo dedicado a esse efeito.

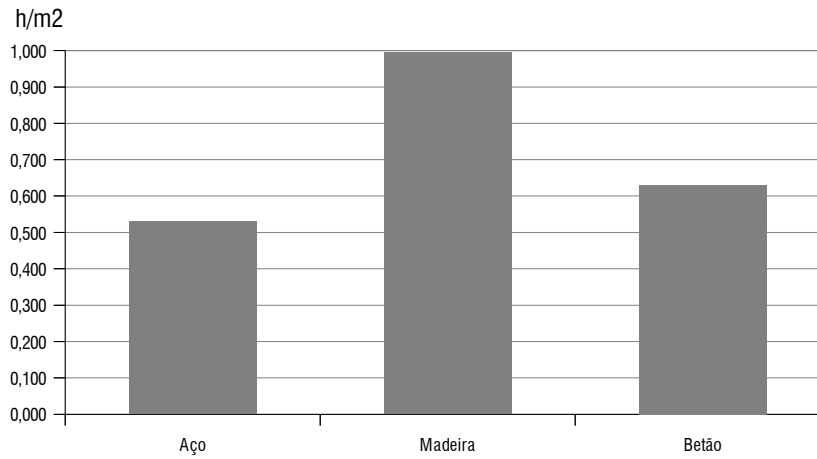
Outro factor em que a solução metálica oferece vantagem é na possibilidade e integração de instalações técnicas na cavidade. Enquanto os perfis enformados a frio já integram furações de fábrica e a execução de novas furações suplementares na alma das secções (com o diâmetro/largura máxima de 38 mm e altura não superior a 100 mm) não representa perda de resistência do elemento, o mesmo não acontece na estrutura de madeira, em que o seccionamento dos montantes tem efeitos na própria capacidade auto-portante da parede. A passagem de instalações técnicas na parede de alvenaria obriga à abertura de roços, implicando essa operação um custo adicional e dispêndio de meios.

Se considerarmos a utilização de uma estrutura composta por perfis de aço não estruturais (até 0,8 mm de espessura), o custo composto pode ser reduzido para 31,58 €/m<sup>2</sup>, repartido em 23,93 €/m<sup>2</sup> para o material e 7,65 €/m<sup>2</sup> para a mão-de-obra, massa total de 24,32 kg/m<sup>2</sup> e rendimento de execução de 0,401 h/m<sup>2</sup> (CYPE 2012f). Nesse caso os valores relativos à massa e rendimento de execução são equivalentes à solução com estrutura de madeira, sendo o custo mais aproximado ao da parede de alvenaria.

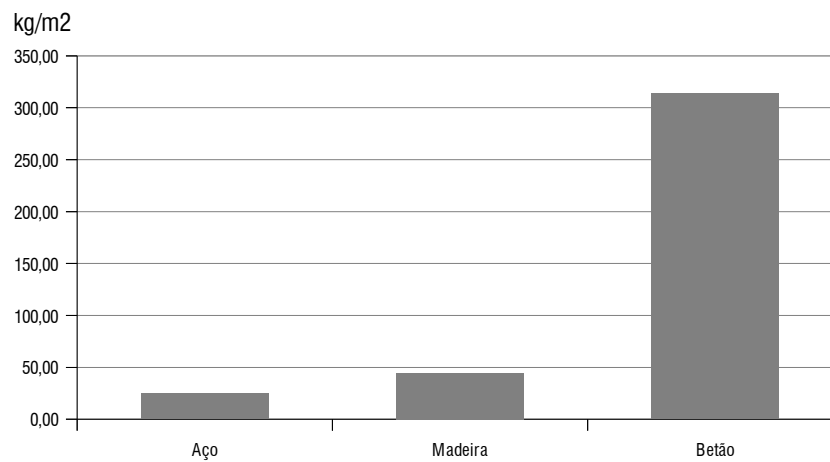
Nos gráficos que se apresentam seguidamente é possível fazer uma leitura visual da relação entre os vários valores.



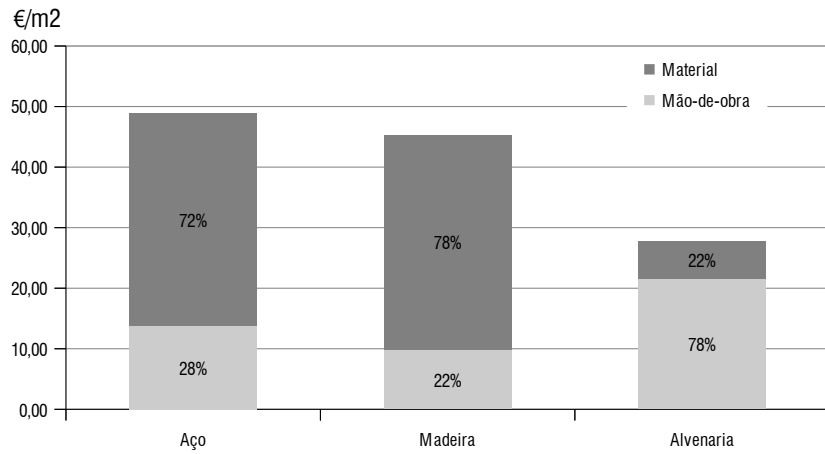
74: Gráfico comparativo do custo das soluções de pavimento



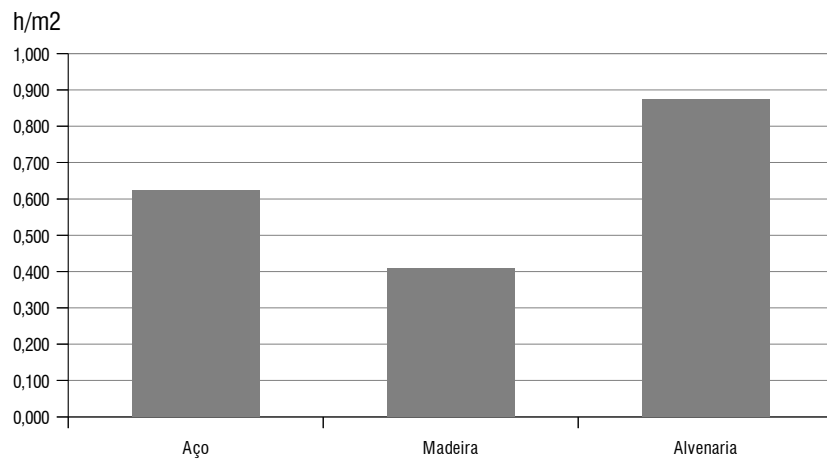
75: Gráfico comparativo de rendimento de execução das soluções de pavimento



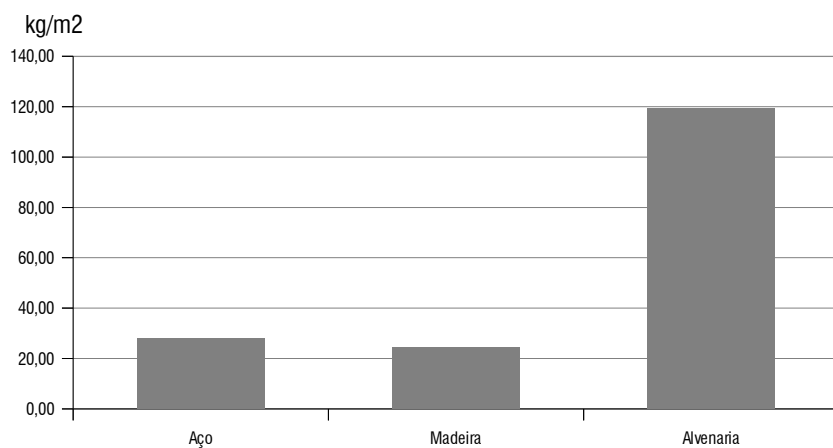
76: Gráfico comparativo de massa associada às soluções de pavimento



77: Gráfico comparativo de custo das soluções de parede não resistente



78: Gráfico comparativo de rendimento de execução das soluções de parede não resistente



79: Gráfico comparativo de massa associada às soluções de parede não resistente



## 5 Casos de estudo

Neste trabalho são descritas intervenções em edifícios existentes utilizando soluções construtivas baseadas integralmente ou parcialmente em estruturas de perfis de aço enformados a frio. A inserção destes casos de estudo pretende essencialmente demonstrar a capacidade de adaptação que esta tecnologia construtiva permite e exemplificar a sua utilização em território nacional.

Para este estudo procurou-se ter acesso a obras que, pelas suas características, se enquadrassem exclusivamente num âmbito de reabilitação ou ampliação de edifícios preexistentes. Para tal foram contactadas empresas de construção com obras a decorrer durante o período de investigação desta tese, sendo a diversidade de localizações de obra um dos factores chave para a avaliação do estado da arte no nosso país. Desta pesquisa resultaram seis visitas a construções, decorridas em diferentes fases para cada uma. Nestas ocasiões tentou-se obter informações caracterizantes de cada intervenção em entrevista a intervenientes em obras ou projecto e foi recolhido um registo fotográfico. A pesquisa prolongou-se para uma segunda fase em que foram contactados projectistas e construtores das obras visitadas por forma a obter dados documentais relativos às peças desenhadas e escritas dos projectos.

Após obtenção dos dados foi seleccionado um dos empreendimentos por forma a desenvolver uma descrição mais aprofundada. O caso de estudo escolhido foi a intervenção na Rua Cecílio de Souza em Lisboa, tendo sido factores de decisão a qualidade das peças desenhadas e escritas recepcionadas, o interesse arquitectónico da pré-existência e do projecto proposto, assim como a diversidade de ligações estruturais e interfaces entre diferentes materiais, determinado pelo carácter híbrido da intervenção estrutural.

No entanto, para além deste, apresenta-se nos sub-capítulos seguintes uma descrição breve das características gerais dos restantes casos de estudo visitados.

### 5.1 Edifício de habitação - R. Cecílio de Souza, Lisboa



80: Fachada principal para a Rua Cecílio de Souza

A intervenção protagonizada na Rua Cecílio de Souza, em Lisboa, tem como pré-existência um edifício constituído por paredes resistentes de alvenaria ordinária e pavimentos e cobertura com estrutura de madeira. Para além das paredes de fachada principal, tardoz e empenas, existem duas paredes resistentes paralelas a estas que delimitam o núcleo de circulação horizontal ao longo dos vários pisos e outras duas perpendiculares no tardoz do edifício. As restantes paredes de compartimentação são em tabique.

A intervenção estrutural consiste na execução de um pavimento no 3º piso sobreposto ao existente, substituição integral do pavimento do piso do sótão, substituição da cobertura com nova configuração amansardada (anteriormente em duas águas) e execução de paredes de compartimentação. A cobertura integra cinco trapeiras

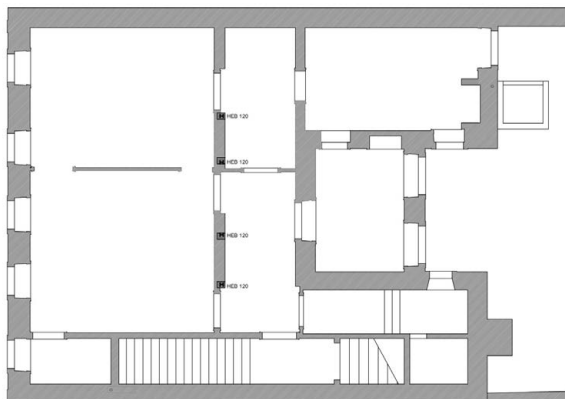
na fachada principal e quatro na fachada tardoz, com portas de acesso para o exterior.

Nesta obra a prioridade de intervenção foi a remoção da antiga cobertura e execução da nova por forma a minimizar o ingresso da água devido ao desempenho reduzido do componente preexistente. A concepção construtiva e execução do pavimento do 3º piso (sobreposto ao existente) está reservada para uma segunda fase da obra.

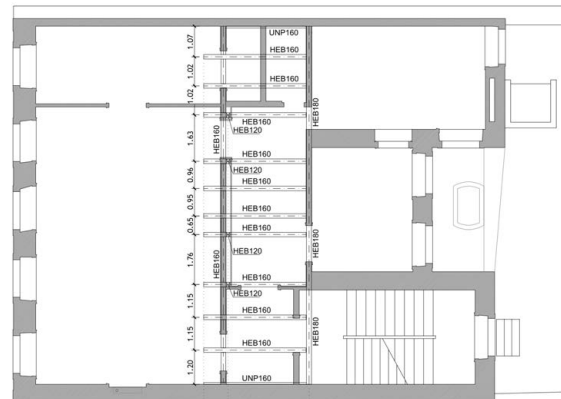
Devido à necessidade de preservar o tecto do compartimento situado na ala poente (fachada principal) do 2º piso foi introduzida uma estrutura composta por elementos de aço laminado a quente para consolidar a estrutura de pavimento do 3º piso. Para tal foram introduzidos três pilares HEB120 com fundação no piso térreo que atravessam os três pisos inferiores e servem de apoio, conjuntamente com as paredes resistentes de alvenaria interiores, a uma estrutura de pavimento composta por elementos HEB160 na zona do núcleo de circulação horizontal (AFA Consult 2010).

Para apoio dos pavimentos em estrutura metálica com perfis enformados a frio foram executados lintéis de betão armado com ancoragens às paredes resistentes de alvenaria no lado da fachada principal e tardoz ao nível da cobertura. Para apoio da viga de cumeeira e madres foram igualmente executadas vigas de betão armado nas empenas com a configuração da cobertura em mansarda. Estes elementos estão ligados por forma a funcionarem como diafragma de ligação entre as paredes.

*Peças desenhadas do projecto de estabilidade global (AFA Consult 2010)*



81: Planta Estrutural do Piso 2



82: Planta Estrutural do Piso 3



83: Pilares HEB120 no piso 2



84: Estrutura de laje composta por vigas HEB160 no piso 3



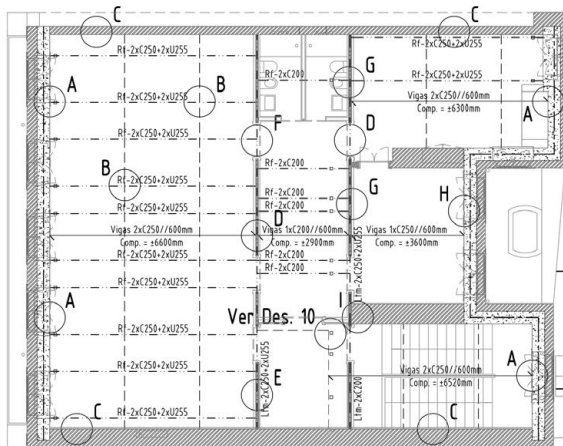
85: Vigas de betão armado nas parede de empena no piso do sótão

O pavimento do piso da cobertura é apoiado nas paredes resistentes de perfis enformados a frio e fixo lateralmente nos lintéis de betão armado. A ligação destes elementos é executada com a fixação de um perfil guia em C250x43x2,5 mm com recurso a buchas químicas e parafuso passante (tipo Hilti HIT-HY 150 - HAS

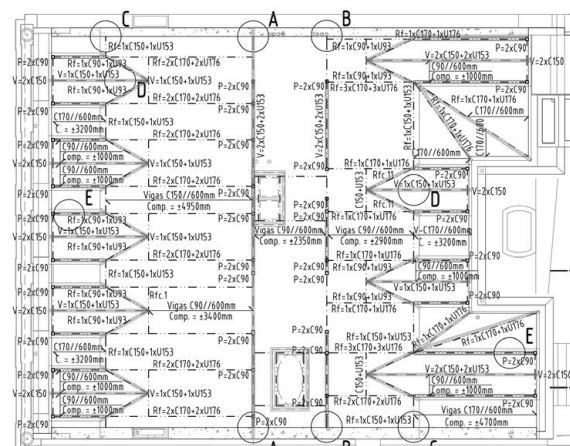
M16) instaladas com espaçamentos ao eixo inferiores a 1000 mm. Os elementos que constituem a estrutura da cobertura são apoiados lateralmente nos lintéis das paredes de empena, sobre o lintel da parede tardoiz e na laje de pavimento junto à fachada principal. A fixação das vigas de cumeeira e madres é executada com recurso a troços de cantoneira L100x100x1,5 mm com ligação à viga de betão armado igualmente com bucha química e parafuso passante (Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda. 2010).

As paredes resistentes com estrutura de perfis enformados a frio do 3º piso estão posicionadas no mesmo eixo das paredes de alvenaria resistentes e apoiadas sobre os elementos de aço laminado. No piso do sótão apenas o eixo alinhado com os elementos verticais de aço laminado se mantém, coincidindo com a cumeeira da cobertura. A outra parede com função resistente é posicionada com um desvio de 600 mm em relação ao eixo do piso inferior. As paredes são concebidas com uma espessura estrutural de 90 mm.

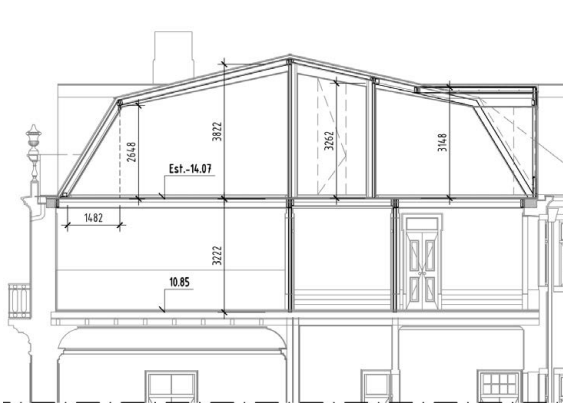
*Peças desenhadas do projecto de estrutura metálica (Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda. 2010)*



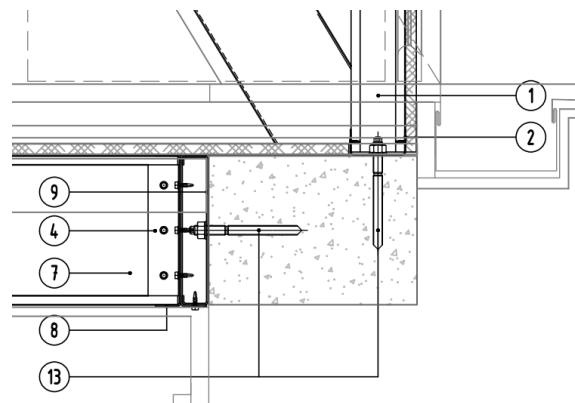
86: Planta do tecto do piso 3



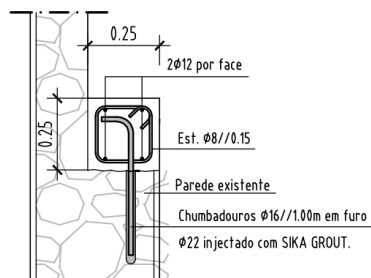
87: Planta do tecto do piso da cobertura (sótão)



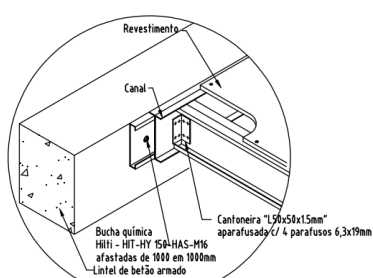
88: Corte a sectionar a zona de intervenção



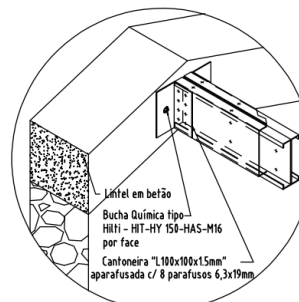
89: Pormenor da ancoragem à viga da parede tardoiz



90: Pormenor da viga de betão armado introduzida nas fachadas principal e tardo



91: Pormenor da ancoragem do pavimento à viga de betão armado



92: Pormenor da ancoragem da viga de cumeeira à viga de betão armado da empena



93: Ligação da vigas da fachada tardo e da empena



94: Ancoragem complementar à parede de alvenaria



95: Ancoragem da viga de cumeeira

Segundo a descrição fornecida pelos projectistas de arquitectura, os pavimentos têm a seguinte constituição: soalho de madeira maciça com 30 mm, ripado de madeira, painel de fibras de madeira e cimento Portland com 20 mm de espessura, aglomerado de cortiça com 10 mm de espessura, painel de OSB classe 3 com 18 mm de espessura.

A cobertura, conforme está representada nos desenhos do projecto de execução de arquitectura, é composta por: revestimento de chapa de zinco nº12 (0,66 mm) com junta agrafada, membrana de polietileno pitonada com espessura total de 8,6 mm, placa de poliestireno extrudido com 60 mm de espessura e painel de OSB classe 3 com 18 mm de espessura (Aires Mateus & Associados, Lda. 2010).

No tecto dos pavimentos e cobertura é prevista a integração de uma camada de 90 mm de lâ de rocha na cavidade da estrutura e revestimento de folha dupla de gesso laminado de 13 mm de espessura com fixação directa à estrutura.

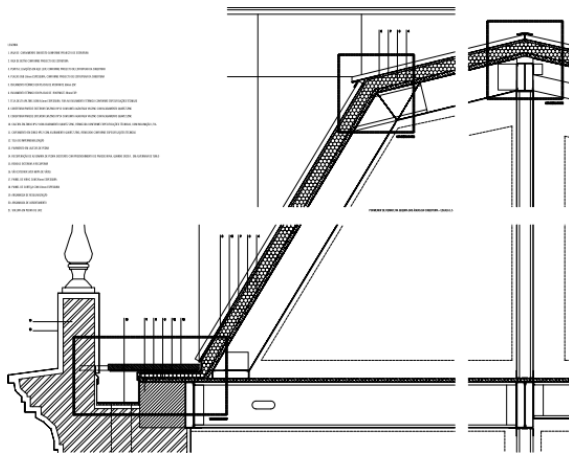
Por forma a possibilitar uma melhor compreensão da obra descrita, é disponibilizada no Anexo D uma selecção das peças desenhadas fornecidas pela equipa projectista de arquitectura Aires Mateus & Associados, Lda..

Projectista de arquitectura: Aires Mateus & Associados, Lda.

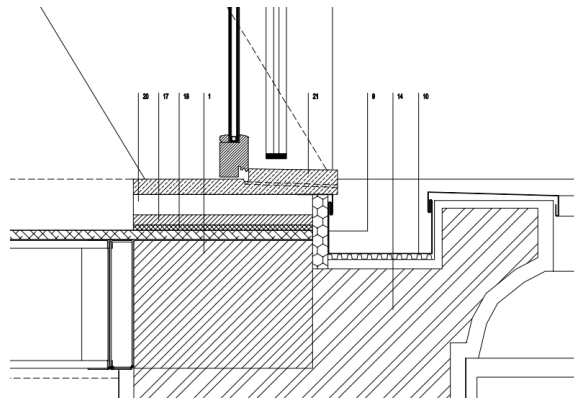
Projectista de estabilidade global: AFA Consult

Projectista de estrutura metálica LSF: Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda.

Empreiteiro de estrutura metálica LSF: Ecoworks - Tecnologias Avançadas de Construção, Lda.



96: Corte construtivo da cobertura e remate na platibanda (patente no anexo D)



97: Pormenor construtivo da soleira e caleira na fachada tardez



98: Zona junto à fachada principal no piso 3



99: Núcleo de circulação horizontal no piso 3



100: Estrutura de pavimento do piso do sótão observado pelo piso 3



101: Trapeiras para a fachada principal no piso da cobertura



102: Núcleo central do piso da cobertura



103: Ligações da cobertura em mansarda e trapeiras

## 5.2 Edifício de habitação e comércio - Rua Garrett e Rua Anchieta, Lisboa



104: Perspectiva da Rua Garrett



105: Estaleiro localizado na Rua Anchieta



106: Perspectiva da Rua Anchieta

A reabilitação do edifício de gaveto no encontro da Rua Garrett com a Rua Anchieta, em Lisboa, tem como base de intervenção um edifício de construção pombalina. As paredes resistentes externas e internas são constituídas por alvenaria ordinária e estrutura de madeira em gaiola, com arcos de pedra aparelhada no piso térreo; os pavimentos e cobertura são constituídos originalmente por vigas e soalho de madeira com direcção da estrutura intercalada entre pisos. As restantes paredes de compartimentação são em tabique. O edifício sofreu alterações estruturais em meados do séc. XX em que foi introduzida uma viga de aço laminado de dimensões generosas para possibilitar a demolição de um troço de uma parede resistente interior no 3.º piso.

A intervenção, executada em duas fases, consistiu na substituição da cobertura e laje de pavimento da mesma, execução de novo núcleo de comunicações verticais para corresponder ao exigido nos regulamentos actuais, reformulação funcional dos compartimentos, reforço dos pavimentos nos pisos superiores e reabilitação generalizada de revestimentos interiores e envolvente construtiva.

Na primeira fase o modelo de concepção previa que a intervenção consistisse na aplicação de elementos estruturais de madeira e aço laminado a quente, tendo sido utilizada uma estrutura metálica porticada para a execução da estrutura do núcleo de comunicações verticais, localizado no canto interior do lote.

Numa segunda fase, com substituição do empreiteiro geral, concluiu-se como sendo mais benéfico para a preservação da estrutura existente que a substituição da estrutura da cobertura, pavimento da mesma e reforços da estrutura de madeira, fossem executados com uma solução construtiva menos dispendiosa e com menor massa. Como tal, foi aplicada uma estrutura de perfis enformados a frio para a cobertura em mansarda e laje de pavimento à mesma cota.

Os pavimentos de madeira foram reforçados para aumentar a rigidez e reduzir a flecha quando aplicadas cargas dinâmicas, resultando numa melhoria do comportamento acústico destes componentes. Isto foi conseguido através da aplicação de vigas em I, compostas por dois perfis C com ligação alma-alma posicionadas a meio-vão e na direcção perpendicular das vigas de madeira preexistentes. Em alguns pavimentos foram substituídos em pontos singulares as vigas de madeira danificadas e introduzidas novas em lamelado de madeira.

Embora a estrutura do núcleo de comunicações verticais seja composta por elementos de aço laminado a quente, a escada de acesso vertical foi executada com perfis enformados a frio.

Segundo o descrito pelo construtor os pavimentos no interior dos fogos têm a seguinte constituição: soalho de madeira, betonilha pré-feita com pavimento radiante eléctrico, ripado de madeira embebido, folha isolante de alumínio e poliestireno, painel de OSB com 18 mm de espessura, calços resilientes (não especificado),

vigamento de madeira, vigamento em aço enformado a frio, lâ mineral, gesso laminado suspenso em apoios anti-vibratórios, tecto em madeira fixo sobre ripado.

A cobertura é composta por: telha cerâmica de aba e canudo, placa de poliestireno extrudido e painel de OSB classe 3 com 18 mm de espessura, lâ mineral integrada na cavidade da estrutura e gesso laminado como revestimento. Nas trapeiras o revestimento exterior é de chapa de zinco sobre membrana de polietileno pitonada.

Projectista de arquitectura: RRJ Arquitectos, Lda.

Projectista de estrutura metálica LSF: Destaca

Empreiteiro de estrutura metálica LSF: Mário Fonseca – Construções, S.A.



107: Ligação com estrutura tubular laminada quente no núcleo de escadas



108: Apoio de vigas de pavimento de madeira



109: Apoio de vigas de pavimento de madeira



110: Reforço dos pavimentos de madeira



111: Integração de instalações técnicas



112: Ligação da estrutura da cobertura à viga de coroamento

### 5.3 Edifício de habitação e serviços - Calçada do Combro, Lisboa



113: Perspectiva da Calçada do Combro

O edifício situado na Calçada do Combro em Lisboa trata-se do Palácio Valada e Azambuja, construção que data originalmente do séc XVI, embora tenha sido totalmente reconstruído após o terramoto de 1755 e onde funciona actualmente, nos dois pisos inferiores, a Biblioteca Municipal Camões. Em termos construtivos este edifício segue também os princípios de concepção pombalinos, integrando troços de paredes exteriores que utilizam estrutura em gaiola de madeira, nomeadamente ao nível dos pisos superiores recuados.

A intervenção com recurso a perfis de aço estruturais enformados a frio consistiu na reforço da laje do 3.º piso; substituição integral da laje do 4.º piso, paredes exteriores do 3.º piso, paredes interiores resistentes e meeiras

no 3.º piso, execução de cobertura de duas águas no 3.º e 4.º pisos com integração de janelas trapeiras. Foram ainda executadas paredes de compartimentação e revestimento de paredes preexistentes com recurso a perfis de aço não estruturais.

Esta obra tem como particularidade de, na concepção da solução estrutural das paredes e coberturas do 3.º e 4.º pisos, terem sido integradas as paredes preexistentes constituídas por estrutura de gaiola em madeira como elemento resistente colaborante com a estrutura metálica.

O construtor descreve que, aquando da entrada da sub-empregada da execução da estrutura metálica, contratou a título próprio a equipa projectista para revisão do projecto de execução, por determinar que este estava sobredimensionado, resultando desse facto a optimização da estrutura em termos de peso próprio e custo.

A cobertura é composta por telha cerâmica de aba e canudo, sub-telha ondulada asfáltica, placa de poliestireno extrudido e painel de OSB classe 3 com 18 mm de espessura. Nas janelas trapeiras o revestimento exterior é de chapa de zinco sobre membrana de polietileno pitonada.

Os revestimentos interiores, de gesso laminado nas zonas comuns ou de painel cimentício (*Aquapanel*) nas zonas húmidas são fixos sobre perfis metálicos não estruturais ou sobre painéis OSB. No revestimento das paredes preexistentes de tabique ou estrutura de madeira e preenchimento de alvenaria são utilizados perfis resilientes com configuração  $\Omega$  para assegurar o afastamento e planeza do paramento.

Projectista de arquitectura: Pedro Esteves Arquitectos

Projectista de estabilidade global: *Pecnon*-Gabinete de Estudos e Projectos, Lda.

Projectista de estrutura metálica LSF: Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda.

Empreiteiro geral: Lucios (Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, SA.)

Empreiteiro de estrutura metálica LSF: Dosmontes - Construção, Lda.



114: Execução do pavimento do 4º piso (Dosmontes & Perfisa 2012)



115: Preservação de elementos preexistentes (Dosmontes & Perfisa 2012)



116: Integração de paredes preexistentes



117: Pormenor de ligação a estrutura de madeira preexistente



118: Integração de paredes preexistentes



119: Cobertura sem revestimento final



#### 5.4 Moradia unifamiliar - Frazão, Paços de Ferreira

Esta obra consiste na execução de uma moradia unifamiliar sobre uma ruína de uma antiga edificação rural constituída por paredes de alvenaria aparelhada de granito.

A intervenção introduz uma laje de pavimento de betão armado apoiada sobre elementos verticais portantes com a mesma solução construtiva. Foi executada uma nova parede de alvenaria aparelhada de constituição similar às paredes existentes e assegurada a resistência a esforços de tracção e flexão pela consolidação das paredes preexistentes com introdução de varões metálicos e calda cimentícia.

A estrutura composta por perfis enformados a frio foi utilizada essencialmente na execução das coberturas e paredes de compartimentação do piso superior. A cobertura acompanha o desenho da moradia em “L” e é formada por seis águas. Os dois corpos da moradia são diferenciados pelo desenho da estrutura da cobertura.

Na zona privada da casa, onde se situam os quartos, foi utilizada uma cobertura simples de duas águas, sem asnas, com a particularidade da água virada para o logradouro descarregar para uma caleira recuada em relação ao plano da parede. Este lado da cobertura descarrega numa viga paralela à fachada, introduzindo uma faixa de cobertura plana. Esta zona da casa é também caracterizada pela existência de uma janela com 7 m de comprimento.

Na zona social da habitação é utilizada uma estrutura de cobertura que faz uso de asnas treliçadas de configuração em tesoura, as quais descarregam directamente na parede de alvenaria aparelhada. São utilizados painéis de fibro-cimento com a função auto-portante e de suporte às coberturas, permitindo a utilização de um espaçamento de asnas e vigas superior ao utilizado normalmente, sendo de 900 mm neste caso.

Uma particularidade nesta obra é o facto de ter sido adjudicada através de proposta de “Concepção e Construção”, não tendo sido concebida previamente para a utilização de soluções com perfis enformados a frio.

Projectista de arquitectura: ARTSPAZIOS Arquitectos, Lda.

Projectista de estrutura metálica LSF: Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda.

Empreiteiro geral: Norporto - Engenharia e Reabilitação Lda.



120: Parede nova de alvenaria aparelhada



121: Perspectiva para a zona privada



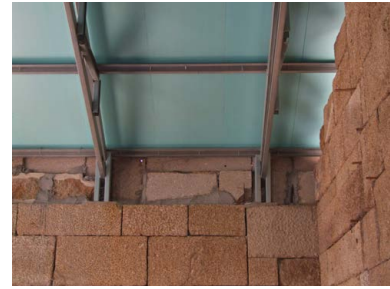
122: Estrutura de cobertura e compartimentação horizontal na zona privada



123: Viga para apoio da cobertura paralela à fachada tardez



124: Asnas treliçadas na zona social



125: Apoio de asnas na parede de alvenaria

### 5.5 Edifício de habitação – Rua Gago Coutinho / Rua Francisco Luís Lopes, Sines

Esta obra tem como pré-existência um edifício com a anterior função de armazém, mais concretamente de adega. As paredes resistentes são constituídas por alvenaria ordinária e alvenaria de tijolo maciço.

A obra foi executada em duas fases. A primeira consistiu na substituição da cobertura, com execução prévia de uma viga de coroamento de betão armado, para servir de diafragma de ligação entre as paredes e para fixação dos perfis enformados a frio. A estrutura da cobertura é constituída por asnas treliçadas que descarregam nas paredes da fachada principal e tardez.

Numa segunda fase procedeu-se à demolição das paredes de compartimentação interiores, acções de reabilitação das paredes preservadas através da aplicação de rede de fibra de vidro resistente aos álcalis e injecções de calda cimentícia para preenchimento de ocos, compartimentação horizontal e vertical e aplicação de revestimentos.

Projectista de estrutura metálica: Gestedi - Construção e Investimentos Imobiliários, Lda.

Empreiteiro geral: Gestedi - Construção e Investimentos Imobiliários, Lda.



126: Perspectiva da Rua Gago Coutinho



127: Perspectiva inferior da estrutura da cobertura



128: Pormenor da fixação da cobertura

### 5.6 Edifício de habitação e comércio - Centro histórico de Beja

A intervenção é realizada num edifício de dois pisos constituído por paredes exteriores e interiores de alvenaria ordinária de grande espessura, pavimento do piso superior com estrutura de soalho de madeira e cobertura com estrutura de madeira encastrada nas paredes e revestimento a telha cerâmica.

A obra de reconstrução com preservação das fachadas, consistiu na demolição das paredes interiores e desmantelamento do pavimento e cobertura para seguidamente se proceder à sua substituição com execução de novo pavimento, cobertura, escada de acesso e paredes de compartimentação.

Esta obra foi executada em duas fases. A primeira consistiu na execução da cobertura, pavimento, escada de

acesso e compartimentação do piso superior. A segunda fase, ainda não realizada aquando da visita à obra, consiste na compartimentação e aplicação de revestimentos no piso térreo.

Para a fixação da cobertura e pavimento intermédio foram executadas vigas de coroamento nas paredes exteriores que funcionam igualmente como diafragma de ligação entre as paredes.

Segundo descrição do construtor o pavimento tem a seguinte composição: revestimento cerâmico, betonilha com 40 mm de espessura, painel OSB com 18 mm de espessura, vigamento com perfis em C com 200 mm de altura de alma, lã mineral integrada na cavidade, camada resiliente aplicada no banzo inferior dos perfis, painel de gesso laminado, perfis  $\Omega$  com 45 mm de altura de secção e painel de gesso laminado.

Projectista de estrutura metálica: Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda.

Empreiteiro geral: RP - Construções Técnicas, Lda.



129: Fachada principal



130: Interior do piso térreo



131: Pormenor de fixação da escada de acesso ao piso 1

## 6 Conclusão

Este estudo finaliza-se com uma súmula das questões desenvolvidas no seu corpo, fazendo-se uma consideração sobre os pontos de maior destaque.

No capítulo 2 é feita uma caracterização geral dos materiais que são aplicados na construção com perfis de aço enformados a frio, focando-se principalmente nos elementos estruturais e produtos que são utilizados em conjunto com estes para a execução de estruturas de edifícios de baixa densidade ou intervenção em edifícios existentes. A definição que é apresentada refere os perfis e chapas perfiladas como sub-produtos resultantes da transformação geométrica e mecânica do material que constitui a matéria prima e que é por si só um produto industrial utilizado em muitos sectores – a chapa de aço. São descritos os métodos de transformação para obter esses sub-produtos e o tratamento que é aplicado à chapa de aço dotando-a de uma protecção contra a corrosão. São caracterizados os dispositivos de fixação, os dispositivos utilizados para contraventamento das estruturas, nomeadamente o revestimento estrutural e, de uma forma menos aprofundada, os revestimentos interiores e exteriores. No mesmo capítulo é salientado o potencial das estruturas metálicas leves como solução com elevado nível de sustentabilidade, tanto devido aos reduzidos valores de energia despendida durante a construção e desperdício gerado, como também durante a fase operacional em que, pela natureza construtiva das soluções empregues, são passíveis de obter um elevado rendimento energético. A análise ao trabalho da equipa de Ciutina (2011) corrobora estes argumentos.

O capítulo 3 são referidas as tipologias e componentes construtivos em que estes produtos são utilizados, métodos de construção e sistemas estruturais utilizados. Embora o objectivo desta dissertação seja a identificação de técnicas e descrição das soluções construtivas para a reabilitação e ampliação de edifícios, a bibliografia específica sobre essa temática revelou-se relativamente limitada ou, mesmo quando existente, algo genérica. Por essa razão é feito o levantamento do estado da arte das soluções técnicas direccionadas para a construção nova, introduzindo, quando oportuno, considerações relacionadas com a intervenção em edifícios existentes. O mesmo capítulo introduz ainda uma descrição das fases de construção e como são concebidos e executados os vários componentes de um edifício utilizando o método construtivo por elementos (*stick construction*), o qual é o utilizado de forma mais comum em Portugal, sendo também o que melhor se adapta à aplicação deste sistema construtivo numa situação de intervenção em edifícios existentes de planta pouco regular. Deste ponto de vista a prática nacional tem inspiração essencialmente no modelo americano, em que os elementos são fornecidos com os comprimentos *standard* (3, 6, 12 m) e adaptados conforme decorre a montagem da estrutura em obra. No entanto, enquanto nos E.U.A. o “método prescritivo” publicado pela NAHB permite a construção de edifícios residenciais e semelhantes até dois pisos, sem que seja necessário recorrer a projectista de estabilidade (NAHB 1997), em Portugal e noutros países regulamentados pelos Eurocódigos, a concepção e dimensionamento são alvo de um projecto de licenciamento dedicado. No Reino Unido e países nórdicos europeus a prática mais comum é a utilização de sistemas de construção com contratos tipo “chave na mão”, em que cada empresa utiliza o seu sistema, recorrendo-se de forma mais comum à pré-fabricação por painéis ou módulos.

Neste capítulo são também abordadas as várias questões de exigência funcional e desempenho em uso dos componentes dos edifícios, nomeadamente a envolvente construtiva vertical, paredes de compartimentação e pavimentos.

No capítulo 4 é feita uma comparação de custo, rendimento de execução e massa associada a cada uma das diferentes soluções materiais susceptíveis de utilização na reabilitação de edifícios, objectivamente na

construção de pavimentos e paredes de compartimentação interiores. A obtenção de dados sobre custos foi iniciada com o contacto às empresas de construção e projectistas das obras referidas no cap. 5, indagando sobre os orçamentos das mesmas. Essa consulta revelou-se, no entanto, maioritariamente infrutífera, à parte dos valores de custo e rendimento de execução cedidos pela Futureng - Projectos de Construção Civil, Lda., tendo sido necessário recorrer a outras fontes para obtenção de mais dados. A consulta às fichas de rendimento patentes na página de internet “Gerador de preços - Reabilitação - CYPE Ingenieros, S.A.” (CYPE 2012a) foi particularmente útil nesse sentido, tendo sido possível obter os valores da massa relativa a cada material utilizando os mapas de quantidades aí descritos. Entretanto foram consultadas outras empresas de construção a requerer valores de mercado das soluções de madeira (Portilame - Engenharia e Madeira, Lda.) e betão e alvenaria (Socobre - Sociedade de Construções, S.A.), tendo sido utilizados como complemento e para validação dos dados anteriores.

A vantagem da utilização da estrutura metálica em soluções de pavimento é evidente, revelando-se como a menos dispendiosa em termos globais, de mais rápida execução e com menor massa associada. No entanto, tal como foi referido no desenvolvimento do capítulo, ambas as soluções de pavimento com estrutura de perfis enformados a frio e estrutura de madeira apresentam-se, de uma certa forma, incompletas no que diz respeito ao desempenho em uso em exigências como o comportamento ao fogo e comportamento acústico, ao contrário da solução com vigotas de betão pré-esforçadas e abobadilha, que é mais robusta nesse sentido. Embora esta questão torne este comparativo algo relativo no exercício de ponderar a selecção de uma destas soluções para uma intervenção de reabilitação, é necessário relembrar que existe uma multitude de hipóteses para a resolução de pavimentos não monolíticos que cumprem os requisitos de utilização, com diferentes valores de massa acrescida, custo e tempo de execução adicionais. Na pesquisa de Ciutina, por exemplo, a massa relativa ao pavimento concebido é de 42,39 kg/m<sup>2</sup> (Ciutina et al. 2011), resultando menos pesada que a solução com estrutura de madeira sem revestimentos, tal como foi apresentada. No Anexo C estão patentes várias hipóteses de composição de pavimentos e desempenhos expectáveis em protecção ao fogo e isolamento acústico.

Na comparação entre tipologias de paredes divisórias não resistentes ambas as soluções de aço e madeira surgem mais dispendiosas que a parede de alvenaria. Conforme o que está exposto na análise dos dados recolhidos do mesmo capítulo, a utilização de estrutura de aço com perfis estruturais só é defensável se for utilizada como elemento colaborante da solução integrada da estrutura, como é de facto prática comum. Para aplicações de simples compartimentação dentro do mesmo fogo de habitação ou fracção torna-se mais rentável a utilização de perfis não estruturais, menos dispendiosos, menos pesados e de execução mais rápida.

O capítulo 5 apresenta descrições e elementos fotográficos das várias obras visitadas entre Julho de 2011 e Fevereiro de 2012, demonstrando exemplos práticos da utilização destes sistemas construtivos em obras que intervêm em edifícios existentes. No caso de estudo da Rua Cecílio de Souza são incluídos elementos desenhados dos projectos de arquitectura, estabilidade geral e estrutura metálica, cordialmente cedidos pela equipa projectista Aires Mateus & Associados, Lda..

Tendo em conta o observado, é possível chegar à conclusão que cada intervenção é concebida e executada com uma abordagem “*bespoke*”, no sentido de que, conforme as características de cada edifício, a solução construtiva é adaptada às circunstâncias. Deste ponto de vista o método construtivo por elementos, que é o maioritariamente aplicado na prática nacional, apresenta várias vantagens para a reabilitação de edifícios em que o levantamento arquitectónico é de difícil execução antes da demolição ou desmantelamento das estruturas a substituir. Outra vantagem que foi observada está relacionada com a reduzida área de estaleiro necessária para os trabalhos e armazenamento. Em quase todas as obras o material estava armazenado dentro do logradouro do

lote, com a única excepção da obra da Rua Garret, em que o estaleiro ocupava uma área localizada na Rua Anchieta com cerca de 5x3 m, utilizada essencialmente para a colocação da plataforma elevatória e instalações sanitárias dos operários.

Foi observado durante a fase de pesquisa e em entrevista a profissionais com prática neste sistema construtivo que é ainda possível testemunhar alguma relutância na aplicação destes sistemas por parte de projectistas e construtores habituados à “tradicional” construção de betão armado e alvenaria de tijolo cerâmico.

Em modo de conclusão é importante salientar o potencial que esta tecnologia construtiva constitui para uma reabilitação sistemática do parque urbano degradado. Mesmo que não aplicável como solução de reabilitação sísmica para edifícios de alvenaria ou outras estruturas pesadas, poderá ser conjugada com elementos isolados de reforço, núcleos estruturais ou outros dispositivos de estabilidade concebidos com soluções materiais adequadas a essa função, permitindo intervenções de execução mais célere e com menor impacto nas construções existentes.

### **6.1 Desenvolvimentos futuros**

Embora a utilização das estruturas que utilizam perfis de aço enformados a frio tenha actualmente alguma presença na prática da reabilitação urbana, os estudos que abordam esta temática, nomeadamente a do comportamento estrutural global, são ainda inexistentes dentro do panorama académico português.

Tendo em conta a semelhança em termos conceptuais com as estruturas tradicionais de madeira, torna-se pertinente a introdução de uma pesquisa sobre o comportamento em termos de estabilidade a cargas estáticas e dinâmicas à utilização conjunta das duas soluções, nomeadamente introduzindo a hipótese de substituição de elementos resistentes de madeira por elementos compostos por perfis enformados a frio.

Por outro lado, enquanto a comparação sobre o custo, peso próprio e rendimento de execução entre soluções aplicáveis em reabilitação, apresentada no cap. 4, foi abordada de uma forma algo sintética, julga-se importante desenvolver essa temática para elementos de compartimentação horizontal e vertical entre fracções independentes, confrontando soluções com desempenhos equivalentes e a cumprir os mínimos regulamentares, nomeadamente em termos de comportamento ao fogo e isolamento acústico.

## Bibliografia

- Access Steel, 2006a. *Fire resistance of light steel in residential structures*, Access Steel.
- Access Steel, 2006b. *Intumescent coatings*, Access Steel.
- Access Steel, 2006c. *Sprayed fire protection*, Access Steel.
- Adalberth, K., 1997. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples. *Building and Environment*, 32(4), pp.321–329.
- AFA Consult, 2010. Projecto de Execução da Demolição Parcial e da Reabilitação - Edifício na Rua Cecílio de Souza, Lisboa.
- Aires Mateus & Associados, Lda., 2010. Projecto de Execução de Arquitectura - Edifício na Rua Cecílio de Souza, Lisboa.
- ANSI, 2004. *Durability of Cold-formed Steel Framing Members* 2ª ed., Steel Framing Alliance.
- Almeida, T.J.G., 2009. *Sistema de armazenagem autoportante em perfis enformados a frio*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Ang, C.N. & Wang, Y.C., 2009. Effect of moisture transfer on specific heat of gypsum plasterboard at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 23(2), pp.675–686.
- Architecture Today, 2012. Housing - Social dimensions. *Architecture Today*, (228).
- Blanc, A., McEvoy, M. & Plank, R., 1993. *Architecture and Construction in Steel*, London; New York: E & F N Spon.
- Brockenbrough, R.L., 1998. *Shear Wall Design Guide* ANSI, ed., Washington D.C.: North American Steel Framing Alliance.
- BSI, 2001. *BS EN 12369-1:2001 Wood-based panels - Characteristic values for structural design - Part 1: OSB, particleboards and fibreboards*, British Standards Institute.
- Burgan, B.A. & Sansom, M.R., 2006. Sustainable steel construction. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(11), pp.1178–1183.
- Burstrand, H., 1998. Light-gauge steel framing leads the way to an increased productivity for residential housing. *Journal of Constructional Steel Research*, 46(1-3), pp.183–186.
- CEN, 2009. *EN 10346:2009 - Continuously hot-dip coated steel flat products - Technical delivery conditions*, Comité Européen de Normalisation.
- CEN ed., 2006. *Eurocode 3 - Design of Steel Structures. Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting*, Bruxelas: Comité Européen de Normalisation.
- CEN, 2003. *Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.2: General rules, Structural fire design*, Brussels: European Committee for Standardisation.
- CFSEI, 2007. *Durability of Cold-Formed Steel Framing Members*, Washington: Cold-Formed Steel Engineers Institute.

- CFSEI, History. *Cold-Formed Steel Engineers Institute | History*. Available at: [http://www.cfsei.org/history\\_1.htm](http://www.cfsei.org/history_1.htm) [Acedido Março 28, 2012].
- Ciutina, A. et al., 2011. Integrated design of buildings. Em *COST Action C25 - Final Conference*. International Conference Sustainability of Constructions - Towards a better built environment. Innsbruck, Austria: COST.
- Cool Haven, 2012. Cool Haven - FAQ'S. Available at: <http://www.coolhaven.pt/faqs.html> [Acedido Abril 17, 2012].
- Correia da Silva, A.C.F., 2008. *Aplicação de Ferramentas de Análise do Ciclo de Vida na Sustentabilidade da Construção – Estudo de Caso*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- CSSBI, 2002. *Lightweight Steel Framing Architectural Design guide*, Canadian Sheet Steel Association.
- CYPE, 2012a. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: <http://www.geradordeprecos.info/> [Acedido Fevereiro 14, 2012].
- CYPE, 2012b. Preço em Portugal de m de Barrote de madeira serrada, 7x7 cm. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/Estruturas/Madeira/Estruturas\\_para\\_coberturas/Barrote\\_de\\_madeira\\_serrada\\_0\\_2\\_0\\_0\\_0\\_0.html](http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/Estruturas/Madeira/Estruturas_para_coberturas/Barrote_de_madeira_serrada_0_2_0_0_0_0.html) [Acedido Outubro 4, 2012].
- CYPE, 2012c. Preço em Portugal de m<sup>2</sup> de Base de betão leve. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=4|0\\_0|1|RSB015|rsb\\_015:\\_0\\_0\\_6\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_1](http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=4|0_0|1|RSB015|rsb_015:_0_0_6_0_0_0_0_0_0_0_1) [Acedido Setembro 5, 2012].
- CYPE, 2012d. Preço em Portugal de m<sup>2</sup> de Gesso projectado. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/Revestimentos/Conglomerados\\_tradicionais/Aplicacao\\_de\\_gesso/Gesso\\_projectado.html](http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/Revestimentos/Conglomerados_tradicionais/Aplicacao_de_gesso/Gesso_projectado.html) [Acedido Setembro 5, 2012].
- CYPE, 2012e. Preço em Portugal de m<sup>2</sup> de Pano de parede divisória interior de alvenarias de tijolo cerâmico para revestir. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=2|0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0|PTZ010|ptz\\_010:c4\\_0\\_1c9\\_0\\_1\\_0\\_0](http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=2|0_0_0_0_0_0|PTZ010|ptz_010:c4_0_1c9_0_1_0_0) [Acedido Setembro 5, 2012].
- CYPE, 2012f. Preço em Portugal de m<sup>2</sup> de Sistema «PLACO» de estrutura autoportante de placas de gesso laminado, folha simples. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Divisoes/Estruturas\\_autoportantes/Placas\\_de\\_gesso\\_laminado/PSY050\\_Sistema\\_\\_PLACO\\_\\_de\\_estrutura\\_autopo.html](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Divisoes/Estruturas_autoportantes/Placas_de_gesso_laminado/PSY050_Sistema__PLACO__de_estrutura_autopo.html) [Acedido Outubro 5, 2012].
- CYPE, 2012g. Preço em Portugal de m<sup>2</sup> de Sistema «PLACO» de revestimento interior directo, de placas de gesso laminado, em paredes divisórias interiores, com mestras. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0\\_0|2|PTW050|ptw\\_050:\\_0\\_0\\_0\\_1\\_1\\_1\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0|2|PTW050|ptw_050:_0_0_0_1_1_1_0_0_0_0_0_0_0_0) [Acedido Outubro 3, 2012].
- CYPE, 2012h. Preço em Portugal de m<sup>3</sup> de Viga de madeira serrada. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at: [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Estruturas/Madeira/Vigas/Viga\\_de\\_madeira\\_serrada.html](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Madeira/Vigas/Viga_de_madeira_serrada.html) [Acedido Outubro 3, 2012].
- CYPE, 2012i. Preço m<sup>2</sup> de Laje aligeirada de vigota e abobadilha cimentícia. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A. Available at:



[http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=1|0\\_1|0|EHU025|ehu\\_025\\_forjado:c12\\_0\\_4\\_0\\_1\\_0\\_0|ehu\\_cuvo%20sin\\_pilares\\_vigas: 0\\_1000|acero:\\_0\\_0|mallazo%20estructuras:\\_0\\_3\\_0\\_0|hormigon%20estructura:\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_1\\_0\\_0](http://www.geradordeprecos.info/reabilitacao/calculaprecio.asp?Valor=1|0_1|0|EHU025|ehu_025_forjado:c12_0_4_0_1_0_0|ehu_cuvo%20sin_pilares_vigas: 0_1000|acero:_0_0|mallazo%20estructuras:_0_3_0_0|hormigon%20estructura:_0_0_0_0_0_0_0_0_1_0_0) [Acedido Maio 30, 2012].

- CYPE, 2012j. Preço m<sup>2</sup> de Laje de vigotas de madeira e painel de madeira. Gerador de preços para construção civil. *Gerador de Preços. CYPE - Software para Engenharia e Construção*. Available at: <http://www.geradordeprecos.info> [Acedido Maio 30, 2012].
- Davies, J., 2000. Recent research advances in cold-formed steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 55(1–3), pp.267–288.
- Dosmontes & Perfisa, 2012. Reabilitação em LSF - Perfisa - Álbums Web Picasa. Available at: <https://picasaweb.google.com/104401443525774708434/ReabilitacaoEmLSF> [Acedido Outubro 10, 2012].
- Encarnação, R.J.A. da, 2009. *Análise E Dimensionamento De Vigas De Aço Enformadas a Frio Ao Colapso Por Esmagamento Da Alma*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: UTL. Instituto Superior Técnico.
- EOTA, 2000. *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*, Bruxelas: Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA).
- Feng, M., Wang, Y. & Davies, J., 2003. Thermal performance of cold-formed thin-walled steel panel systems in fire. *Fire Safety Journal*, 38(4), pp.365–394.
- Feng, M. & Wang, Y.C., 2005. An experimental study of loaded full-scale cold-formed thin-walled steel structural panels under fire conditions. *Fire Safety Journal*, 40(1), pp.43–63.
- Franzoni, E., 2011. Materials Selection for Green Buildings: which Tools for Engineers and Architects? *Procedia Engineering*, 21(0), pp.883–890.
- Futureng, Engenharia para o futuro - Futureng. Available at: <http://www.futureng.pt/> [Acedido Abril 19, 2012].
- Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda., 2010. Projecto de execução de estrutura metálica - Edifício na Rua Cecílio de Souza, Lisboa.
- GalvInfo Center, 2012. GalvInfo Center. Available at: [http://www.galvinfo.com/galv\\_info\\_notes.htm](http://www.galvinfo.com/galv_info_notes.htm) [Acedido Setembro 26, 2012].
- Gervásio, H. et al., 2010. Affordable Houses: a sustainable concept for a light weight steel dwelling. Em Portugal SB10: Sustainable Building Affordable to All. Vilamoura.
- Gervásio, H., Silva, L.S. & Simão, P., 2003. Dimensionamento de elementos metálicos com perfis enformados a frio de acordo com a Parte 1.3 do Eurocódigo 3. Em *Análise e Verificação da Segurança*. IV Congresso de Construção Metálica e Mista. Lisboa.
- Gomes Pinto, T., 2008. *Estudo de tintas intumescentes na protecção de elementos estruturais em condições de incêndio*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial ramo Engenharia Mecânica. Bragança: Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. Available at: <http://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/2080> [Acedido Julho 10, 2012].
- Gorgolewski, M.T. & Couchman, G.H., 2003. *Acoustic Performance of Light Steel Framed Systems*, Ascot, Reino Unido: The Steel Construction Institute.

- Hancock, G.J., Murray, T. & Ellifrit, D.S., 2001. *Cold-formed Steel Structures to the Aisi Specification* 1st ed., CRC Press.
- Höglund, T. & Burstrand, H., 1998. Slotted steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls. *Thin-Walled Structures*, 32(1–3), pp.81–109.
- IPQ, 2003. *Aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (OSB). Definições, classificação e especificações = Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB). Définitions, classification et exigences = Oriented StrandBoards. Definitions, classification and specifications*, Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- IPQ, 1997. *Contraplacado - Qualidade da colagep.p. = Contreplaqué - Qualité du collage = Plywood - Bonding quality*, Monte da Caparica: Instituto Português da Qualidade.
- IPQ, 2000. *Eurocódigo 5: Projecto de estruturas de madeira = Eurocode 5: Calcul des structures en bois = Eurocode 5: Design of timber structures*, Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- ISO, 2003. *ISO 2631-2 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)* Second edition., International Organization for Standardization.
- JULAR, JULAR - OSB. Available at: [http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id\\_menu=20](http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=20) [Acedido Junho 22, 2012].
- Knauf, 2012. W11.es Knauf Tabiques con estructura metálica. Available at: [www.knauf.es](http://www.knauf.es).
- Kontogeorgos, D. et al., 2012. Heat and moisture transfer through a steel stud gypsum board assembly exposed to fire. *Construction and Building Materials*, 26(1), pp.746–754.
- Kopke, I., 2008. *Construção Leve Com Estrutura Em Aço Galvanizado «Light Steel Framing»*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Arquitectura. Lisboa: UTL, Instituto Superior Técnico.
- Lawson, R.M., 2001. Fire engineering design of steel and composite buildings. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(12), pp.1233–1247.
- Lawson, R.M. et al., 1999. *Modular Construction using Light Steel Framing: An Architect's Guide*, Ascot, Reino Unido: The Steel Construction Institute.
- Lawson, R.M., 2007. *Sustainability of steel in housing and residential buildings*, The Steel Construction Institute / Steel Homes Group.
- LNEC, 2007. *PROYAL com acabamento / MECAFINO PLUS - Revestimentos interiores de parede e tectos*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- LSK ed., 2005. *European Lightweight Steel-framed Construction*, Bruxelas: Arcelor / European Light Steel Construction Association.
- Lucas, J.A. de C., 1991. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*, Lisboa: LNEC.
- Mendonça, P., 2005. *Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Guimarães: Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4250> [Acedido Junho 14, 2012].

- Metsäliitto Cooperative ed., Contraplacados - Catálogo Finnforest Plywood. Available at: [www.jular.pt](http://www.jular.pt).
- Metsec Plc, 1946 - 1980: Rise and fall - Company History - Metsec plc. Available at: <http://www.metsec.com/products/plc/history-Metsec-03.asp> [Acedido Abril 3, 2012].
- MONTHP, 2012. Lustron Preservation » Detailed Description of Lustron System. *Lustron Preservation - Midwest Office of the National Trust for Historic Preservation*. Available at: <http://www.lustronpreservation.org/meet-the-lustrons/the-lustron-system/general-description-of-lustron-system> [Acedido Março 29, 2012].
- NAHB, 1997. *Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing* 2nd ed., The National Association of Home Builders.
- NASFA, 2000. *Low-Rise Residential Construction Details*, Washington D.C.: North American Steel Framing Alliance.
- Neves, S. da C. de M., 2011. *Estudo Da Aplicabilidade De Sistemas Construtivos No Desempenho Da Sustentabilidade Na Engenharia Civil*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.
- Nolasco, A.M.C., 2008. *Análise experimental do comportamento de madres enformadas a frio*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Panushev, I.S. & Vanderwerf, P.A., 2003. *Prescriptive Method for Connecting Cold-Formed Steel Framing to Insulating Concrete Form Walls in Residential Construction* Building Works, Inc., ed., Washington: U.S. Department of Housing and Urban Development - Office of Policy Development and Research.
- Park, S.-H. et al., 2011. Experimental study on the performance of a load-bearing steel stud gypsum board wall assembly exposed to a real fire. *Fire Safety Journal*, 46(8), pp.497–505.
- Patinha, S., 2011. *Construção Modular – Desenvolvimento da ideia: Casa numa caixa*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Perfisa, S.A., Catálogo de perfis metálicos estruturais. Available at: <http://www.perfisa.net/index.php> [Acedido Outubro 20, 2011].
- Pignatta e Silva, V. et al., 2006. A Real Fire in a Small Apartment - A Case Study. Em Internation Workshop Structures in Fire. Aveiro: Universidade de Aveiro. Available at: <http://www.livingsteel.org/technical-papers/a-real-fire-in-a-small-apartment> [Acedido Maio 8, 2012].
- Pinto, A., 2010. *Estabilidade Local De Perfis De Aço Enformados a Frio*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Popo-ola, S.O., Biddle, A.R. & Lawson, R.M., 2000. *Durability of Light Steel Framing in Residential Buildings*, Ascot, Reino Unido: Steel Construction Institute. Available at: [www.zinc.org](http://www.zinc.org) [Acedido Janeiro 10, 2012].
- Prola, L.C., 2001. *Estabilidade Local E Global De Elementos Estruturais De Aço Enformados a Frio*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Lisboa: UTL, Instituto Superior Técnico.
- Prouvé, J., 1971. *Jean Prouvé: Une architecture par l'industrie / Architektur aus der Fabrik / Industrial Architecture* 1st ed. B. Huber & J.-C. Steinegger, eds., Les Éditions d'Architecture Artemis.
- Radiustrack, 2010. *Curved-right Profile*, Minneapolis, E.U.A.: Radiustrack.

- RCCTE, 2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*,
- Rhodes, J. & Lawson, R.M., 1992. *Design of Structures Using Cold Formed Steel Sections: Section Properties and Member Capacities*, Steel Construction Institute, The.
- RRAE, 2008. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*,
- RTSCIE, 2008. *Regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios*,
- Saint-Gobain Placo Iberica, 2011. Manual Placo - Soluções em divisórias. Available at: <http://www.placo.es/> [Acedido Junho 22, 2012].
- Santos, P. et al., 2010. Energy performance and thermal behaviour of light steel buildings. Em Portugal SB10: Sustainable Building Affordable to All. Vilamoura.
- Santos, P. et al., 2009. Thermal performance of light steel residential buildings: Experimental and numerical simulation. Em ECS CECM EKS [www.steelconstruct.com](http://www.steelconstruct.com). Bruxelas: FCT UC.
- Schulitz, H.C., 2000. *Steel Construction Manual*, Basel: Birkhauser.
- SCI, 2001. *Light steel framing in renovation: Roof-top extensions, internal walls and over-cladding*, Ascot, Reino Unido: The Steel Construction Institute. Available at: <http://products.ihc.com/cis/Doc.aspx?AuthCode=&DocNum=272945> [Acedido Maio 8, 2012].
- SCIE, 2008. *Regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios*,
- Secil Prebetão - Préfabricados de Betão, S.A., Secil Prebetão - Pavimentos simples. Available at: [http://www.secilprebetao.pt/catalogo/detalhes\\_produto.php?id=81&sessao=1](http://www.secilprebetao.pt/catalogo/detalhes_produto.php?id=81&sessao=1) [Acedido Outubro 4, 2012].
- SFA, 2008. *Thermal design and code compliance for cold-formed steel walls*, Washington: Steel Framing Alliance.
- Sharma, A. et al., 2011. Life cycle assessment of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), pp.871–875.
- Silvestre, N., 2011. Cálculo Estrutural em «Aço Leve».
- Tian, Y.S., Wang, J. & Lu, T.J., 2004. Racking strength and stiffness of cold-formed steel wall frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(7), pp.1069–1093.
- Trebilcock, P., 1994. *Building Design Using Cold Formed Steel Sections: Architect's Guide*, The Steel Construction Institute.
- Trotman, P.M., Sanders, C. & Harrison, H., 2004. *Understanding dampness*,
- U.E. ed., 2010. Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Available at: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/construction/en0021\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_en.htm) [Acedido Junho 26, 2012].
- Uris, A. et al., 2006. Sound insulation of double frame partitions with an internal gypsum board layer. *Applied Acoustics*, 67(9), pp.918–925.

- Uris, A. et al., 2004. The influence of slits on sound transmission through a lightweight partition. *Applied Acoustics*, 65(4), pp.421–430.
- Veljkovic, M. & Johansson, B., 2006. Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures*, 44(12), pp.1272–1279.
- Vila Real, P.M., 2003. *Incêndio em Estruturas Metálicas - Cálculo Estrutural*, Edições Orion.
- VIROC, 2011. VIROC - Apresentação. Available at: [http://www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=33&lang=pt](http://www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=33&lang=pt) [Acedido Junho 22, 2012].
- VIROC, Viroc - Características Técnicas. Available at: [http://www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com\\_content&view=article&id=39&Itemid=30&lang=pt](http://www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=30&lang=pt) [Acedido Dezembro 13, 2011].
- Way, A.G.J. & Couchman, G.H., 2008. *Acoustic Detailing For Steel Construction*, Ascot, Reino Unido: The Steel Construction Institute.
- Way, A.G.J. & Kendrick, C., 2008. *Avoidance of Thermal Bridging in Steel Construction*, Steel Construction Institute.
- WCED, 1987. *Our Common Future*, Oxford: World Commission on Environment and Development / Oxford Paperbacks.
- Weingardt, R.G., 2008. Charles H. Thornton - Towering buider of towering buidings. *STRUCTURE Magazine*, p.69.
- Wright, C. et al., 2006. *Insulated Render Systems Used With Light Steel Framing*, Ascot, Reino Unido: Steel Construction Institute.
- Xu, L., 2011. Floor Vibration in Lightweight Cold-Formed Steel Framing. *Advances in Structural Engineering*, 14(4), pp.659–672.
- Yu, C. & Chen, Y., 2011. Detailing recommendations for 1.83 m wide cold-formed steel shear walls with steel sheathing. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(1), pp.93–101.
- Yu, W.W. & LaBoube, R.A., 2000. *Cold-Formed Steel Design* 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Zygomalas, I., Efthymiou, E. & Baniotopoulos, C.C., 2011. Life Cycle inventory (LCI) of cold-formed hollow structural steel sections for the sustainability assessment of metal structures. Em *COST Action C25 - Final Conference*. International Conference Sustainability of Constructions - Towards a better built environment. Innsbruck, Austria: COST.

## **Anexo A**

Directoria de empresas

Na seguinte lista obtida através do website da Futureng (Futureng sem data), empresa de projectistas dedicada exclusivamente ao cálculo de estruturas com perfis enformados a frio, estão referenciados os construtores portugueses que executam este tipo de construções para o sector habitacional e comercial:

Abego - Coimbra ([www.abego.pt](http://www.abego.pt))

Beira Serra - S.Brás de Alportel

Casa Santista - Sintra

Clanuvaper - Évora

ConceptX – Loulé ([www.conceptx.pt](http://www.conceptx.pt))

CRCarmo - Faro

Criatus - Porto

Danecasa – Guia, Albufeira

Dosmontes – Setúbal ([www.dosmontes.com](http://www.dosmontes.com))

Ecomodular – Torres Vedras

Ecoworks - Santarém

Engiaço - Braga ([www.engiaco.com](http://www.engiaco.com))

Excelencasa - Porto

FACIL - Ponta Delgada, São Miguel, Açores ([www.facil.pt](http://www.facil.pt))

FrameWorks - Lisboa

Gestedi - Sever do Vouga ([www.gestedi.pt](http://www.gestedi.pt))

Globalaço – Montijo, Setúbal

GSN - Loures

Habioliveira - Viseu

Igor & Johnson - Lisboa

Mário Fonseca, S. A. - Lisboa

Metalmix - Viseu

Norporto - Porto ([www.norporto.com](http://www.norporto.com))

Objecto - Braga

Opção Natural - Tavira

Plano Opus - Odivelas

Proruan - Albergaria-a-Velha

ReStructure - Porto

RP Construções - Beja ([www.rogeriopicarra.com](http://www.rogeriopicarra.com))

RPM - Ponta Delgada, São Miguel, Açores ([www.rpmconstrucoes.com](http://www.rpmconstrucoes.com))

Steel / Destaca – Tomar ([www.destaca.pt](http://www.destaca.pt))

SomundyPortugal / CenturySteel – Torres Vedras ([www.centurysteel.pt](http://www.centurysteel.pt) ; [www.somundyportugal.com](http://www.somundyportugal.com))

Topocivil - Faro

TopSteel – Viseu ([www.topsteel.pt](http://www.topsteel.pt))

Vieira & Maçano – Moscavide, Loures

Work Force - Setúbal

X-LOG – Lisboa ([www.x-log.pt](http://www.x-log.pt))

Empresas que se dedicam-se ao sector industrial e de armazenagem:

Constálica S.A. - Vouzela ([www.constalica.pt](http://www.constalica.pt))

Mecalux – repres. Oeiras / Matosinhos ([www.mecalux.com](http://www.mecalux.com))

Nortemonta – Maia ([www.nortemonta.pt](http://www.nortemonta.pt))

Ramada - F. Ramada Aços e indústrias S.A. - Ovar ([www.ramada.pt](http://www.ramada.pt))

Sucesso Previsto-Montagem de Sistemas de Armazenagem Lda – Maia

## Anexo B

Tabelas de dimensões e características de perfis estruturais fornecidos pela Perfisa, S.A. (adaptado de Perfisa, S.A. sem data)

PERFIS EM OMEGA	e (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	f (mm)	g (mm)	P (kg/ml)	A (mm <sup>2</sup> )	weff,y,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )
Omega Aba Normal	1,25	44,5	44,5	25,22	102	-	51,56	1,80	225	2754	3092	3019
Omega Aba Normal	2,00	46,0	45,3	26,00	102	-	50,00	2,96	363	-	-	-
Omega Aba Reforçada	1,25	44,5	44,5	25,22	102	9,0	51,56	1,96	247	-	-	-
Omega Aba Reforçada	2,00	46,0	45,3	26,00	102	9,0	50,00	3,23	399	-	-	-

PERFIS EM C	e (mm)	a (mm)	b (mm)	C (mm)	P (kg/ml)	A (mm <sup>2</sup> )	weff,y,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )
C90x1,5 *	1,5	15	43	90	2,426	300	-	2954	2844
C90x2,0	2,0	15	43	90	3,234	396	-	3805	3754
C90x2,5	2,5	15	43	90	4,043	490	-	-	-
C110x1,5	1,5	15	43	110	2,661	330	-	3018	2860
C110x2,0	2,0	15	43	110	3,548	436	-	3889	3782
C110x2,5	2,5	15	43	110	4,435	540	-	4601	4694
C130x1,5	1,5	15	43	130	2,897	360	-	3067	2870
C130x2,0	2,0	15	43	130	3,862	476	-	3953	3800
C130x2,5	2,5	15	43	130	4,828	590	-	4707	4756
C150x1,5 *	1,5	15	43	150	3,132	390	-	3106	2877
C150x2,0	2,0	15	43	150	4,176	516	-	4004	3813
C150x2,5	2,5	15	43	150	5,220	640	-	4789	4801
C170x1,5	1,5	15	43	170	3,368	420	-	3138	2883
C170x2,0	2,0	15	43	170	4,490	556	-	4046	3822
C170x2,5	2,5	15	43	170	5,613	690	-	4854	4833
C200x1,5	1,5	15	43	200	3,721	465	-	3175	2888
C200x2,0 *	2,0	15	43	200	4,961	616	-	4095	3841
C200x2,5	2,5	15	43	200	6,202	765	-	4930	4869
C250x1,5	1,5	15	43	250	4,310	540	32477	3221	2895
C250x2,0	2,0	15	43	250	5,460	716	45688	4155	3865
C250x2,5 *	2,5	15	43	250	7,183	890	-	5019	4908

PERFIS EM U	e (mm)	a (mm)	b (mm)	P (kg/ml)	A (mm <sup>2</sup> )	weff,y,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )
U93x1,5 *	1,5	43	93	2,108	264	5669	569	1433
U93x2,0	2,0	43	93	2,810	350	8399	1248	1948
U93x2,5	2,5	43	93	3,513	435	11388	2284	2451
U113x1,5	1,5	43	113	2,343	294	7526	558	1442
U113x2,0	2,0	43	113	3,124	390	11051	1246	1963
U113x2,5	2,5	43	113	3,905	485	14896	2306	2477
U133x1,5	1,5	43	133	2,579	324	9591	547	1448
U133x2,0	2,0	43	133	3,438	430	13977	1242	1974
U133x2,5	2,5	43	133	4,298	535	18742	2322	2493
U153x1,5 *	1,5	43	153	2,814	354	11862	538	1452
U153x2,0	2,0	43	153	3,752	470	17174	1237	1981
U153x2,5	2,5	43	153	4,469	585	22924	2332	2504
U174x1,5	1,5	43	174	3,062	386	14029	529	1455
U174x2,0	2,0	43	174	4,082	512	20822	1232	1986
U174x2,5	2,5	43	174	5,103	638	27678	2341	2513
U204x1,5	1,5	43	204	3,415	431	17211	518	1459
U204x2,0 *	2,0	43	204	4,533	572	26548	1225	1992
U204x2,5	2,5	43	204	5,691	713	35109	2349	2521
U255x1,5	1,5	43	255	4,015	507	22811	504	1462
U255x2,0	2,0	43	255	5,354	674	36013	1215	1998
U255x2,5 *	2,5	43	255	6,692	840	49471	2358	2531



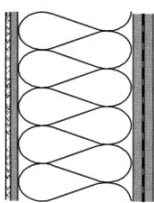
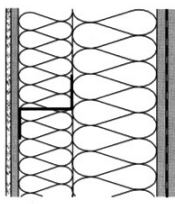
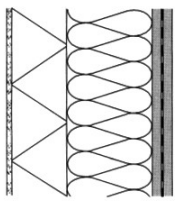
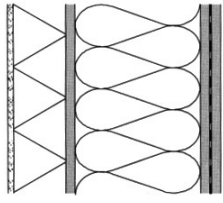
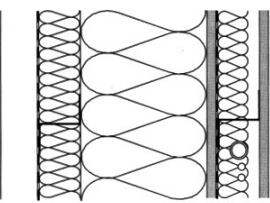
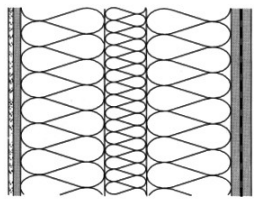
PERFIS EM C	e (mm)	a (mm)	b (mm)	C (mm)	P (kg/ml)	A (mm <sup>2</sup> )	weff,y,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )
C110x1,5	1,5	20	70	110	3,415	426	-	7109	6908
C110x2,0	2,0	20	70	110	4,553	564	-	-	-
C110x2,5	2,5	20	70	110	5,691	700	-	-	-
C130x1,5	1,5	20	70	130	3,650	456	-	7255	6949
C130x2,0	2,0	20	70	130	4,867	604	-	9460	9303
C130x2,5	2,5	20	70	130	6,084	750	-	-	-
C150x1,5	1,5	20	70	150	3,886	486	-	7374	6977
C150x2,0	2,0	20	70	150	5,181	644	-	9618	9355
C150x2,5	2,5	20	70	150	6,476	800	-	11760	11644
C170x1,5	1,5	20	70	170	4,121	516	-	7474	6998
C170x2,0	2,0	20	70	170	5,495	664	-	9750	9392
C170x2,5	2,5	20	70	170	6,869	850	-	11923	11756
C200x2,0	2,0	20	70	200	5,966	744	-	9910	9433
C200x2,5	2,5	20	70	200	7,458	925	-	12121	11897
C200x3,0	3,0	20	70	200	8,949	1104	-	13017	14463
C220x2,0	2,0	20	70	220	6,280	784	-	9998	9453
C220x2,5	2,5	20	70	220	7,850	975	-	12231	11967
C220x3,0	3,0	20	70	220	9,420	1164	-	13182	14574
C250x2,0	2,0	20	70	250	6,751	844	-	10110	9476
C250x2,5	2,5	20	70	250	8,439	1050	-	12369	12050
C250x3,0	3,0	20	70	250	10,127	1254	-	13386	14703
C300x2,0	2,0	20	70	300	7,536	944	-	10255	9504
C300x2,5	2,5	20	70	300	9,420	1175	-	12549	12149
C300x3,0	3,0	20	70	300	11,304	1404	-	13645	14857

PERFIS EM U	e (mm)	a (mm)	b (mm)	P (kg/ml)	A (mm <sup>2</sup> )	weff,y,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )	Weff,z,min (mm <sup>3</sup> )
U110x1,5	1,5	70	110	2,944	371	9120	743	3578
U110x2,0	2,0	70	110	3,925	492	13742	1510	4915
U110x2,5	2,5	70	110	4,906	613	18920	2682	6250
U130x1,5	1,5	70	130	3,179	401	11551	712	3596
U130x2,0	2,0	70	130	4,239	532	17259	1474	4948
U130x2,5	2,5	70	130	5,299	663	23630	2652	6304
U150x1,5	1,5	70	150	3,415	431	14197	684	3608
U150x2,0	2,0	70	150	4,553	572	21058	1440	4971
U150x2,5	2,5	70	150	5,691	713	28686	2620	6341
U170x1,5	1,5	70	170	3,650	461	17054	658	3617
U170x2,0	2,0	70	170	4,867	612	25136	1408	4988
U170x2,5	2,5	70	170	6,084	763	34086	2589	6368
U200x2,0	2,0	70	200	5,338	672	31769	1365	5006
U200x2,5	2,5	70	200	6,673	838	42824	2546	6397
U200x3,0	3,0	70	200	8,007	1002	54671	4259	7786
U220x2,0	2,0	70	220	5,652	712	36534	1339	5015
U220x2,5	2,5	70	220	7,065	888	49074	2519	6411
U220x3,0	3,0	70	220	8,478	1062	62486	4240	7807
U250x2,0	2,0	70	250	6,123	772	44192	1304	5026
U250x2,5	2,5	70	250	7,654	963	59084	2482	6428
U250x3,0	3,0	70	250	9,185	1152	74966	4211	7831
U300x2,0	2,0	70	300	6,908	872	58074	1256	5039
U300x2,5	2,5	70	300	8,635	1088	77452	2429	6448
U300x3,0	3,0	70	300	10,362	1302	97778	4168	7859

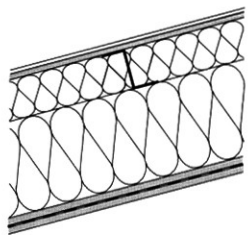
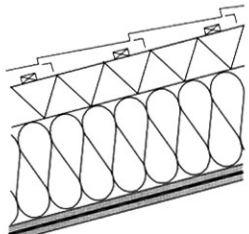
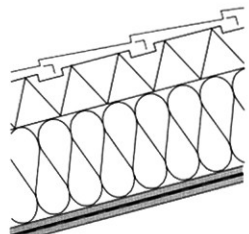
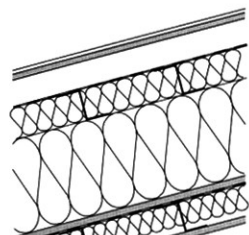
## Anexo C

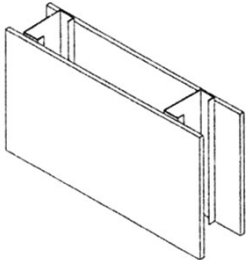
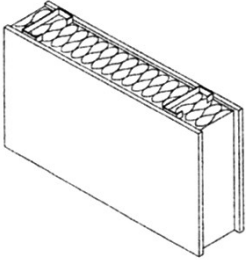
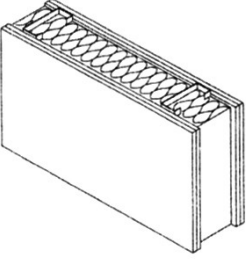
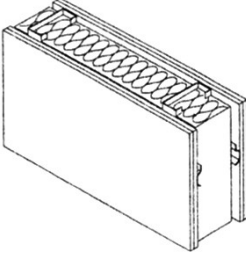
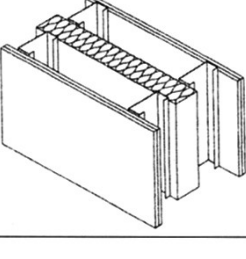
Opções de constituição dos vários componentes da envolvente construtiva e compartimentação (LSK 2005).

Valores de coeficiente de transmissão térmica e resistência ao fogo em paredes exteriores.

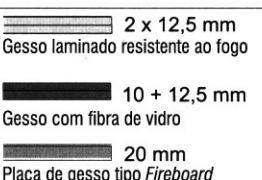
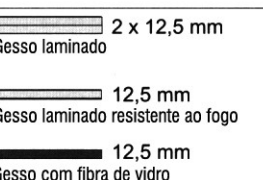
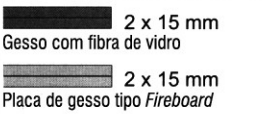
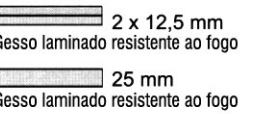

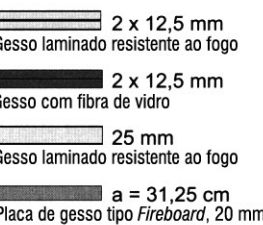

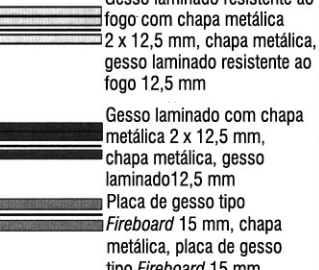
Componente estruturais	Perfil metálico: espessura = 1,5 mm; espaçamento = 625 mm Lã mineral de 40 kg/m <sup>2</sup>	Barreira de vapor (mm)	Coefficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Resistência ao fogo
	Reboco (mineral armado) Gesso laminado Montante / lã mineral Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	10 15 150 - 2 x 12,5 <b>200</b>	0,48	30 min
	Reboco (mineral armado) Gesso laminado Perfil metálico / lã mineral Montante / lã mineral Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	10 15 80 100 - 2 x 12,5 <b>230</b>	0,25	30 min
	Reboco (mineral armado) Isolamento à base de fibras de madeira Montante / lã mineral Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	10 80 100 - 2 x 12,5 <b>215</b>	0,29	30 min
	Reboco (mineral, armado) Isolamento térmico em poliestireno expandido Emboço Montante / lã mineral Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	15 80 15 150 - 2 x 12,5 <b>285</b>	0,22	30 min
	Reboco (mineral, armado) Gesso laminado Perfil metálico / lã mineral Membrana de estanquidade ao ar Montante / lã mineral Gesso laminado Barreira de vapor Cavidade de inst. técnica / lã mineral 40 mm Painel de gesso com fibra de vidro	10 15 2 x 60 - 150 10 - 60 12,5 <b>377,5</b>	0,19	30 min
	Reboco (mineral, armado) Gesso laminado Montante / lã mineral Lã mineral Montante Lã mineral com juntas desencontradas Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	10 15 100 50 100 - 2 x 12,5 <b>300</b>	0,18	30 min

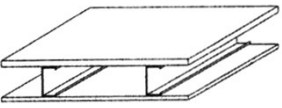
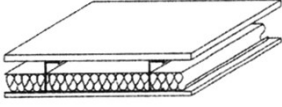
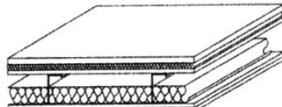
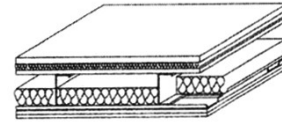
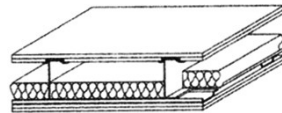
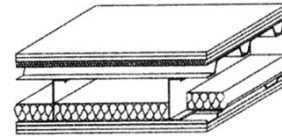
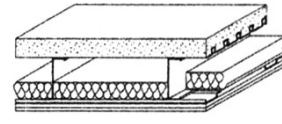
Valores de coeficiente de transmissão térmica e resistência ao fogo em coberturas

Componente estruturais	Perfil metálico: espessura = 2,0 mm; espaçamento = 400 mm Lã mineral de 40 kg/m <sup>2</sup>	Espessura (mm)	Coefficiente de transmissão térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Resistência ao fogo
	Revestimento de cobertura, metálico Camada de forma ... Perfil ... / isolamento Estrutura metálica / isolamento Impermeabilização Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	1,5 22 80 200 - 2 x 12,5  <b>328,5</b>	0,21	30 mn
	Revestimento de telha Ripado Isolamento à base de fibras de madeira Perfis estruturais / Isolamento Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	40 30 80 200 - 2 x 12,5  <b>375</b>	0,27	30 mn
	Revestimento de telha Poliestireno expandido (EPS) Perfis estruturais / Isolamento Barreira de vapor Gesso laminado duplo, resistente ao fogo	40 80 200 - 2 x 12,5  <b>345</b>	0,21	30 mn
	Revestimento metálico Base rígida Ripado (ventilação) Membrana impermeável Mestras / Isolamento Perfis estruturais / isolamento Gesso laminado resistente ao fogo Barreira de vapor Perfil metálico / Isolamento 40 mm Gesso laminado	1 22 60 - 60 200 12,5 - 60 12,5  <b>380,5</b>	0,19	30 mn

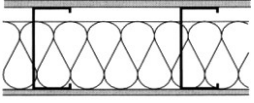
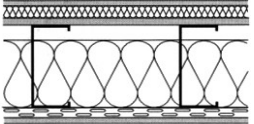
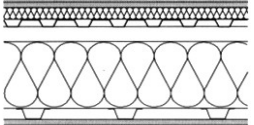
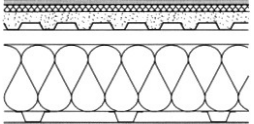
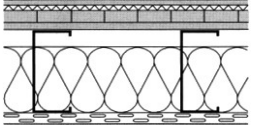
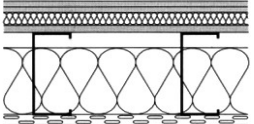
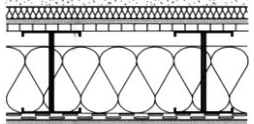
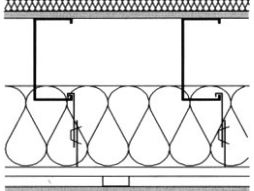
Isolamento acústico (indicativo) e resistência ao fogo em paredes de estrutura de aço enformado a frio			
	Especificações	$D_n T_w$	Resistência ao Fogo
	gesso laminado 12,5 mm montantes gesso laminado 12,5 mm	35 dB	30 min
	gesso laminado 12,5 mm montantes lã mineral na cavidade gesso laminado 12,5 mm	45 dB	30 min
	2 camadas de gesso laminado 12,5 mm montantes lã mineral na cavidade 2 camadas de gesso laminado 12,5 mm	50 dB	60 min
	2 camadas de gesso laminado 12,5 mm perfis resilientes montantes lã mineral na cavidade perfis resilientes 2 camadas de gesso laminado 12,5 mm	58-60 dB	60 min
	2 camadas de gesso laminado 12,5 mm estrutura dupla de montantes lã mineral na cavidade entre montantes ripado horizontal em perfil de aço 2 camadas de gesso laminado 12,5 mm	60-65 dB	60 min

Constituição de paredes estruturais e não estruturais e respectiva resistência ao fogo

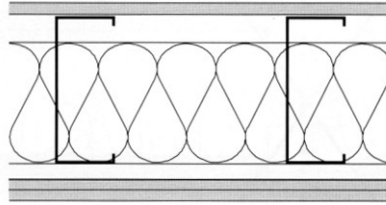
	Parede estrutural $a < 62,5 \text{ cm}$		Parede não estrutural $a = 62,5 \text{ cm}$		
	Revestimento isolante ao fogo	Lã mineral Espessura [mm] Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Revestimento isolante ao fogo	Lã mineral Espessura [mm] Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	
<b>30 min</b>	 <p>2 x 12,5 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>10 + 12,5 mm Gesso com fibra de vidro</p> <p>20 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i></p>	-	 <p>2 x 12,5 mm Gesso laminado</p> <p>12,5 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>12,5 mm Gesso com fibra de vidro</p>	40 - 40	30 - 20
<b>60 min</b>	 <p>2 x 15 mm Gesso com fibra de vidro</p> <p>2 x 15 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i></p>	-	 <p>2 x 12,5 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>25 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p>	40 40	40 40
<b>90 min</b>	 <p>2 x 25 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>2 x 20 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i></p> <p>3 x 12,5 mm Gesso com fibra de vidro</p>	-	 <p>2 x 12,5 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>2 x 12,5 mm Gesso com fibra de vidro</p> <p>25 mm Gesso laminado resistente ao fogo</p> <p>a = 31,25 cm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i>, 20 mm</p>	40 50 60 100	30 50 50 40
<b>90 min Fire wall</b>	 <p>Gesso laminado resistente ao fogo 25 mm, chapa metálica, gesso laminado resistente ao fogo 25 mm</p> <p>Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i> 20 mm, chapa metálica, placa de gesso tipo <i>Fireboard</i> 20 mm</p> <p>Gesso laminado 2 x 12,5 mm, chapa metálica, placa de gesso tipo <i>Fireboard</i> 20 mm</p>	-	 <p>Gesso laminado resistente ao fogo com chapa metálica 2 x 12,5 mm, chapa metálica, gesso laminado resistente ao fogo 12,5 mm</p> <p>Gesso laminado com chapa metálica 2 x 12,5 mm, chapa metálica, gesso laminado 12,5 mm</p> <p>Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i> 15 mm, chapa metálica, placa de gesso tipo <i>Fireboard</i> 15 mm</p>	- - -	- - -



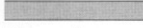
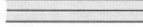

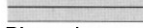
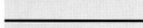

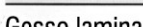
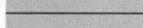
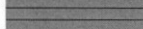
	Especificações	D <sub>nT<sub>w</sub></sub>	Resistência ao Fogo
	revestimento estrutural 18 mm ripado horizontal em perfil de aço gesso laminado 12,5 mm	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 33 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 83	30 min
	revestimento estrutural 18 mm ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade 100 mm gesso laminado 12,5 mm	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 42 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 76	30 min
	painel de fibras de madeira e cimento 19 mm camada resiliente > 10 mm revestimento estrutural ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade 100 mm 2 camadas gesso laminado (espessura total 30 mm)	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 52 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 61	60 min
	painel de fibras de madeira 18 mm gesso laminado 19 mm lã mineral / lâmina de vidro 25-30 mm revestimento estrutural ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade 100 mm camada resiliente 2 camadas gesso laminado (espessura total 30 mm)	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 57-60 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 54-57	60 min
	painel de fibras de madeira 18 mm perfil resiliente em Ω gesso laminado entre... ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade camada resiliente 2 camadas gesso laminado 12,5 mm espessura total 30 mm	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 55 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 59	60 min
	painel de fibras de madeira 18 mm gesso laminado 19 mm lã mineral / lâmina de vidro 25-30 mm chapa perfilada 30 mm ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade 2 camadas gesso laminado (espessura total 30 mm)	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 55 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 59	60 min
	laje composta de chapa perfilada e betão ripado horizontal em perfil de aço lã mineral na cavidade camada resiliente 2 camadas gesso laminado (espessura total 30 mm)	D <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 55-59 L <sub>nT<sub>w</sub></sub> = 53-59	60 min

Valores de isolamento acústico e estruturas de tecto em construção em aço enformado a frio

Estrutura do componente	índice de redução sonora $R'_w$	Nível sonoro de percussão $L_{n,wR}$
	<p>painel de fibras de madeira e cimento 22 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm gesso laminado 12,5 mm</p>	<p>38 dB*      73 dB*</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 20 mm revestimento estrutural vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 12,5 mm</p>	<p>52 dB*      58 dB*</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 20 mm chapa perfurada 25 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 12,5 mm</p>	<p>52 dB*      58 dB*</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 10 mm chapa perfurada com betonilha 30 mm painel de fibras de madeira e cimento 22 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 12,5 mm</p>	<p>56 dB*      50 dB*</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 10 mm <i>weighting sand mats</i> 34 mm painel de fibras de madeira e cimento 22 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 12,5 mm</p>	<p>58 dB*      50 dB*</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 20 mm painel de fibras de madeira e cimento 22 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 2 x 12,5 mm</p>	<p>54 dB*      53 dB*</p>
	<p>betonilha 50 mm isolamento a sons de impacto 30 mm gesso laminado 12,5 mm revestimento estrutural 19 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm perfil resiliente 25 mm gesso laminado 2 x 12,5 mm</p>	<p>69 dB Acc- to-test certificate      45 dB Acc- to-test certificate</p>
	<p>painel de gesso com fibra de vidro 2 x 10 mm isolamento a sons de impacto 20 mm painel de fibras de madeira e cimento 22 mm vigotas 200 mm lã mineral 160 mm sistema de suspensão perfil de fixação 2 x 25 mm gesso laminado 2 x 12,5 mm</p>	<p>53 dB*      52 dB*</p>

Revestimento de tectos auto-portantes  
em construção de aço enformado a frio  
com resistência ao fogo

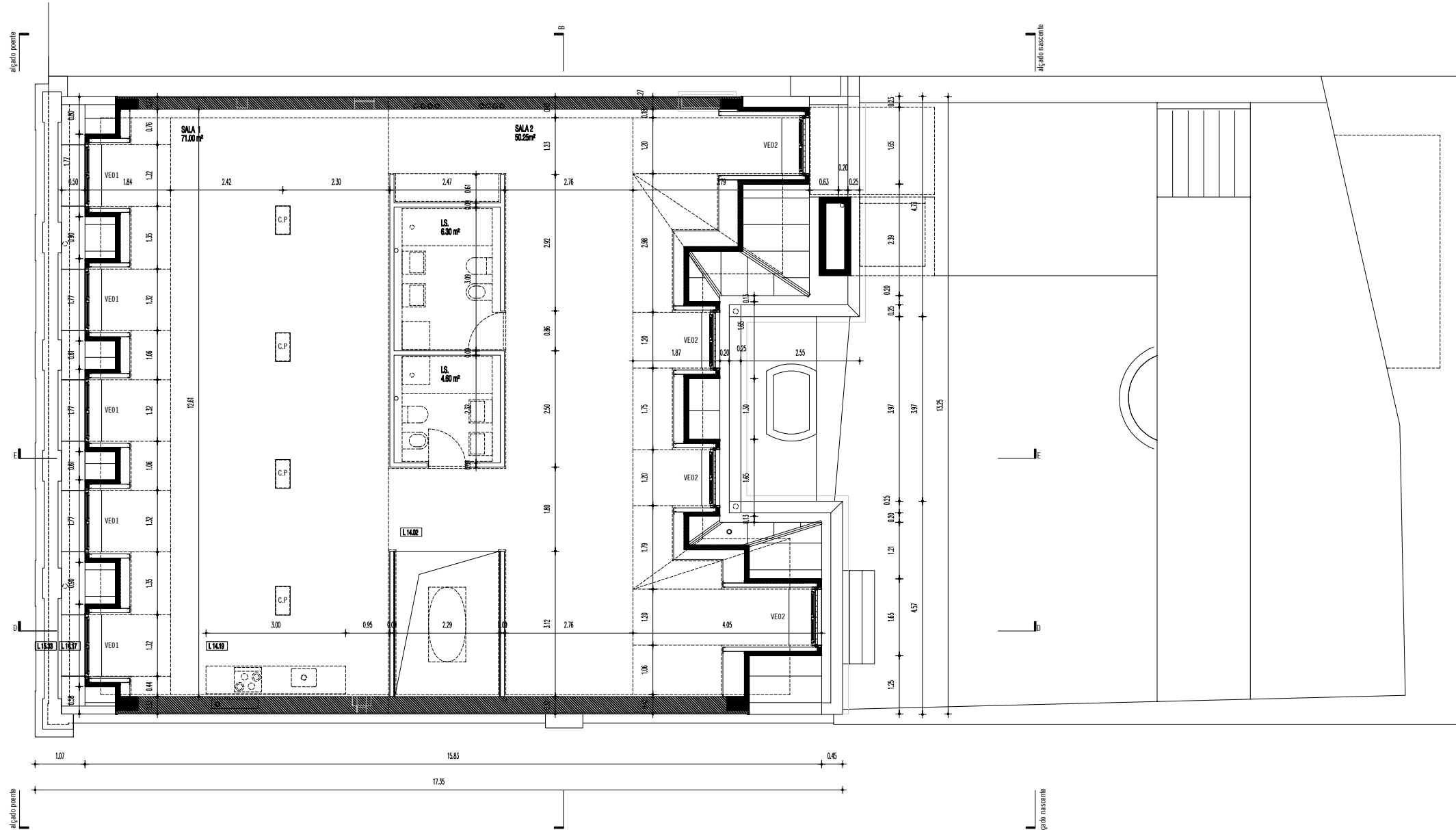


	Revestimento de tecto
<b>30 min</b>	 2 x 12,5 mm Gesso laminado resistente ao fogo  2 x 10 mm Gesso com fibra de vidro  20 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i>
<b>60 min</b>	 18 + 15 mm Gesso laminado resistente ao fogo  2 x 15 mm Gesso com fibra de vidro  2 x 15 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i>
<b>90 min</b>	 2 x 20 mm Gesso laminado resistente ao fogo  25 + 18 mm Gesso laminado resistente ao fogo  2 x 20 mm Placa de gesso tipo <i>Fireboard</i>  4 x 10 mm Gesso com fibra de vidro  1 x 15 mm + 2 x 12,5 mm Gesso com fibra de vidro

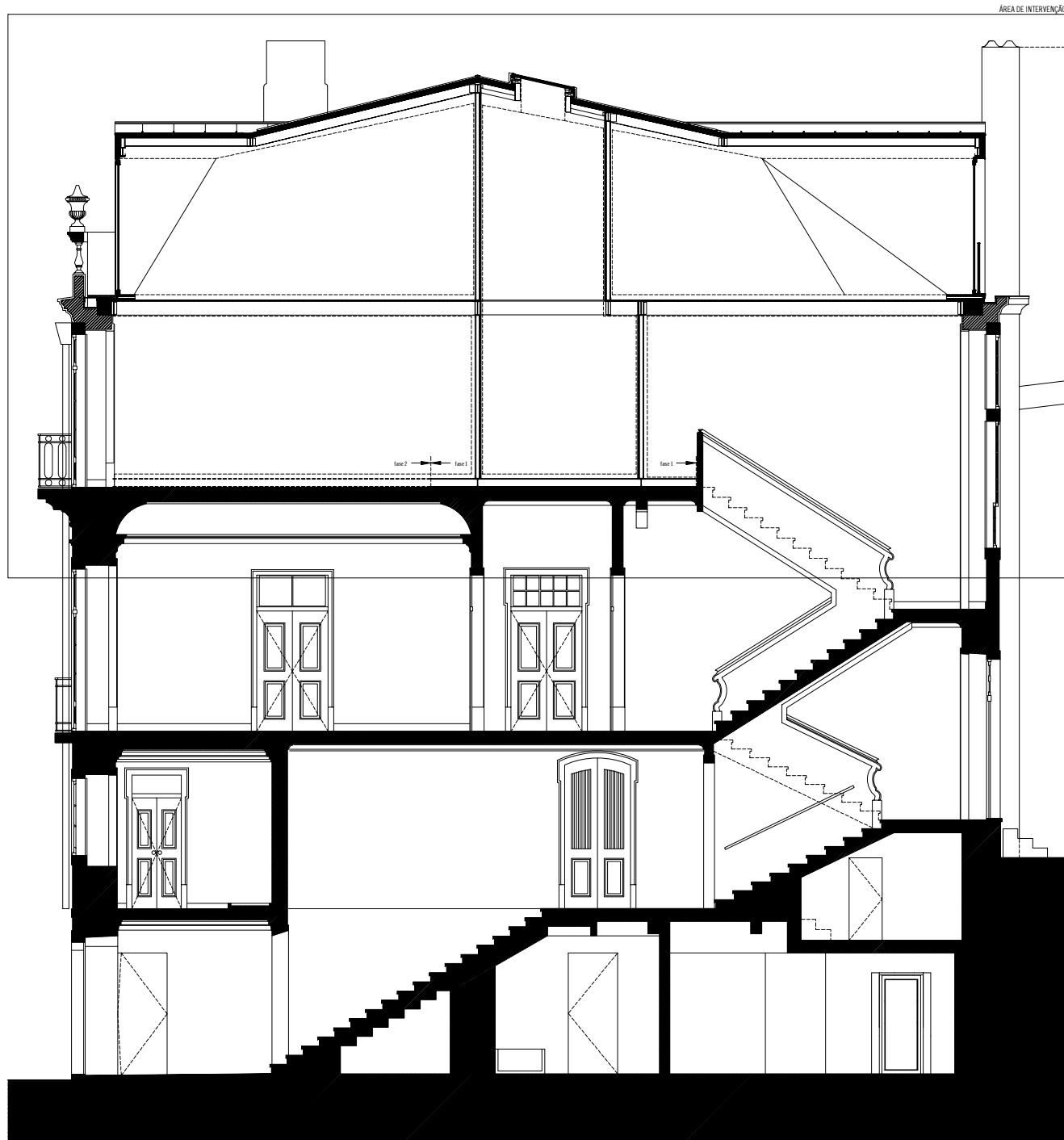


## **Anexo D**

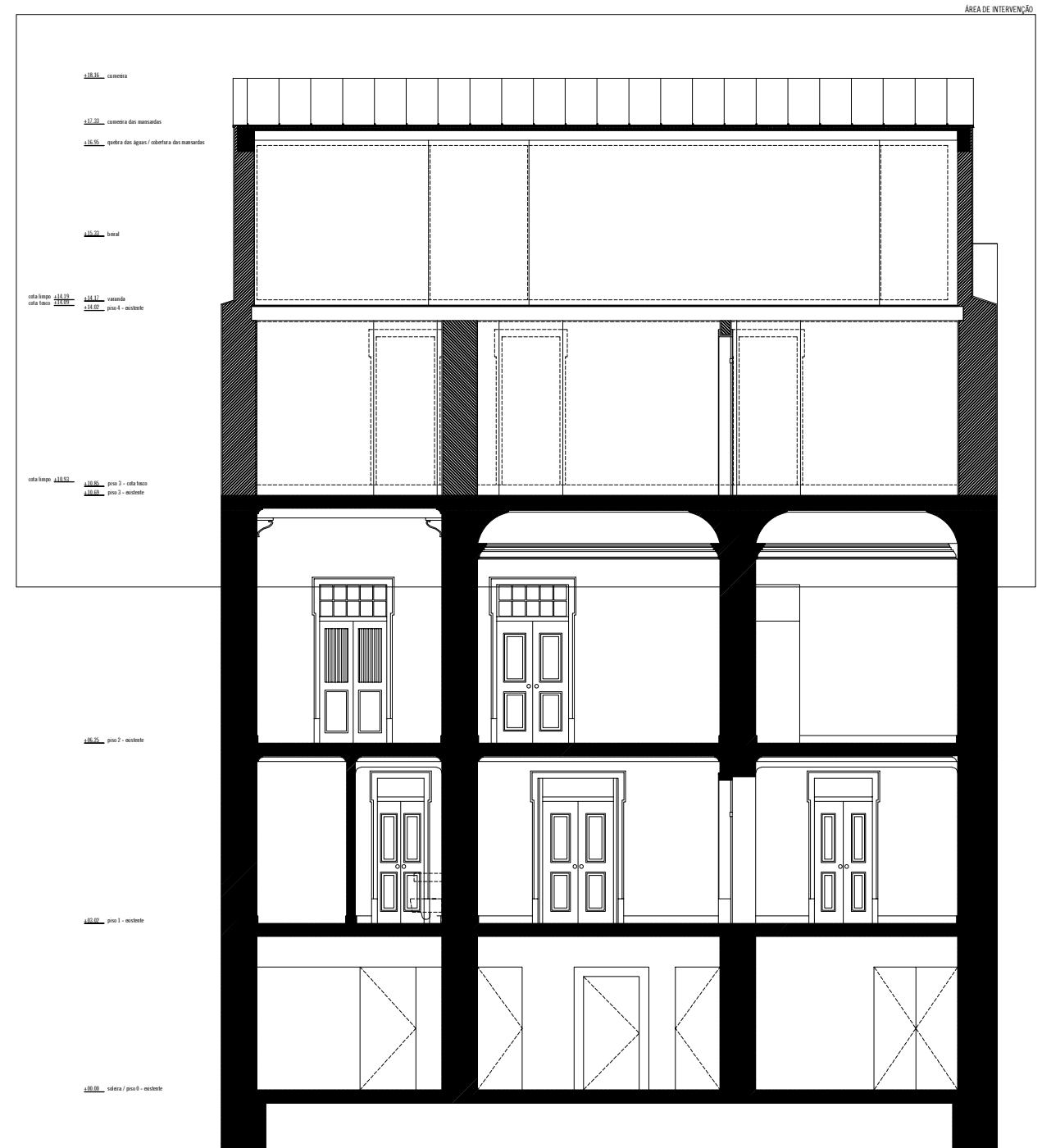
Colecção de peças desenhadas relativos ao caso de estudo “Rua Cecílio de Souza, Lisboa” (Aires Mateus & Associados, Lda. 2010; AFA Consult 2010; Futureng – Projectos de Construção Civil, Lda. 2010).







CORTE D

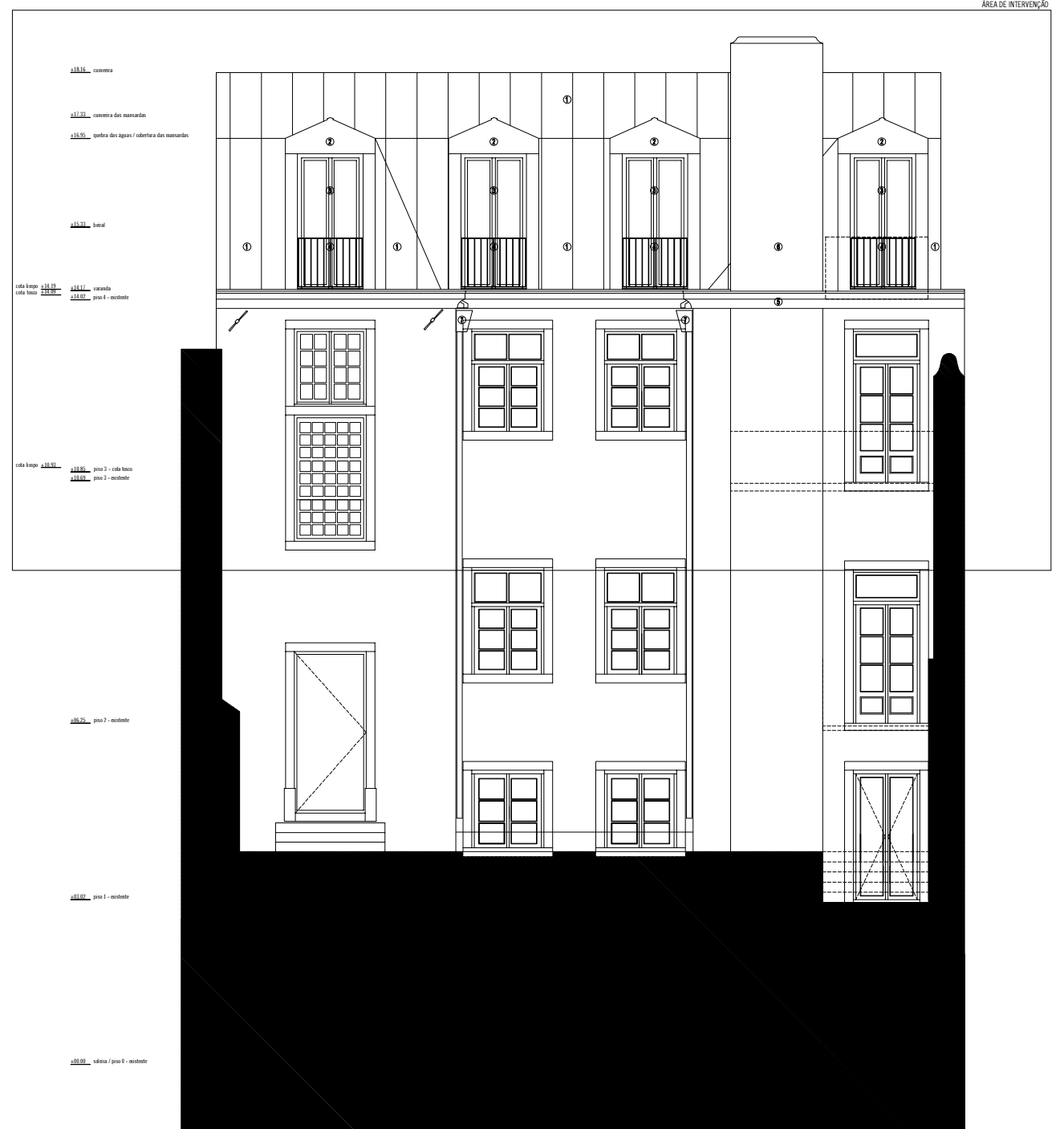


CORTE B

O presente projeto foi elaborado com base em informações fornecidas pelo cliente e não se responsabiliza por eventuais erros ou omissões.



ALÇADO POENTE



ALÇADO NASCENTE

LEGENDA

1. CHAPA DE ZINCO Nº 12 VN ZINC COM ACABAMENTO PRÉ-PATINADO QUARTZ ZINC
2. CHAPA DE ZINCO Nº 14 VN ZINC COM ACABAMENTO PRÉ-PATINADO QUARTZ ZINC
3. CAIXILHARIA DE MADEIRA COM VIDRO DUPLO DA CATEDRAL
4. GUARDA METÁLICA PINTADA A FERROMICÁCEOS
5. BEIRADO E BALAUSTRADAS A RECUPERAR
6. CHAMINÉS A RECUPERAR
7. SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAS

1. CHAPA DE ZINCO Nº 12 VN ZINC COM ACABAMENTO PRÉ-PATINADO QUARTZ ZINC  
 2. CHAPA DE ZINCO Nº 14 VN ZINC COM ACABAMENTO PRÉ-PATINADO QUARTZ ZINC  
 3. CAIXILHARIA DE MADEIRA COM VIDRO DUPLO DA CATEDRAL  
 4. GUARDA METÁLICA PINTADA A FERROMICÁCEOS  
 5. BEIRADO E BALAUSTRADAS A RECUPERAR  
 6. CHAMINÉS A RECUPERAR  
 7. SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAS

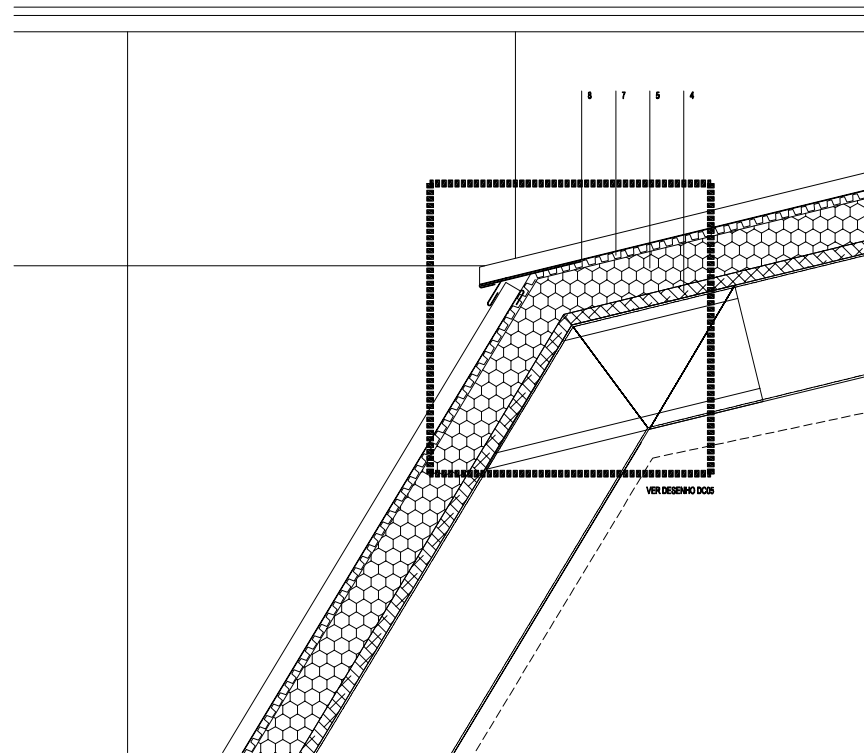
PROJETO	Arquitetura e Engenharia	AR
CLIENTE	ARQUITETURA	AR
APROVAÇÃO	AR	AR
DATA	2023	AR

PROJETO	ARQUITETURA E ENGENHARIA	AR
CLIENTE	ARQUITETURA E ENGENHARIA	AR
APROVAÇÃO	AR	AR
DATA	2023	AR

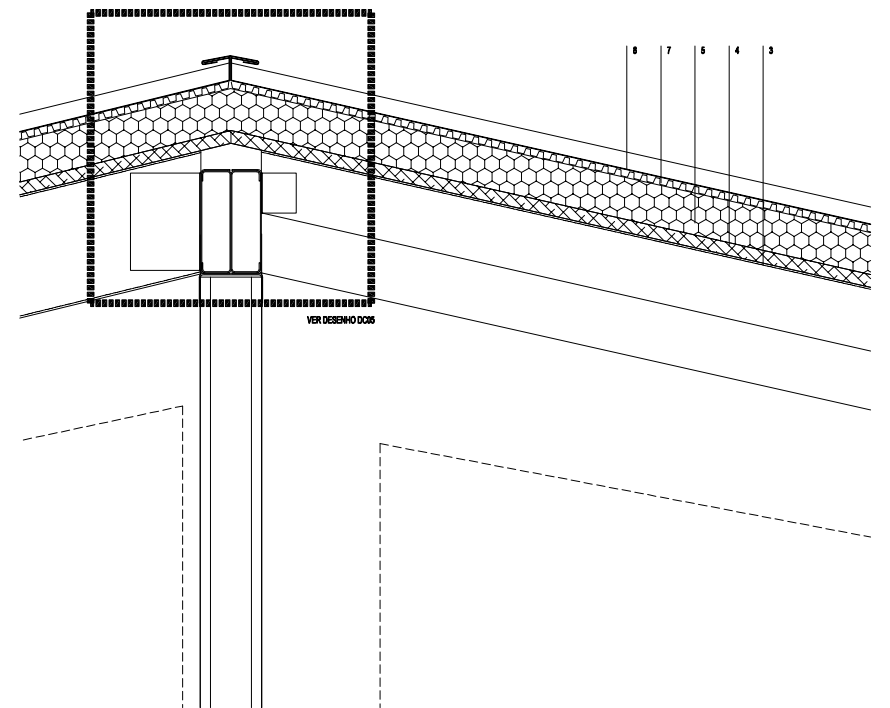
PROJETO DE EXECUÇÃO  
 ALÇADOS NASCENTE E POENTE  
 JULHO DE 2023

LEGENDA

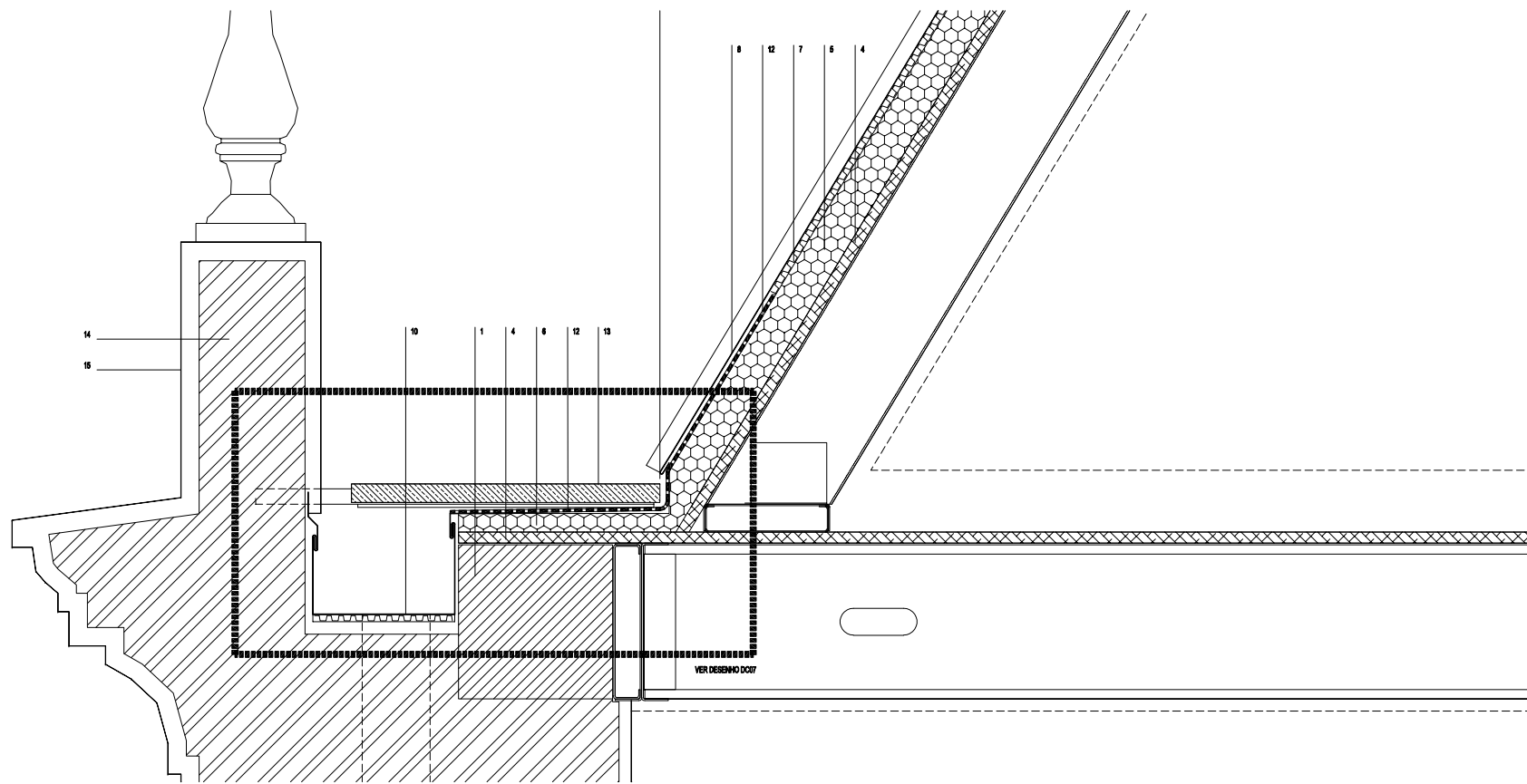
1. VIGA DE COROAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.
6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.
7. TELA DELTA VN ZINC COM 8,5mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1,5%
11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA
14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TIJOLO
15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR
16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)
17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA
18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA
19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO
20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO
21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ



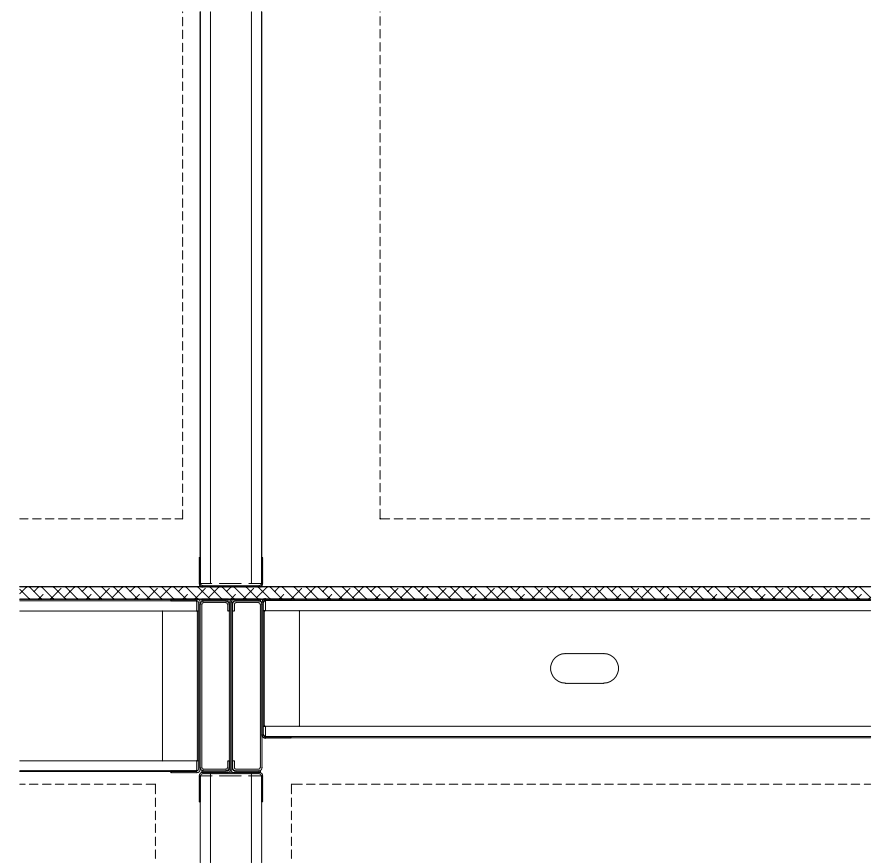
PORMENOR DE REMATE NA QUEBRA DAS ÁGUAS DA COBERTURA - ESCALA 1:5



PORMENOR DE REMATE NA CUMEIRA DA COBERTURA - ESCALA 1:5

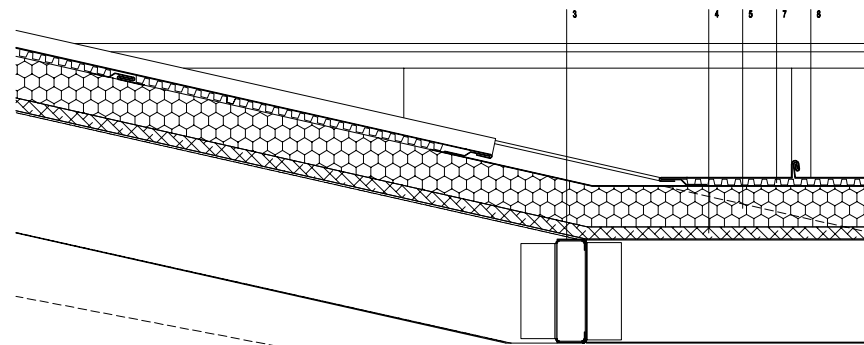


PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA EM ZINCO COM FACHADA PRINCIPAL - ESCALA 1:5

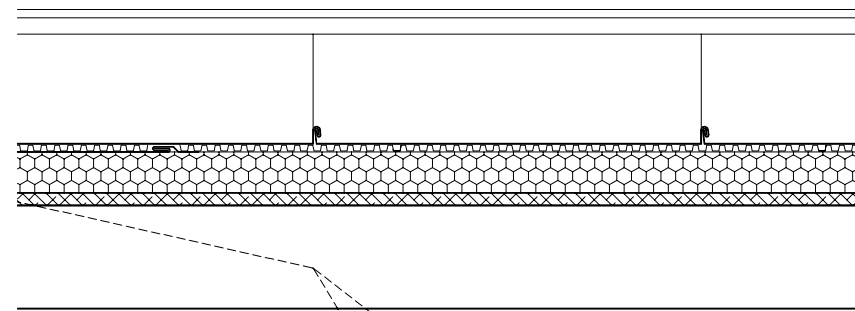


PORMENOR TIPO DE REMATE DE PAREDE COM PAVIMENTOS - ESCALA 1:5

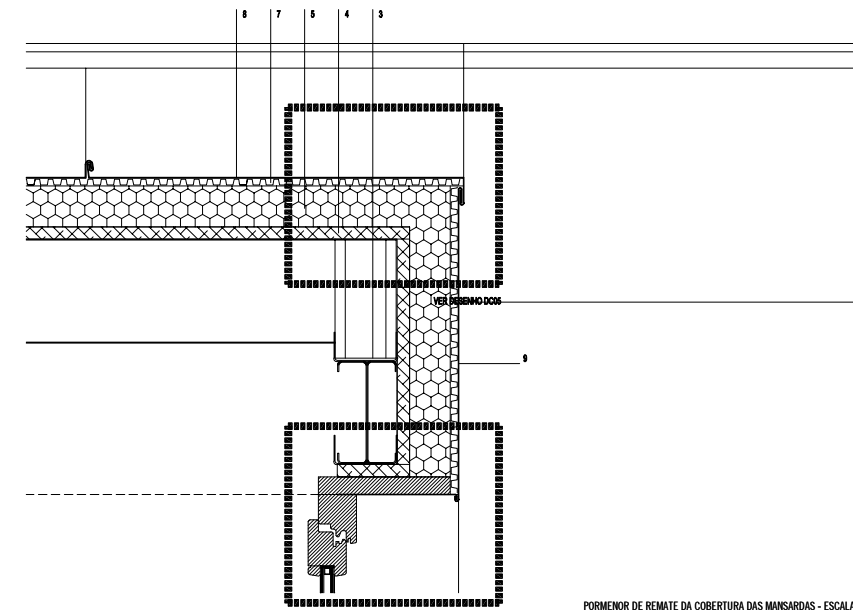
1. VIGA DE COROAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.  
 6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.  
 7. TELA DELTA VN ZINC COM 8,5mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1,5%  
 11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO  
 13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA  
 14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TIJOLO  
 15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR  
 16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)  
 17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA  
 18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA  
 19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO  
 20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO  
 21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ



PORMENOR DE REMATE DAS ENGRAS DA COBERTURA (VER DC06) - ESCALA 1:5



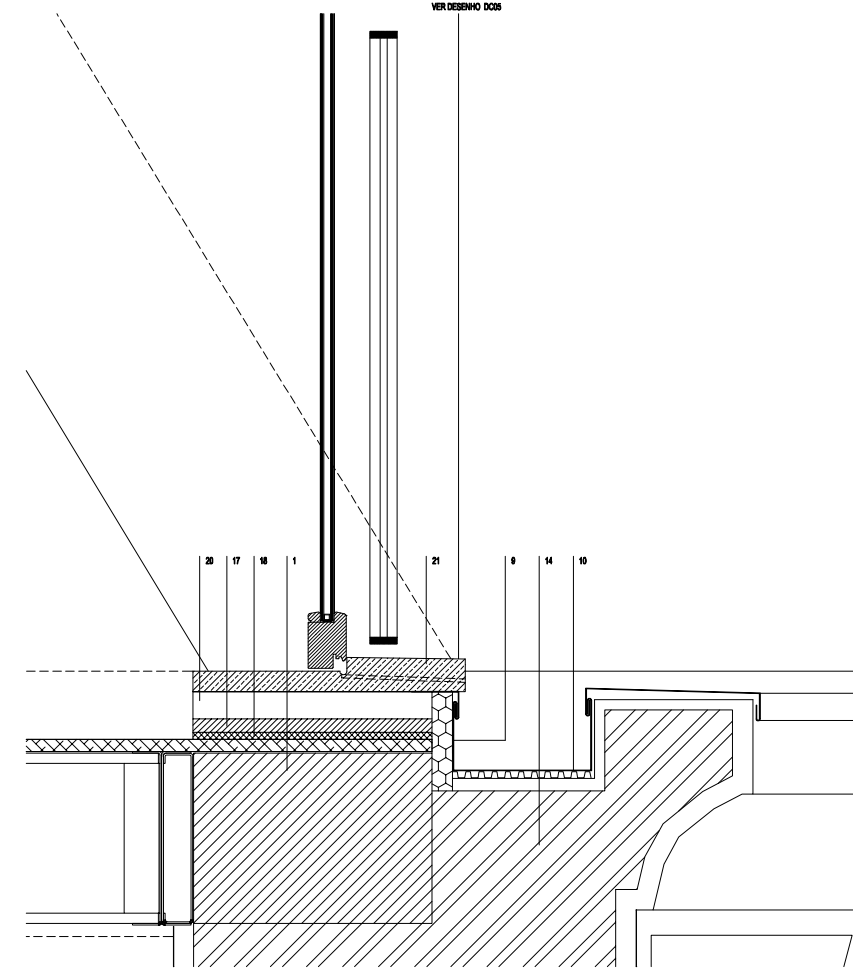
PORMENOR DE REMATE DO TECTO DAS MANSARDAS - ESCALA 1:5



PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA DAS MANSARDAS - ESCALA 1:5

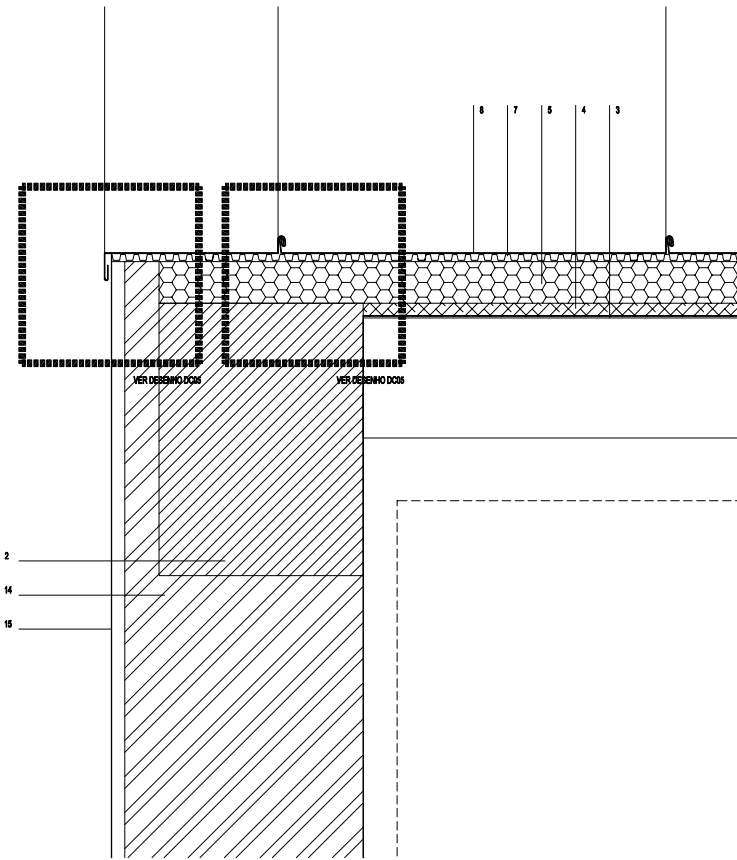
LEGENDA

1. VIGA DE CORDAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.
6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.
7. TELA DELTA VN ZINC COM 8,6mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1,5%
11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA
14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TIJOLO
15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR
16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)
17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA
18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA
17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA
18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA
19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO
20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO
21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ

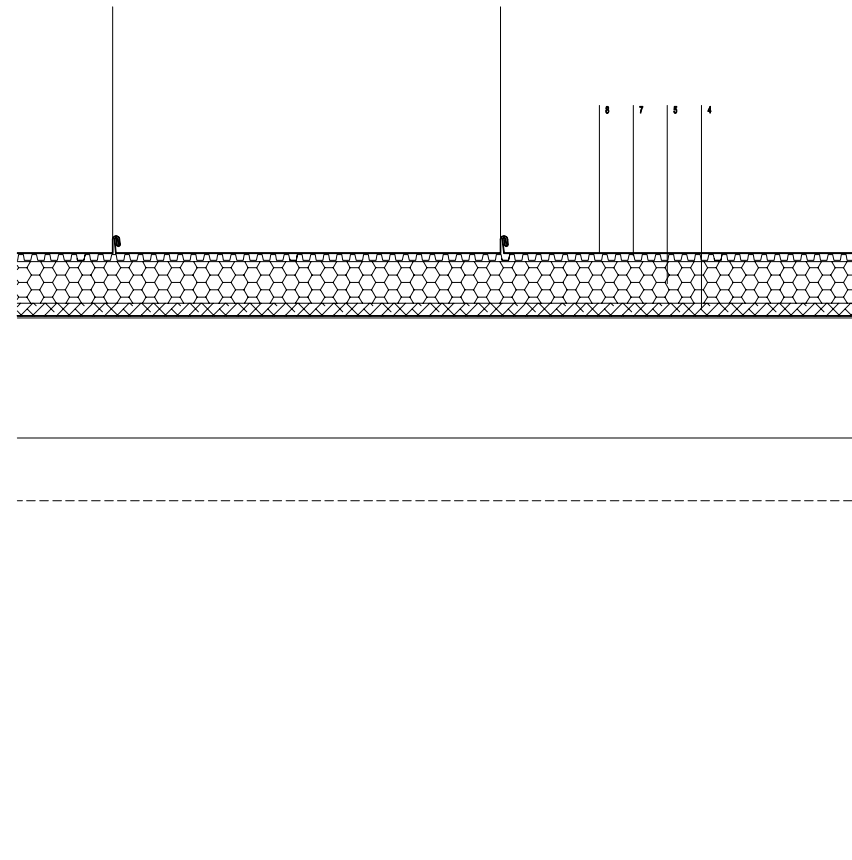


PORMENOR DE REMATE DA MANSARDA EM ZINCO COM FACHADA TARDOZ (VÃO DE PORTA) - ESCALA 1:5

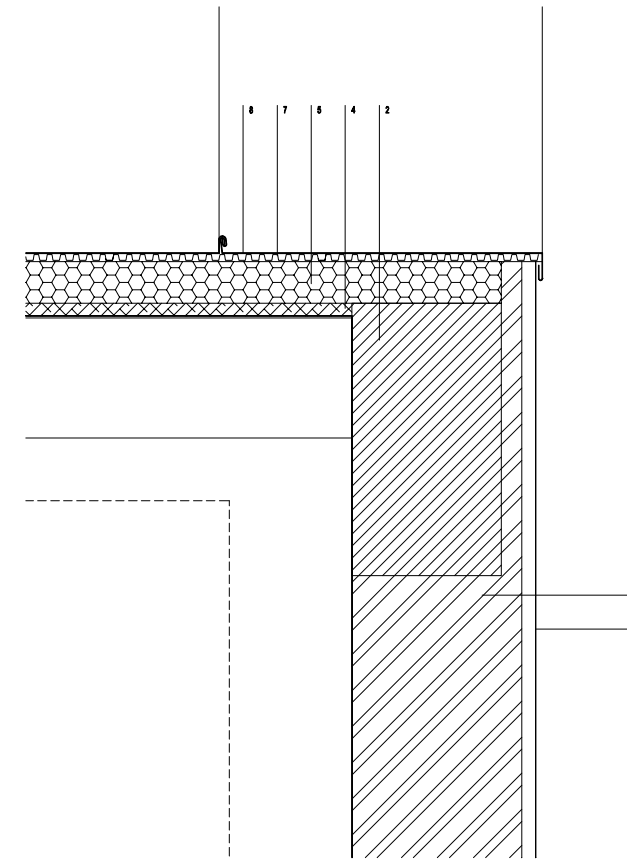
PROJETO DE ARQUITECTURA	Indústria e Comércio
CLIENTE	Indústria e Comércio
PROJETO DE ARQUITECTURA	Indústria e Comércio
PROJETO DE ARQUITECTURA	Indústria e Comércio



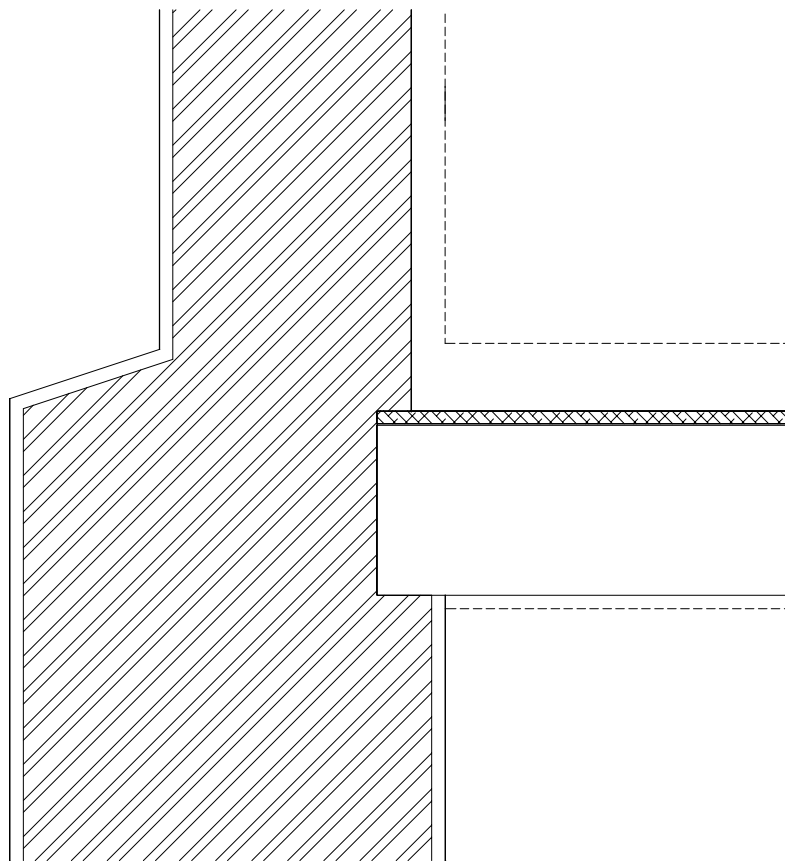
PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA COM EMPENA (CORTE B) - ESCALA 1:5



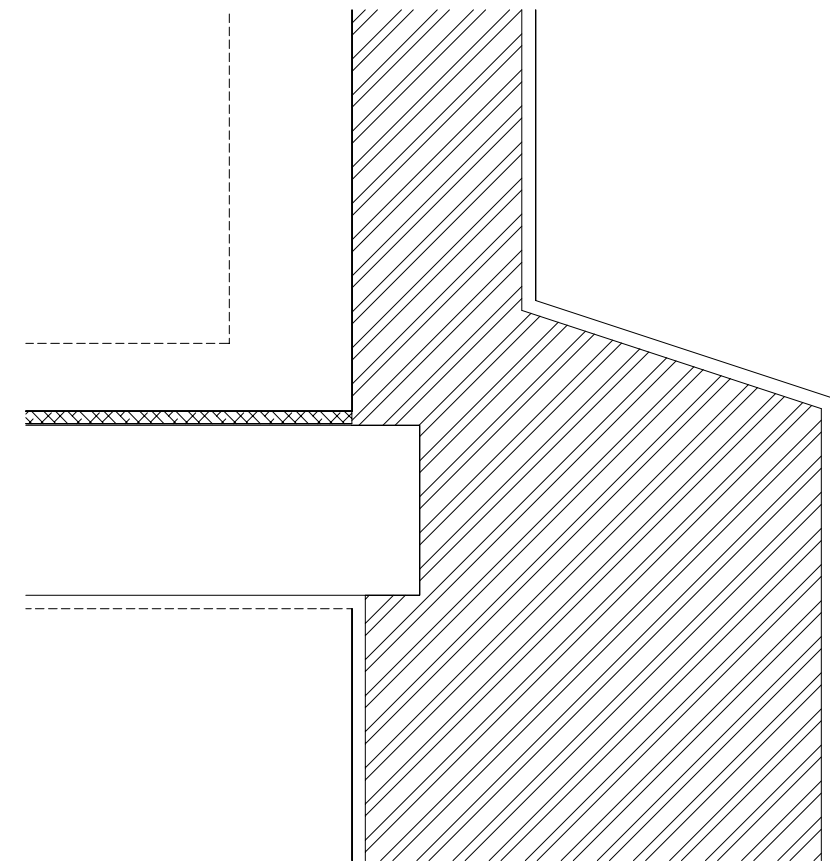
PORMENOR DE JUNTA AGRAFADA DA COBERTURA EM ZINCO - ESCALA 1:5



PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA COM EMPENA (CORTE B) - ESCALA 1:5



PORMENOR DE PAREDE EXTERIOR DA EMPENA - ESCALA 1:5



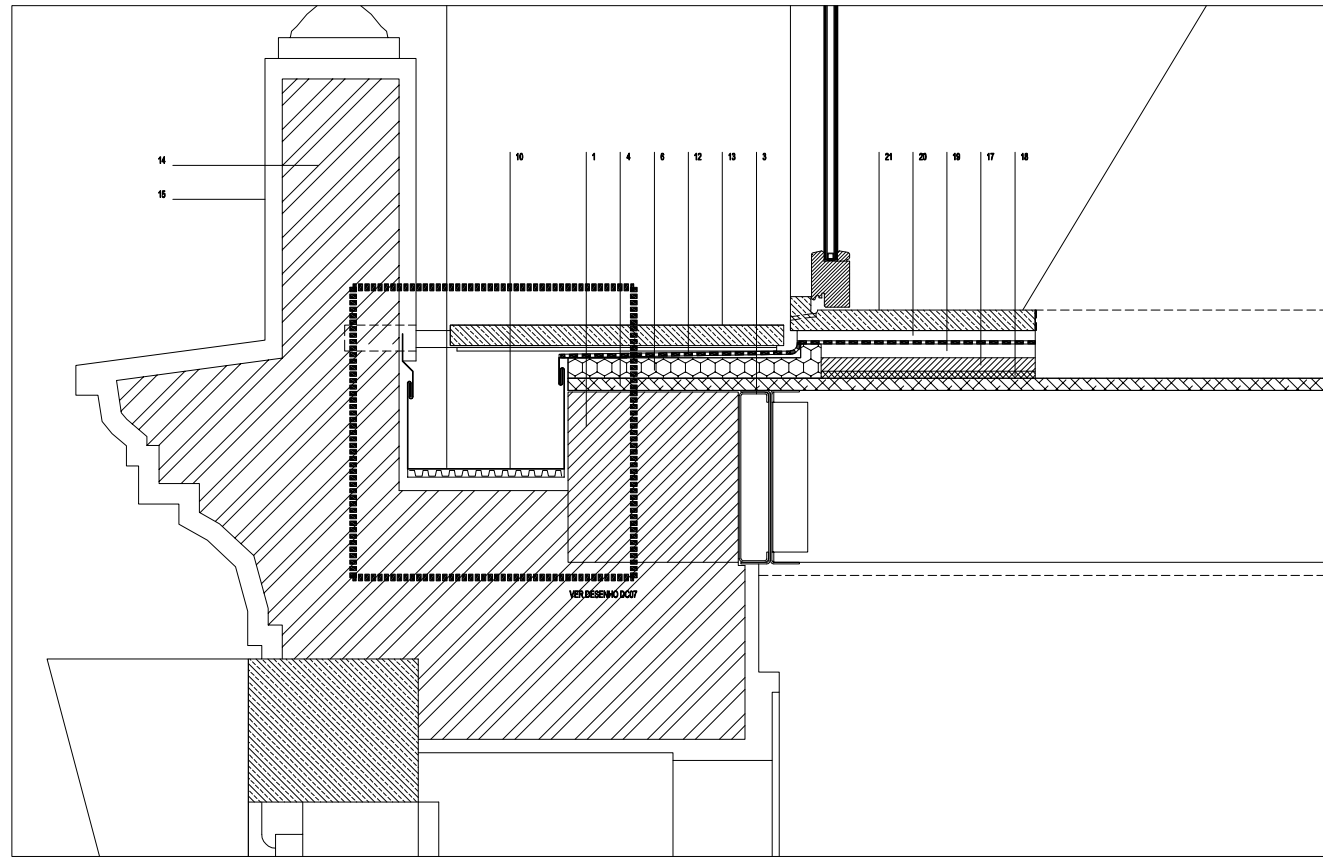
PORMENOR DE PAREDE EXTERIOR DA EMPENA - ESCALA 1:5

LEGENDA

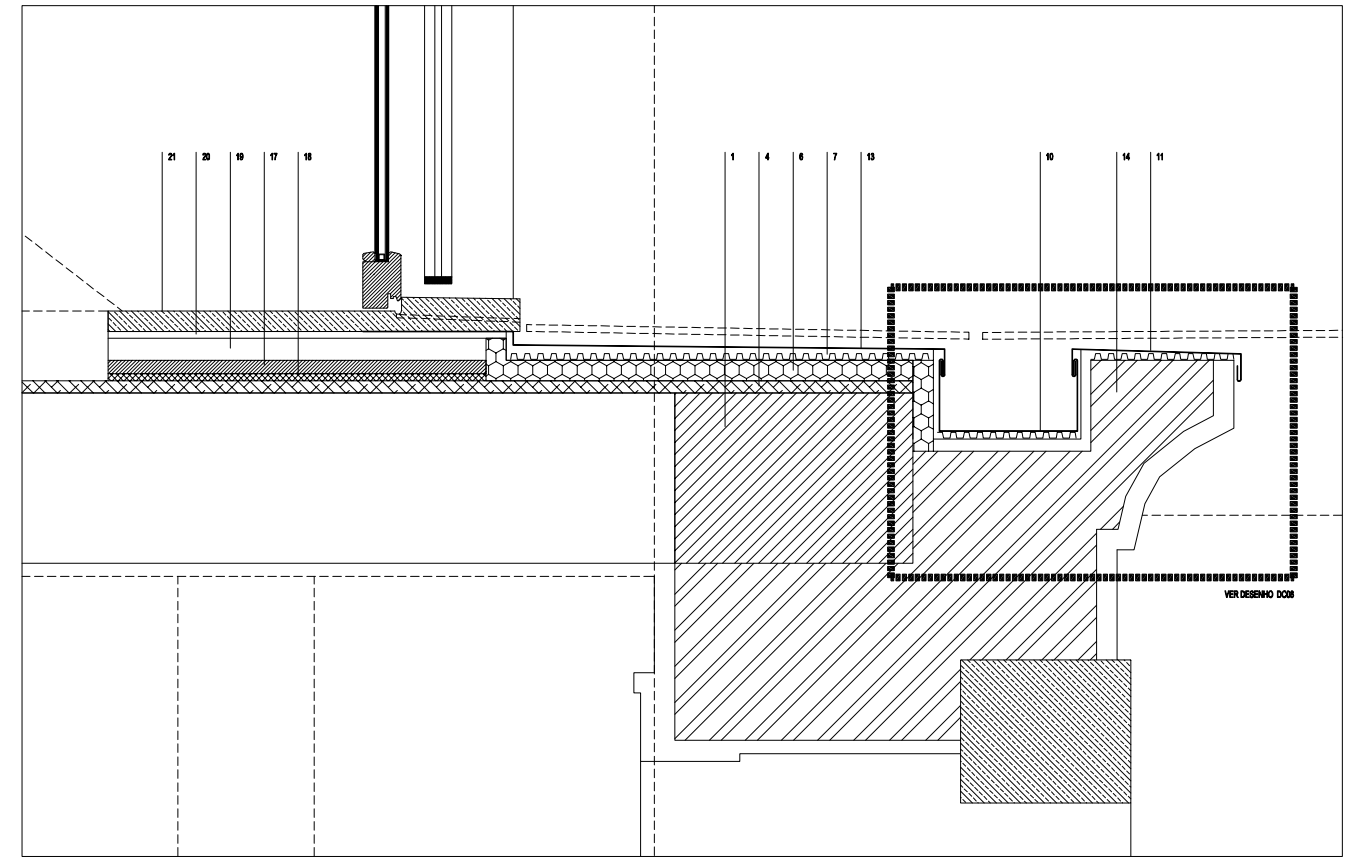
1. VIGA DE CORDAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.
6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.
7. TELA DELTA VN ZINC COM 8,6mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1,5%
11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA
14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TIJOLO
15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR
16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)
17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA
18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA
19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO
20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO
21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ

1. VIGA DE CORDAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.  
 6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.  
 7. TELA DELTA VN ZINC COM 8,6mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1,5%  
 11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO  
 13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA  
 14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TIJOLO  
 15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR  
 16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)  
 17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA  
 18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA  
 19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO  
 20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO  
 21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ

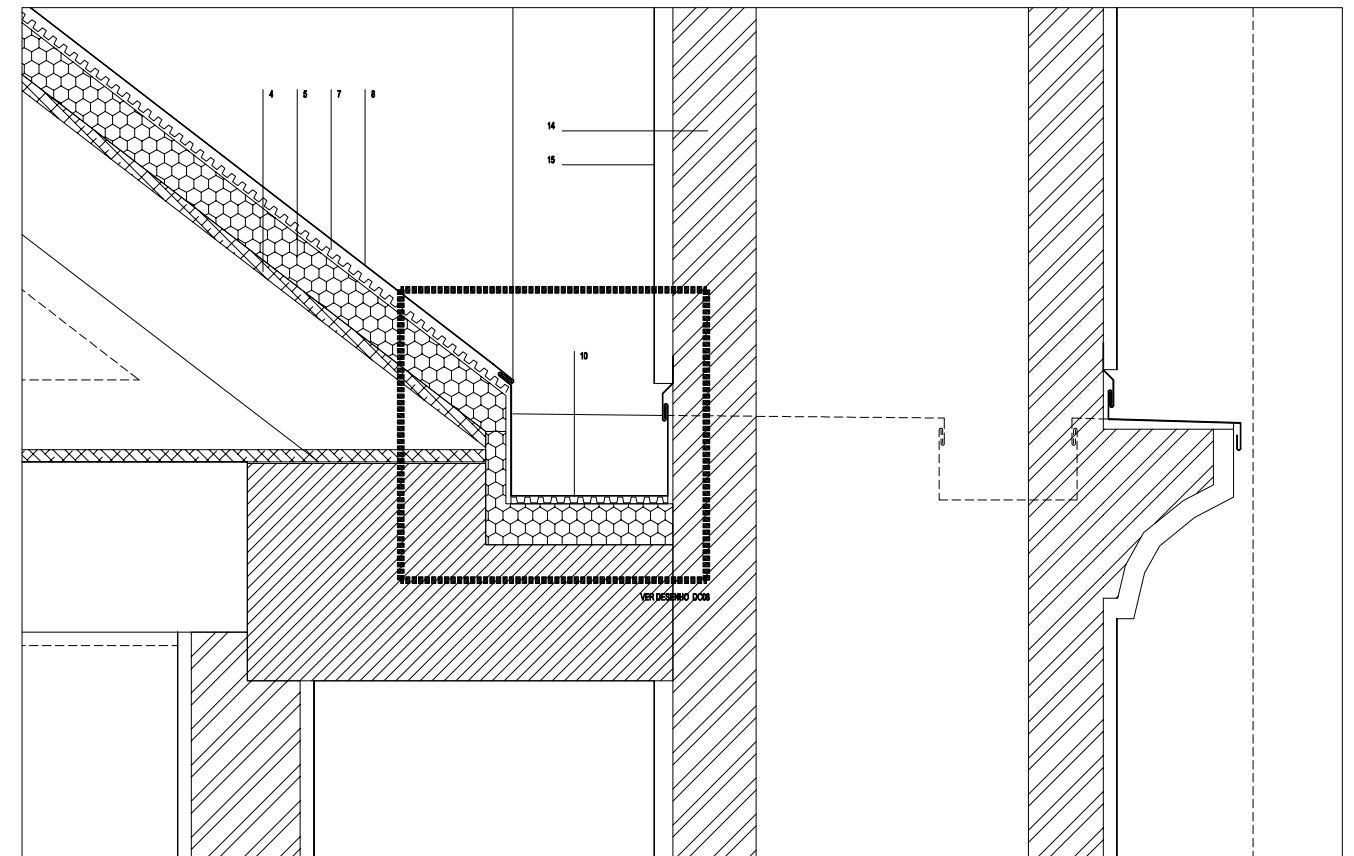




PORMENOR DE VARANDIM E CALEIRA NA FACHADA PRINCIPAL - ESCALA 1:5



PORMENOR DE CAPEAMENTO DO BEIRADO E CALEIRA NA FACHADA TARDOZ - ESCALA 1:5

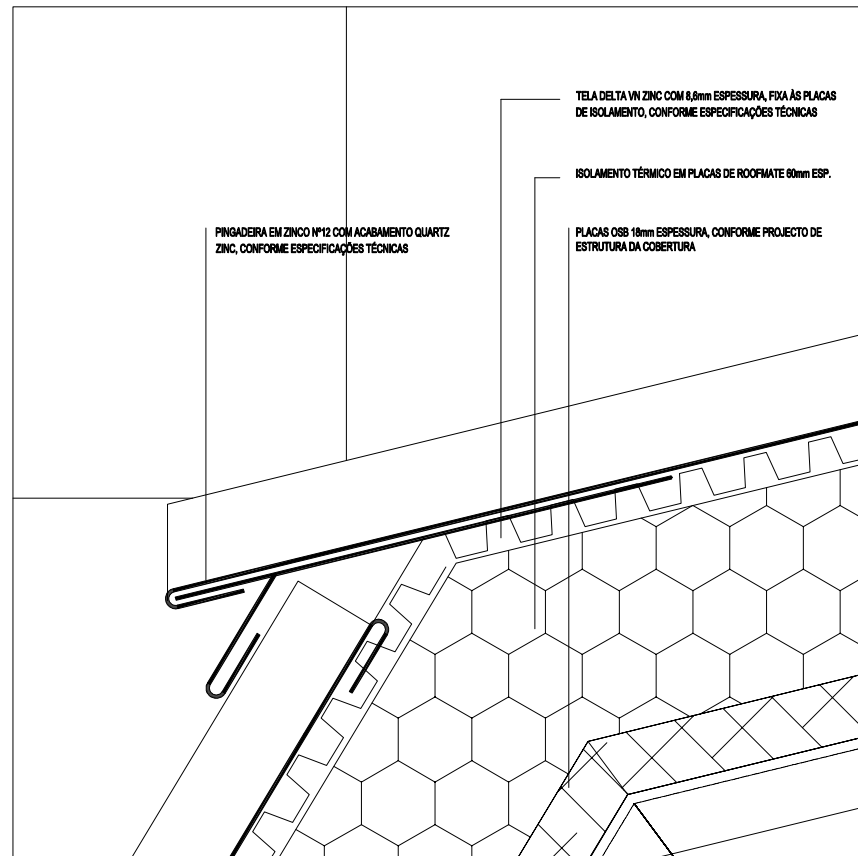


PORMENOR DE REMATE DO ZINCO E DA CHAMINÉ NA FACHADA TARDOZ - ESCALA 1:5

LEGENDA

1. VIGA DE COROAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA
3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA
5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.
6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.
7. TELA DELTA VN ZINC COM 8.6mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC
10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1.5%
11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA
14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TUILO
15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR
16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)
17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA
18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA
19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO
20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO
21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ

1. VIGA DE COROAMENTO EM BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 2. VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA  
 3. PERFIS E LIGAÇÕES EM AÇO LEVE CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 4. PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA  
 5. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.  
 6. ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 30mm ESP.  
 7. TELA DELTA VN ZINC COM 8.6mm ESPESSURA, FIXA AO ISOLAMENTO TÉRMICO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 8. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº12 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 9. COBERTURA/PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM JUNTA AGRAFADA VN ZINC COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC  
 10. CALEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADA CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INCLINAÇÃO 1.5%  
 11. CAPEAMENTO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, REMATADO CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS  
 12. TELA DE IMPERMEABILIZAÇÃO  
 13. PAVIMENTO EM LAJETAS DE PEDRA  
 14. RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA, QUANDO EXISTA, EM ALVENARIA DE TUILO  
 15. REBOCO EXTERIOR A RECUPERAR  
 16. VÃO EXTERIOR (VER MAPA DE VÃOS)  
 17. PAINEL DE VIROC COM 20mm ESPESSURA  
 18. PAINEL DE CORTIÇA COM 10mm ESPESSURA  
 19. ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO  
 20. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO  
 21. SOLEIRA EM PEDRA DE LIOZ



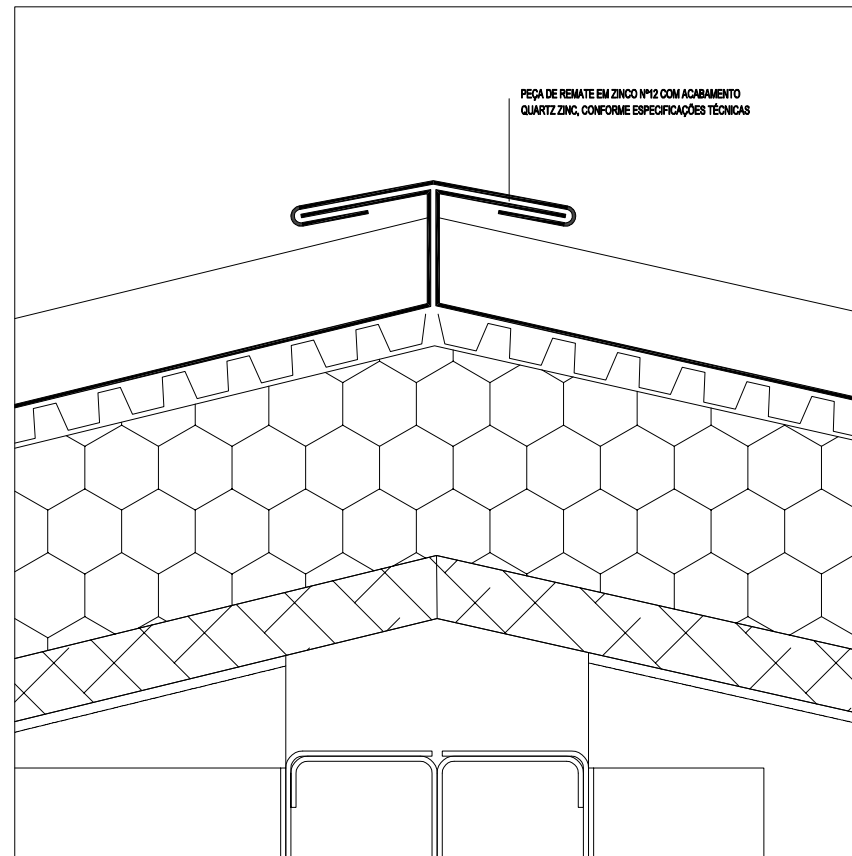
TELA DELTA VN ZINC COM 0,8mm ESPESSURA, FIXA ÀS PLACAS DE ISOLAMENTO, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.

PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA

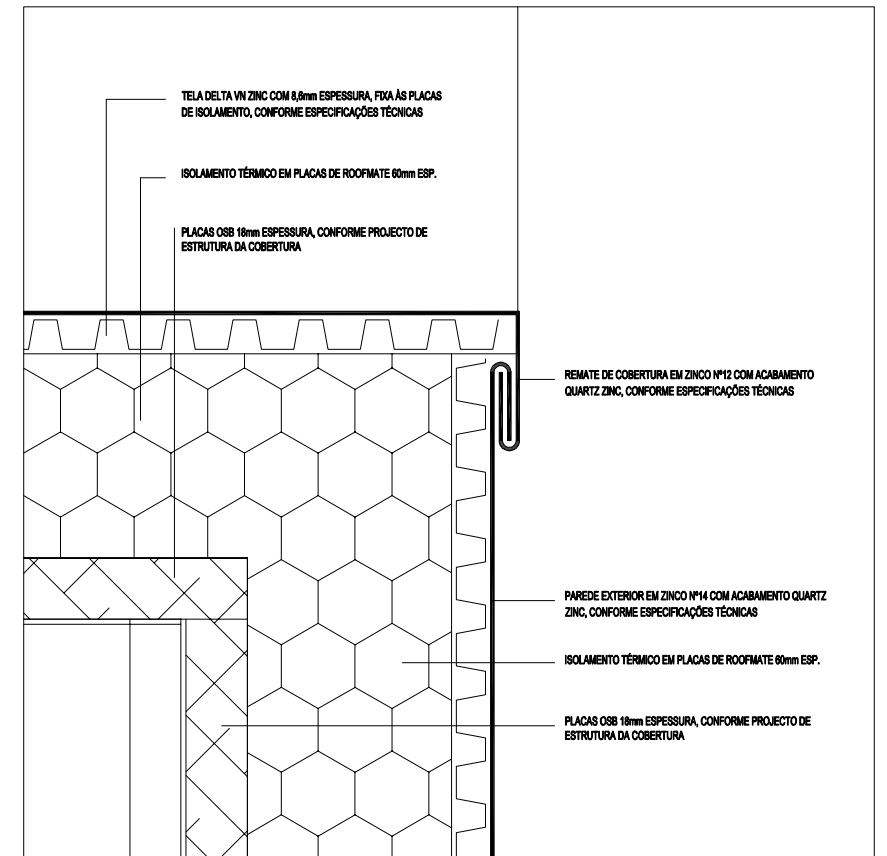
PINGADEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

PORMENOR DE REMATE NA QUEBRA DAS ÁGUAS - ESCALA 1:1



PEÇA DE REMATE EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

PORMENOR DE REMATE DA CUMEIRA - ESCALA 1:1



TELA DELTA VN ZINC COM 0,8mm ESPESSURA, FIXA ÀS PLACAS DE ISOLAMENTO, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.

PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA

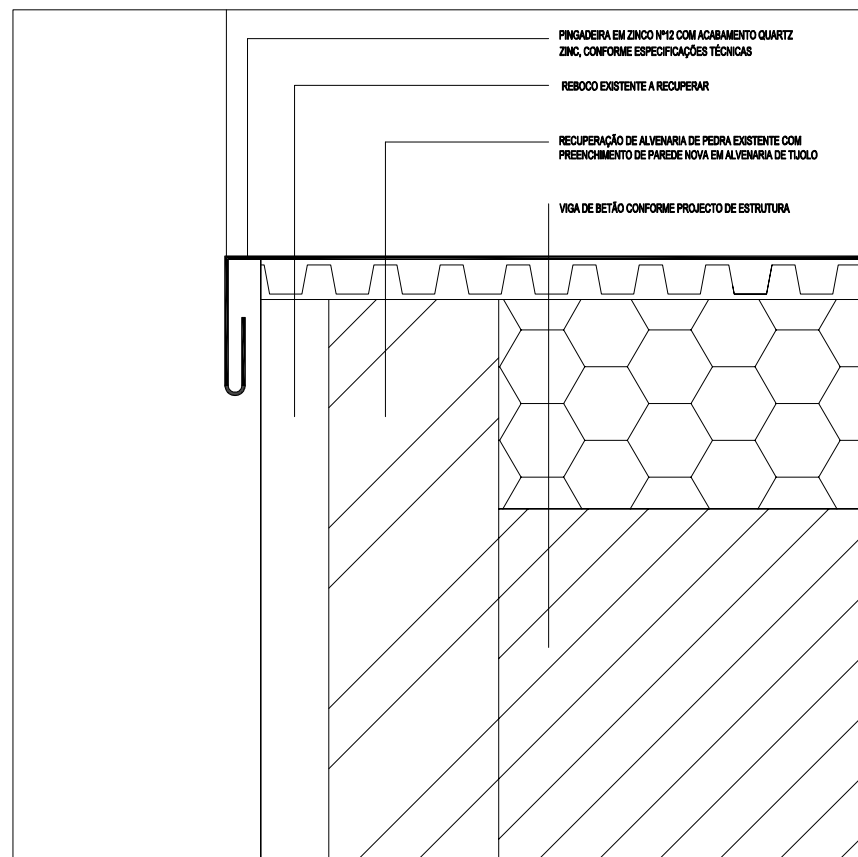
REMATE DE COBERTURA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

PAREDE EXTERIOR EM ZINCO Nº14 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.

PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA

PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA COM A FRENTE DA MANSARDA - ESCALA 1:1



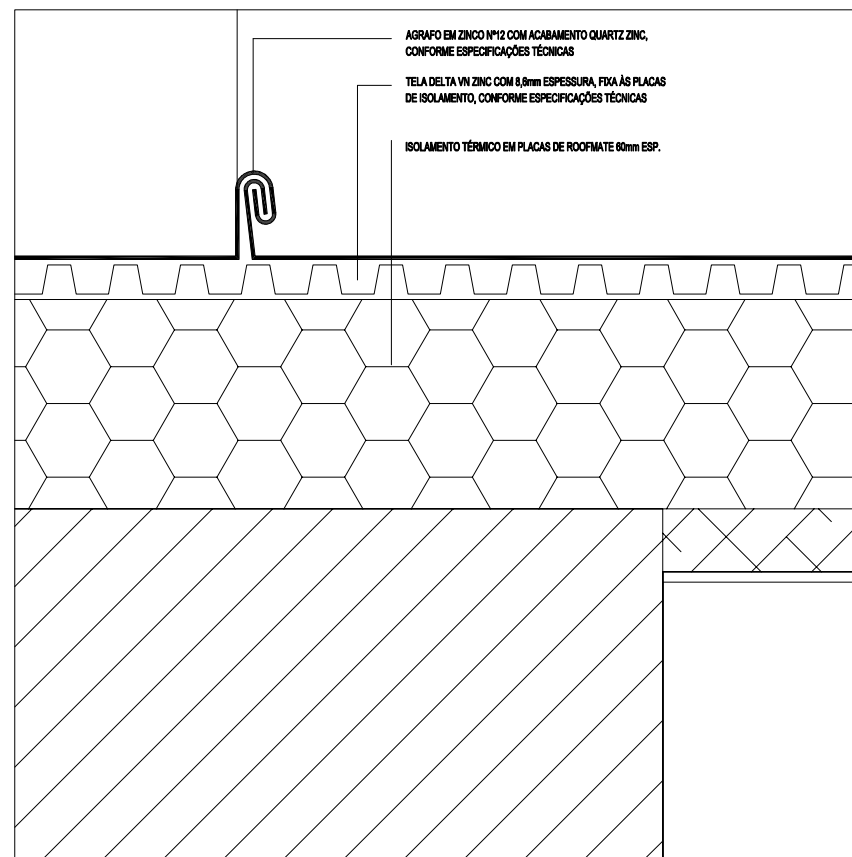
PINGADEIRA EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

REBOCO EXISTENTE A RECUPERAR

RECUPERAÇÃO DE ALVENARIA DE PEDRA EXISTENTE COM PREENCHIMENTO DE PAREDE NOVA EM ALVENARIA DE TUJOLO

VIGA DE BETÃO CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA

PORMENOR DE REMATE DAS EMPENAS - ESCALA 1:1

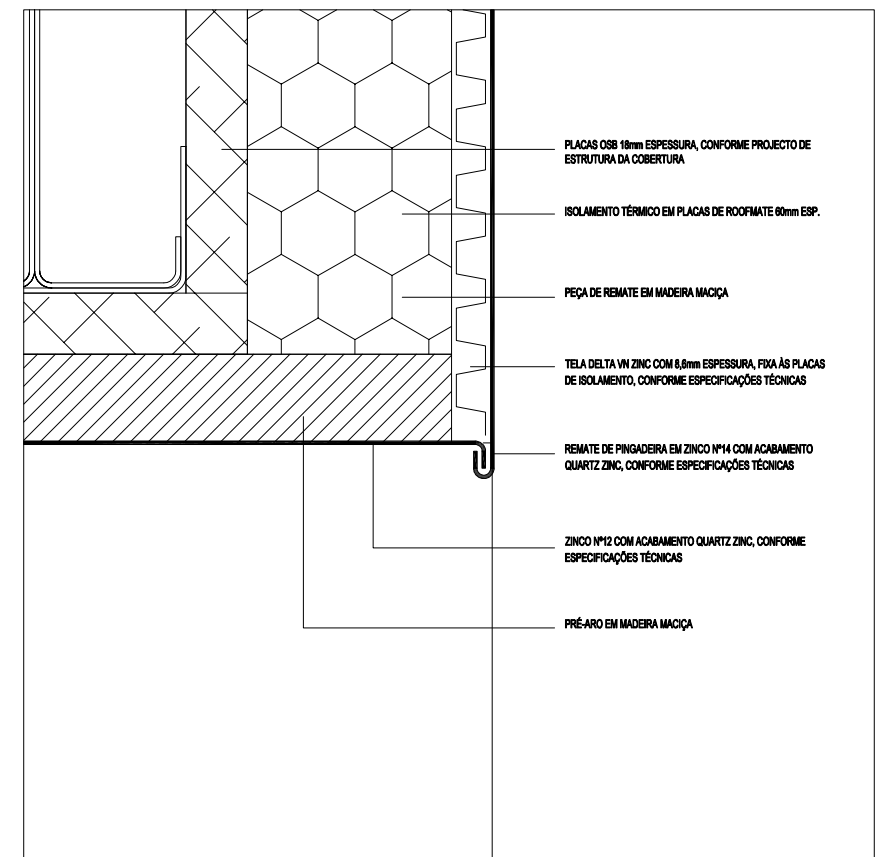


AGRAFO EM ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

TELA DELTA VN ZINC COM 0,8mm ESPESSURA, FIXA ÀS PLACAS DE ISOLAMENTO, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.

PORMENOR DA JUNTA AGRAFADA - ESCALA 1:1



PLACAS OSB 18mm ESPESSURA, CONFORME PROJECTO DE ESTRUTURA DA COBERTURA

ISOLAMENTO TÉRMICO EM PLACAS DE ROOFMATE 60mm ESP.

PEÇA DE REMATE EM MADEIRA MACIÇA

TELA DELTA VN ZINC COM 0,8mm ESPESSURA, FIXA ÀS PLACAS DE ISOLAMENTO, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

REMATE DE PINGADEIRA EM ZINCO Nº14 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ZINCO Nº12 COM ACABAMENTO QUARTZ ZINC, CONFORME ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

PRÉ-ARO EM MADEIRA MACIÇA

PORMENOR DE REMATE DA MANSARDA COM O VÃO - ESCALA 1:1

PROJETO DE ARQUITETURA

PROJETO DE ARQUITETURA

PROJETO DE ARQUITETURA

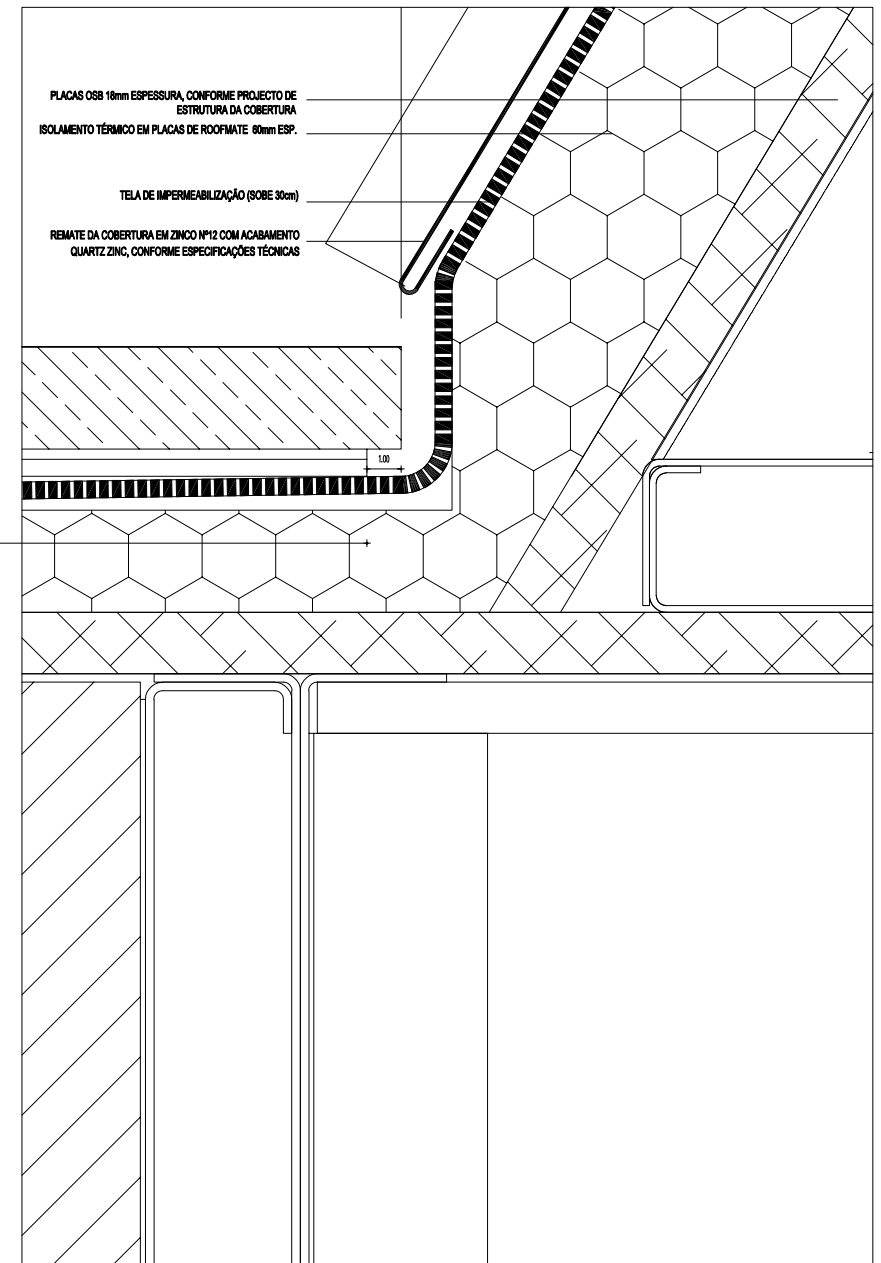
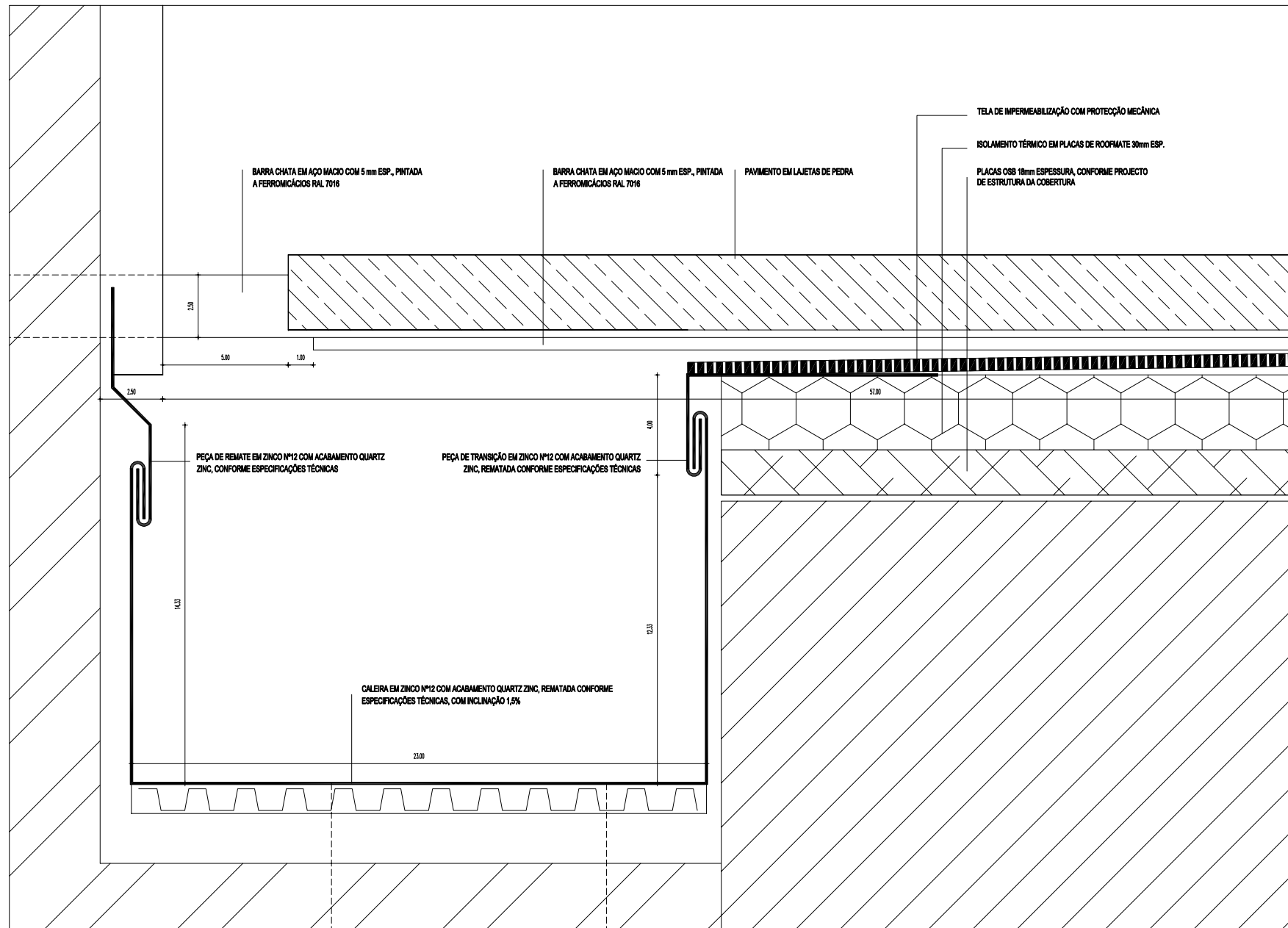
PROJETO DE ARQUITETURA

PROJETO DE ARQUITETURA

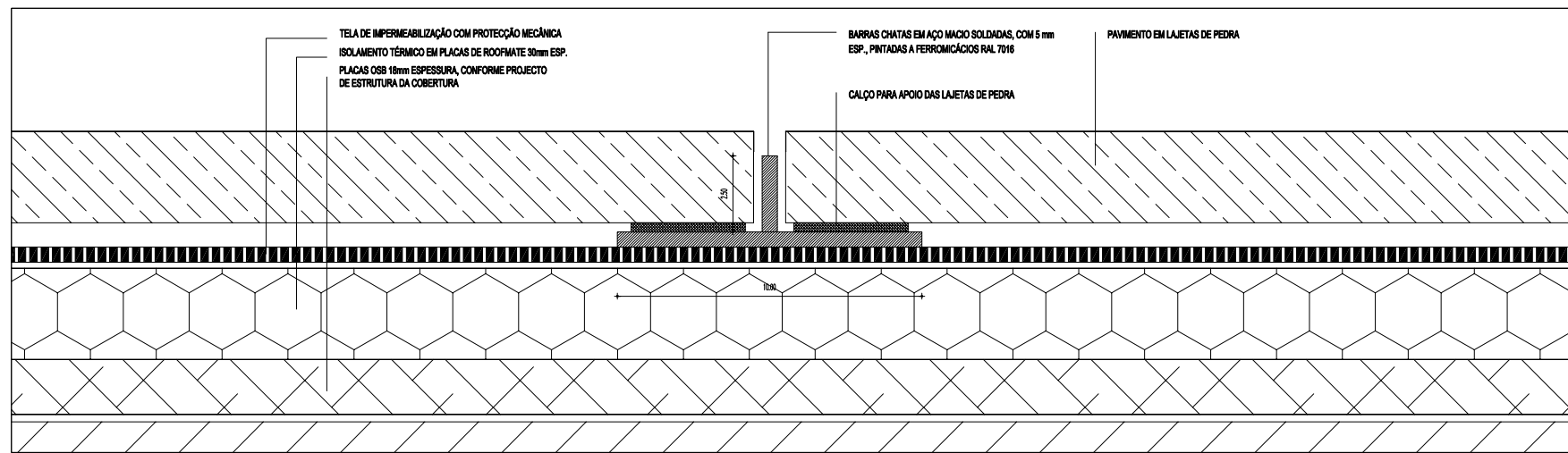
PROJETO DE ARQUITETURA

PROJETO DE ARQUITETURA

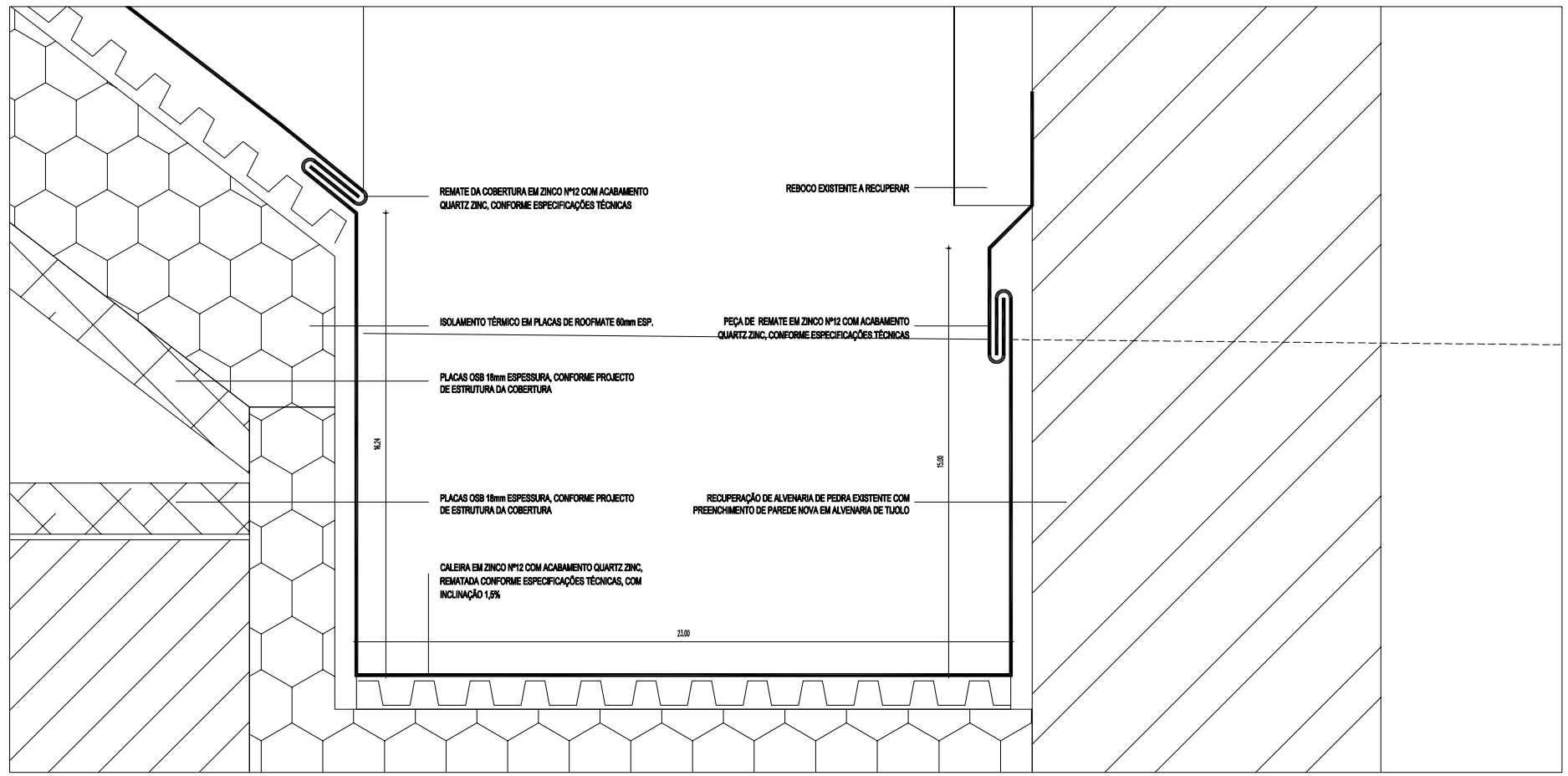
PROJETO DE ARQUITETURA



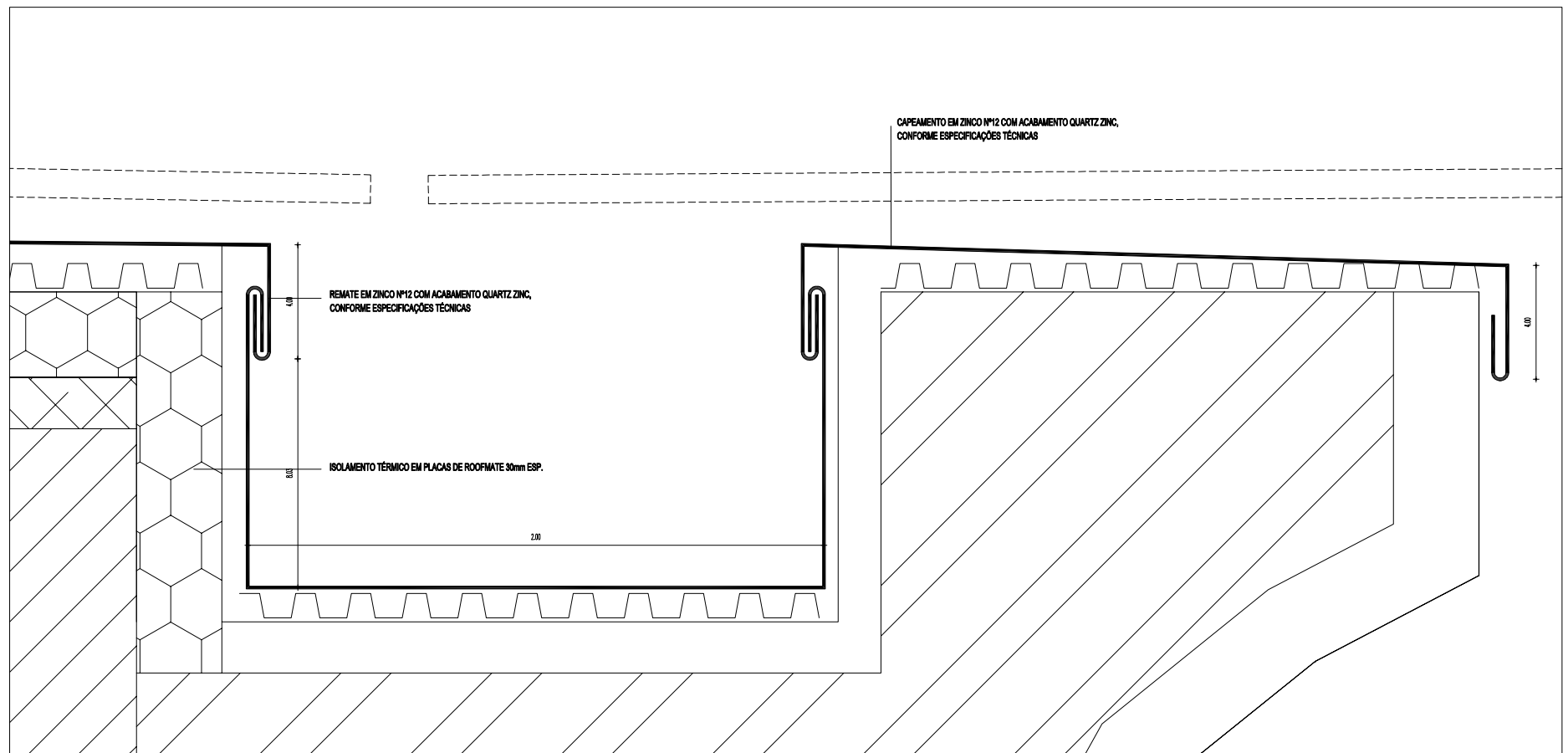
PORMENOR DE VARANDIM E CALEIRA NA FACHADA PRINCIPAL - ESCALA 1:1



PORMENOR DE ASSENTAMENTO DAS LAJETAS DE PEDRA - ESCALA 1:1



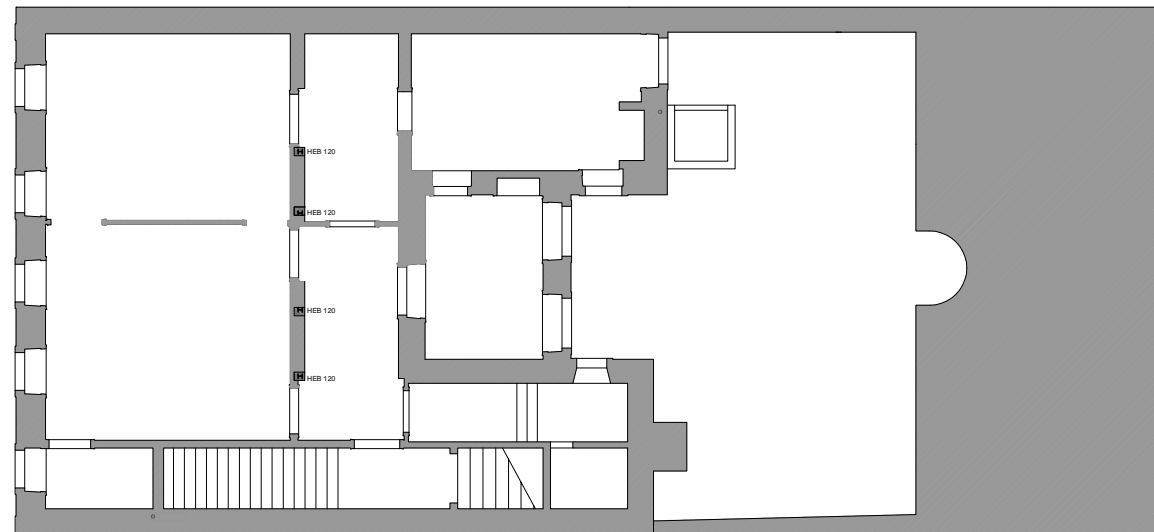
PORMENOR DE REMATE DA COBERTURA EM ZINCO COM CALEIRA E CHAMINÉ - ESCALA 1:1



PORMENOR DE REMATE DO CAPEAMENTO EM ZINCO DO BEIRADO DA FACHADA TARDÓZ - ESCALA 1:1

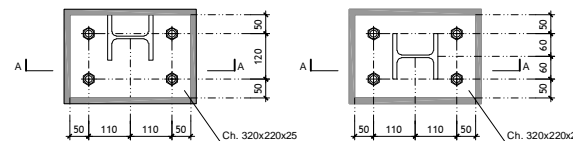


Planta Estrutural do Piso 1  
Escala 1/100



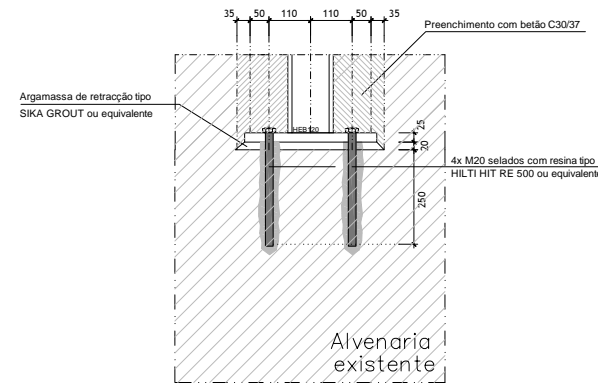
Planta Estrutural do Piso 2  
Escala 1/100

■ - Preenchimento com betão C30/37



Ligação 1 - L1  
Planta  
Escala: 1/10

Ligação 2 - L2  
Planta  
Escala: 1/10



Corte A-A  
Escala: 1/10

- NOTAS IMPORTANTES:**
- 1 - Na preparação da Obra e antes de qualquer betonagem, todas as cotas deverão ser verificadas no Projecto de Arquitectura.
  - 2 - Para localização de negativos e elementos embudados no betão, deverão ser consultados os Projectos das respectivas Especialidades.
  - 3 - No cálculo das fundações foi considerada a tensão de segurança de 150 kPa, que deverá ser confirmada pelo Empreiteiro durante a Obra.

**LEGENDA (Designações)**

S_ - Sapata nº	RT_ - Rampas/Terras	LmC_ - Laje maciça Colaborante nº	Z_ - Cota de face inferior
P_ - Pilar nº	LT_ - Laje Terraes	E - Escada nº	J.L. - Junta de Isolamento
Pa_ - Parede nº	ET - Escada Terraes	Za - Cota de face superior	J.J.F. - Junta de Injeção de Fendas

**LEGENDA EM LAJES:**

Cota de acabado (m)	Tipo de laje	Peso próprio (kN/m²)
Cota do braco (m)		Cargas de revestimentos e divisórias (kN/m²)
Espessura da laje (m)		Cargas variáveis (kN/m²)

**MATERIAIS ESTRUTURAIS**

Betão	Classe de Resistência NP-EN 208-1	Classe de Exposição Ambiental NP-EN 208-1
Betão de regularização	C16 / 20	X0 (PT)
Fundações	C30 / 37	XX2 (PT)
Restantes elementos estruturais	C30 / 37	XX4 (PT)

**Armaduras para betão armado**

Varões nervurados	A500NR	Classe de Exposição Ambiental NP-EN 208-1
Redes electroacastadas <td>A500EL <td>EN 20808-1</td> </td>	A500EL <td>EN 20808-1</td>	EN 20808-1

**Aço para estrutura metálica**

Aço em perfis tubulares	S355 J2H	Qualidade
Aço em perfis de secção aberta <td>S355 JO <td></td> </td>	S355 JO <td></td>	
Aço em chapas <td>S355 JO <td></td> </td>	S355 JO <td></td>	
Aço em varões lisos roscaados <td>S355 JO <td>8.8</td> </td>	S355 JO <td>8.8</td>	8.8
Aço em parafusos <td>S355 JO <td>5.8 ou A500NR</td> </td>	S355 JO <td>5.8 ou A500NR</td>	5.8 ou A500NR
Aço em chumbadores <td></td> <td></td>		

**Soldadura :**  
Caso nada seja especificado, deve ser usado um cordão (de ângulo) geral de soldadura em S355 ou superior em toda a periferia das superfícies em contacto com espessura  $a=0.7x$  menor espessura das chapas a soldar.

**RECOBRIMENTO DE ARMADURAS**

Fundações	40 mm
Paredes / Pilares	30 mm
Restantes elementos estruturais	35 mm

O recobrimento é a distância entre a face do betão e o ponto mais próximo da armadura.  
O recobrimento não será em nenhum caso inferior ao diâmetro dos varões da armadura da zona.

FE-01	15-07-2015	Betão para exemplo	MFO	LUO	FAI
Estado	Data	Descrição	Projectista	Desenhista	Aprovado
Assinatura					

Aires Mateus & Associados, Lda

**afaconsult**  
 info@afaconsult.com  
 Rua do Lupo, 224  
 4400-862 Vila Verde, Portugal  
 tel: (+351) 22 377 67 00  
 fax: (+351) 22 377 67 01

www.afaconsult.com  
 Largo Barão de Quimela n. 3, 1.º  
 1200-100 Lisboa, Portugal  
 tel: (+351) 21 843 54 10  
 fax: (+351) 21 840 14 12

Gabinete Manuel Mateus, Rua Cecílio de Sousa

Estruturas Betão Armado

Plantas Estruturais dos Pisos 1 e Piso 2

Projecto de Execução 1/100

2975 00 02 02 01 01 PE00

- NOTAS IMPORTANTES:**
- 1 - Na preparação da Obra e antes de qualquer betonagem, todas as cotas deverão ser verificadas no Projecto de Arquitectura.
  - 2 - Para localização de negativos e elementos embudados no betão, deverão ser consultados os Projectos das respectivas Especialidades.
  - 3 - No calculo das fundações foi considerada a tensão de segurança de 150 kPa, que deverá ser confirmada pelo Empreiteiro durante a Obra.

**LEGENDA (Designações)**

S_ - Sapata nº	RT_ - Rampa Térrea	LmC_ - Laje maciça Colaborante nº	ZI_ - Cota da face inferior
P_ - Pilar nº	LT_ - Laje Térrea	E_ - Escada nº	J.I. - Junta de Isolamento
Pa_ - Parede nº	ET - Escada Térrea	Zs_ - Cota da face superior	J.I.F. - Junta de Indução de Fendas

**LEGENDA EM LAJES:**

Cota do acabado (m)	Tipo de laje	Peso próprio (kN/m <sup>2</sup> )	Cargas de revestimentos e divisórias (kN/m <sup>2</sup> )	Cargas variáveis (kN/m <sup>2</sup> )

**MATERIAIS ESTRUTURAIS**

Betão	Classe de Resistência NP-EN 206-1	Classe de Exposição Ambiental NP-EN 206-1
Betão de regularização	C16 / 20	X0 (PT)
Fundações	C30 / 37	XC2 (PT)
Restantes elementos estruturais	C30 / 37	XC4 (PT)

Armaduras para betão armado	Tipo de varão de acordo com art. 22 do REBAP	
Varões nervurados	A500NR	
Redes electrossoldadas	A500EL	

Aço para estrutura metálica	EN 10020	Qualidade	EN 20898-1
Aço em perfis tubulares	S355 J2H	8.8	5.8 ou A500NR
Aço em perfis de secção aberta	S355 JO		
Aço em chapas	S355 JO		
Aço em varões lisos roscados	S355 JO		
Aço em parafusos	S355 JO		
Aço em chumbadouros	S355 JO	8.8	5.8 ou A500NR

**Soldadura :**  
 Caso nada seja especificado, deve ser usado um cordão (de ângulo) geral de soldadura em S355 ou superior em toda a periferia das superfícies em contacto com espessura a=0.7 x menor espessura das chapas a soldar.

**RECOBRIMENTO DE ARMADURAS**

Fundações	40 mm
Paredes / Pilares	30 mm
Restantes elementos estruturais	35 mm

O recobrimento é a distância entre a face do betão e o ponto mais próximo da armadura.  
 O recobrimento não será em nenhum caso inferior ao diâmetro dos varões da armadura da zona.

PE-00	13-07-2010	Emissão para Execução	MRO	LRO	FAR
Emissão	Data	Descrição	Projectou	Desenhou	Aprovou

**Aires Mateus & Associados, Lda**  
 Engenharia

**afaconsult**  
 Info@afaconsult.com  
 Cais do Lugen, 224  
 4400-492 V.N. Gaia Portugal  
 tel. (+351) 22 377 67 00  
 fax (+351) 22 377 67 01

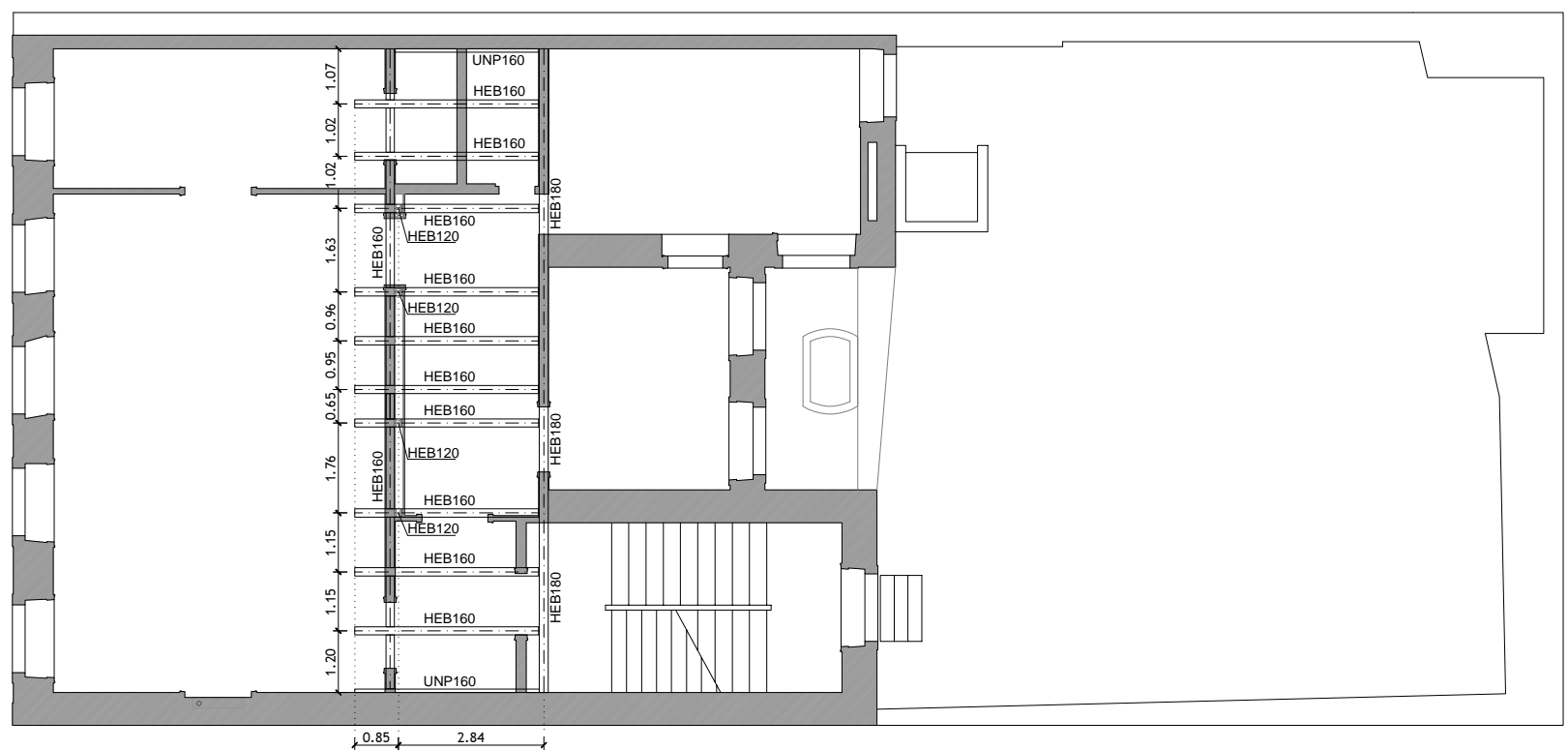
www.afaconsult.com  
 Largo Barão de Quintela n. 3, 1.º  
 1200-100 Lisboa Portugal  
 tel. (+351) 21 843 54 10  
 fax (+351) 21 840 14 12

**Gabinete Manuel Mateus, Rua Cecílio de Sousa**  
 Especialidade: Estruturas  
 Sub-Especialidade: Betão Armado

**Plantas Estruturais dos Pisos 3 e Piso 4**

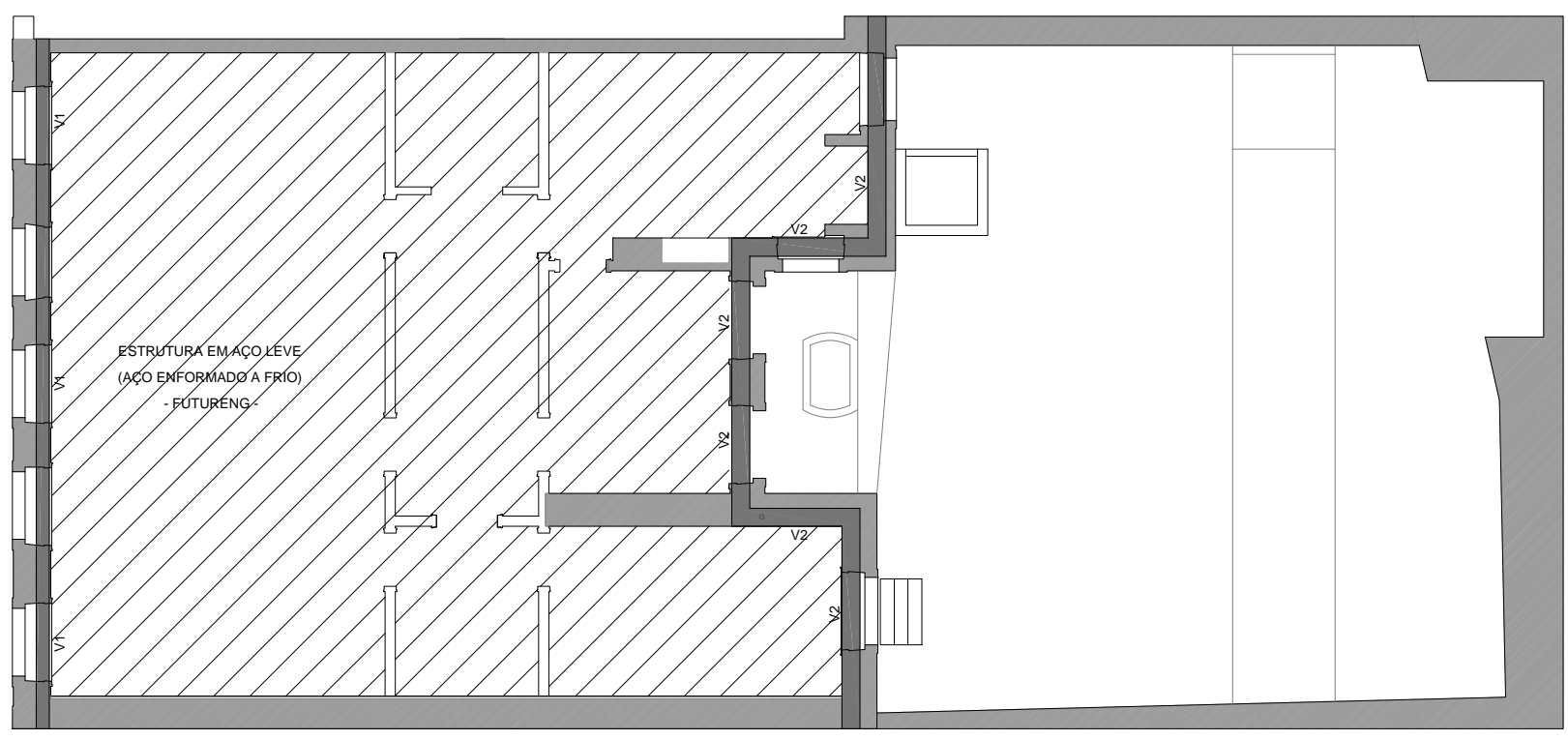
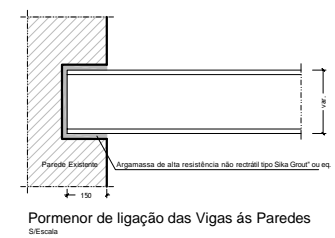
Zona	Fase	Escala
Geral	Projecto de Execução	1/100

2975 00 02 02 01 02 PE00

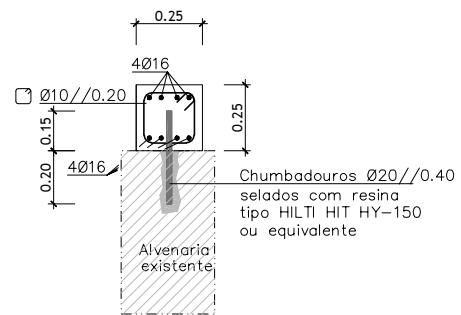


**Planta Estrutural do Piso 3**  
 Escala 1/100

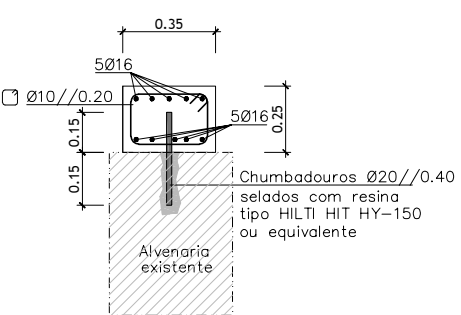
**Nota:**  
 Todas as ligações entre elementos metálicos deverão ser definidas pelo empreiteiro e sujeitas a aprovação pelo projectista



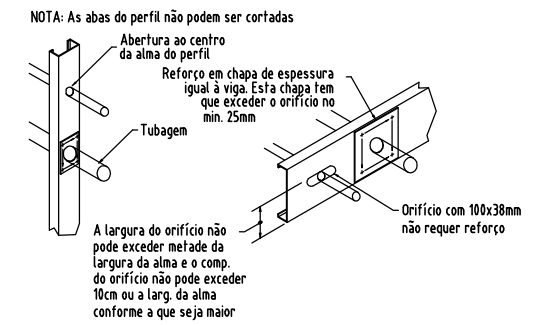
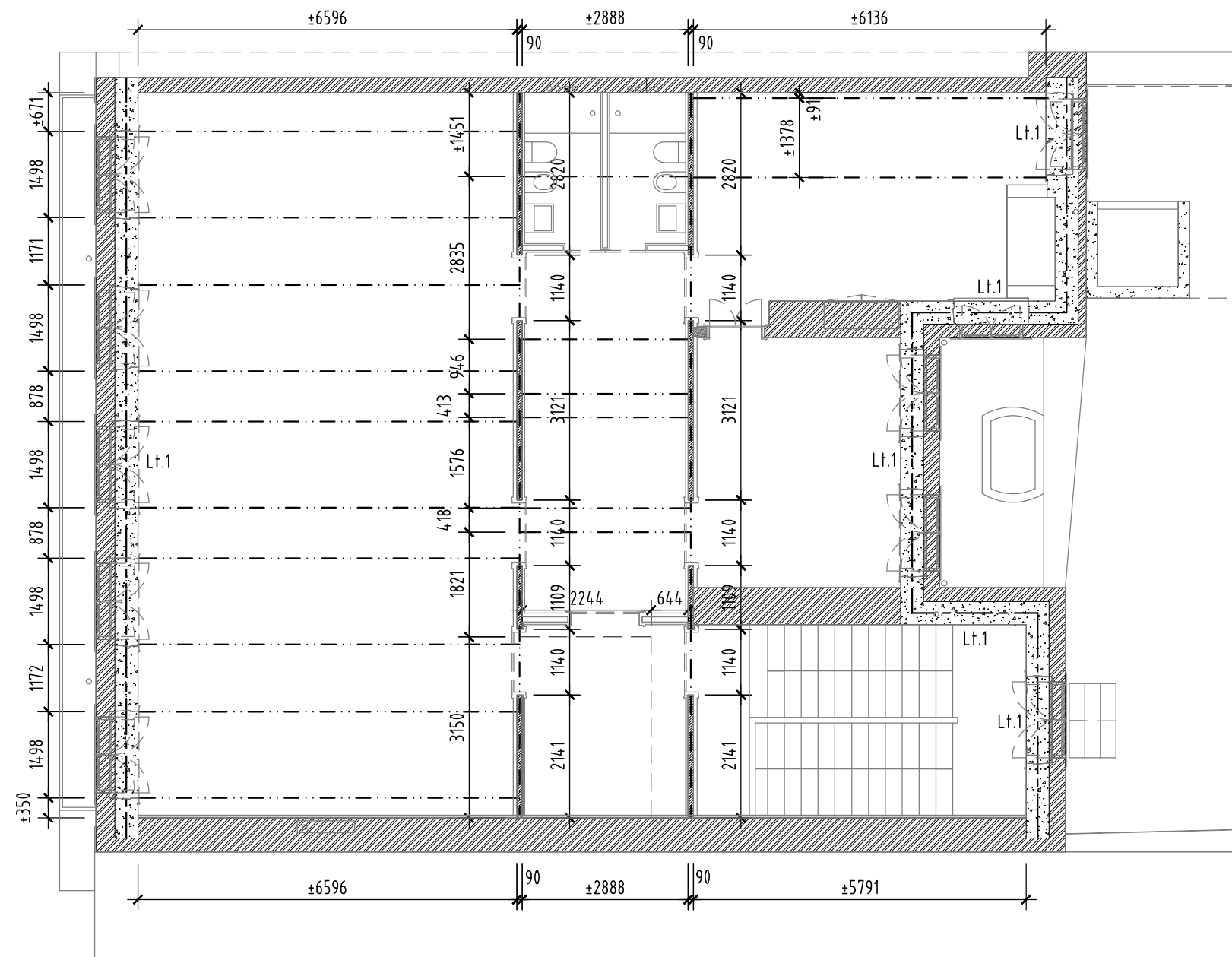
**Planta Estrutural do Piso 4**  
 Escala 1/100



**Viga V1**  
 Escala: 1/20



**Viga V2**  
 Escala: 1/20



### PORMENOR FURAÇÃO

- Lintel de Betão
- Parede Existente
- Parede Resistente Nova

**Aço S280GD + Z275**

- Lintel de Betão
- Viga em Aço Enformado a Frio
- Reforço em Aço Enformado a Frio
- Indicação da Direcção das Vigas

NOTAS:

- Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.
- Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA

**FUTURENG**

Rua Tenente Médico Ramiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
 São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
 TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

Obra **EDIFÍCIO HABITACIONAL**

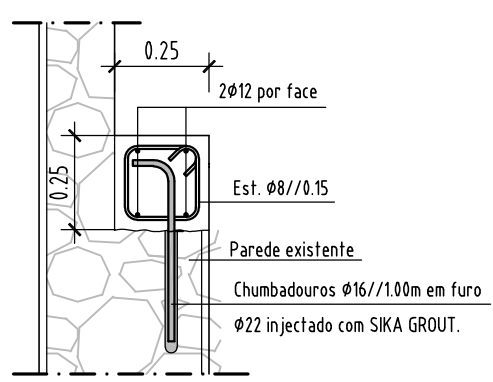
Localização **Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA**

Requerente **Manuel Aires Mateus**

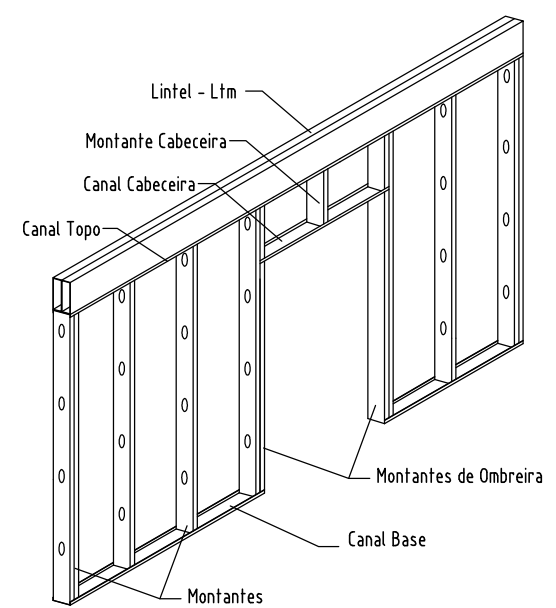
Técnico Responsável **David Henriques**      Desenhou **João Santos**

Designação Projecto de Execução **PISO 3**      Obra n.º **240**

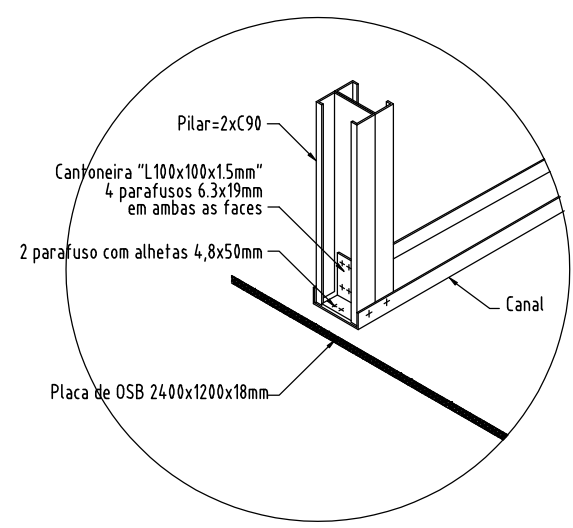
Escala **1:100**      Data **Junho 2010**      Des. n.º **Est-PE.01**



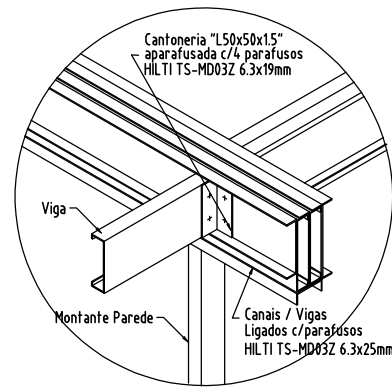
**LINTEL - Lt.1**



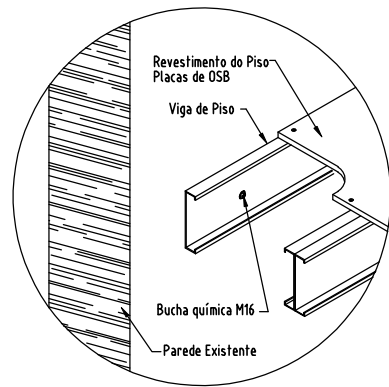
**PORMENOR DE PAREDE**



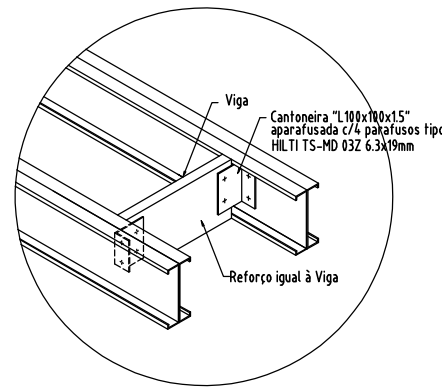
**PORMENOR DO PILAR**



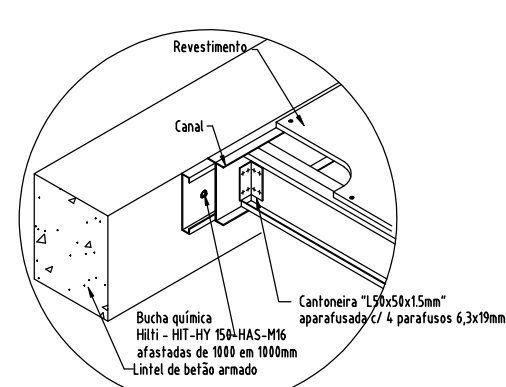
PORMENOR D



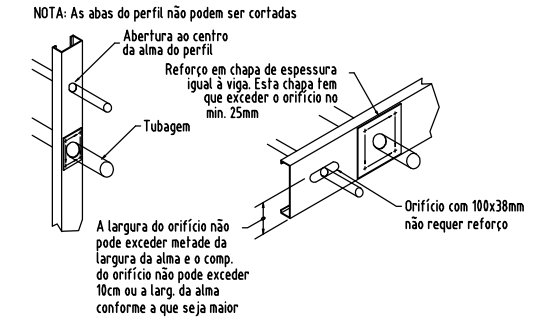
PORMENOR C



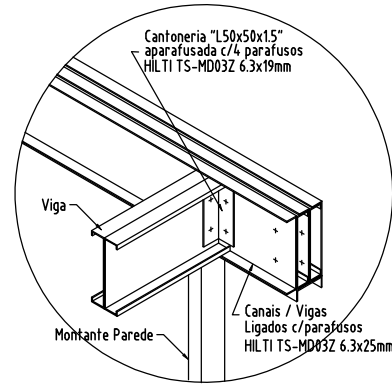
PORMENOR B



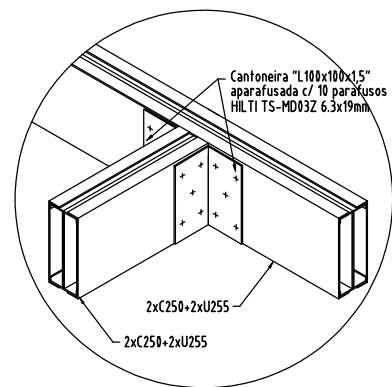
PORMENOR A



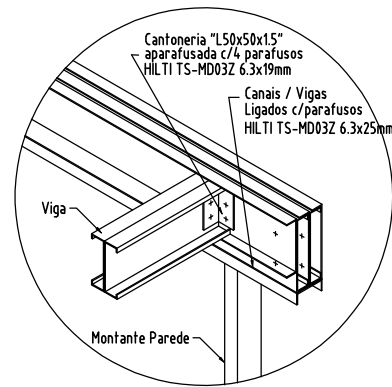
PORMENOR FURAÇÃO



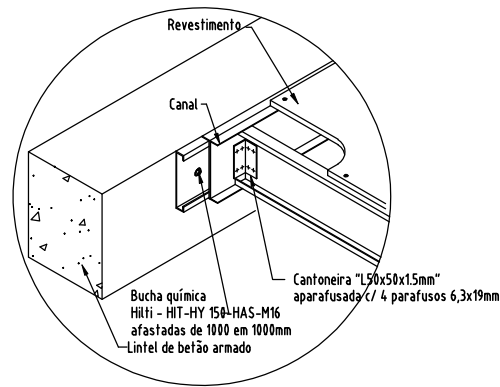
PORMENOR E



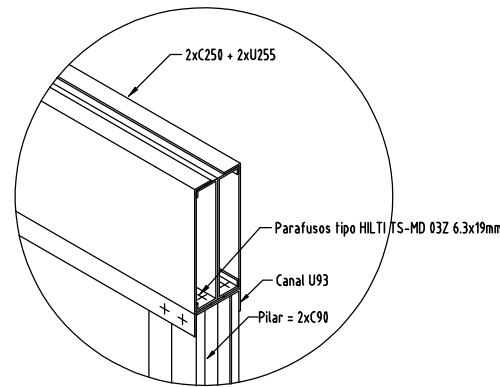
PORMENOR F



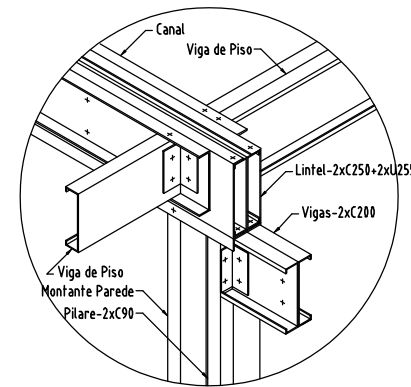
PORMENOR G



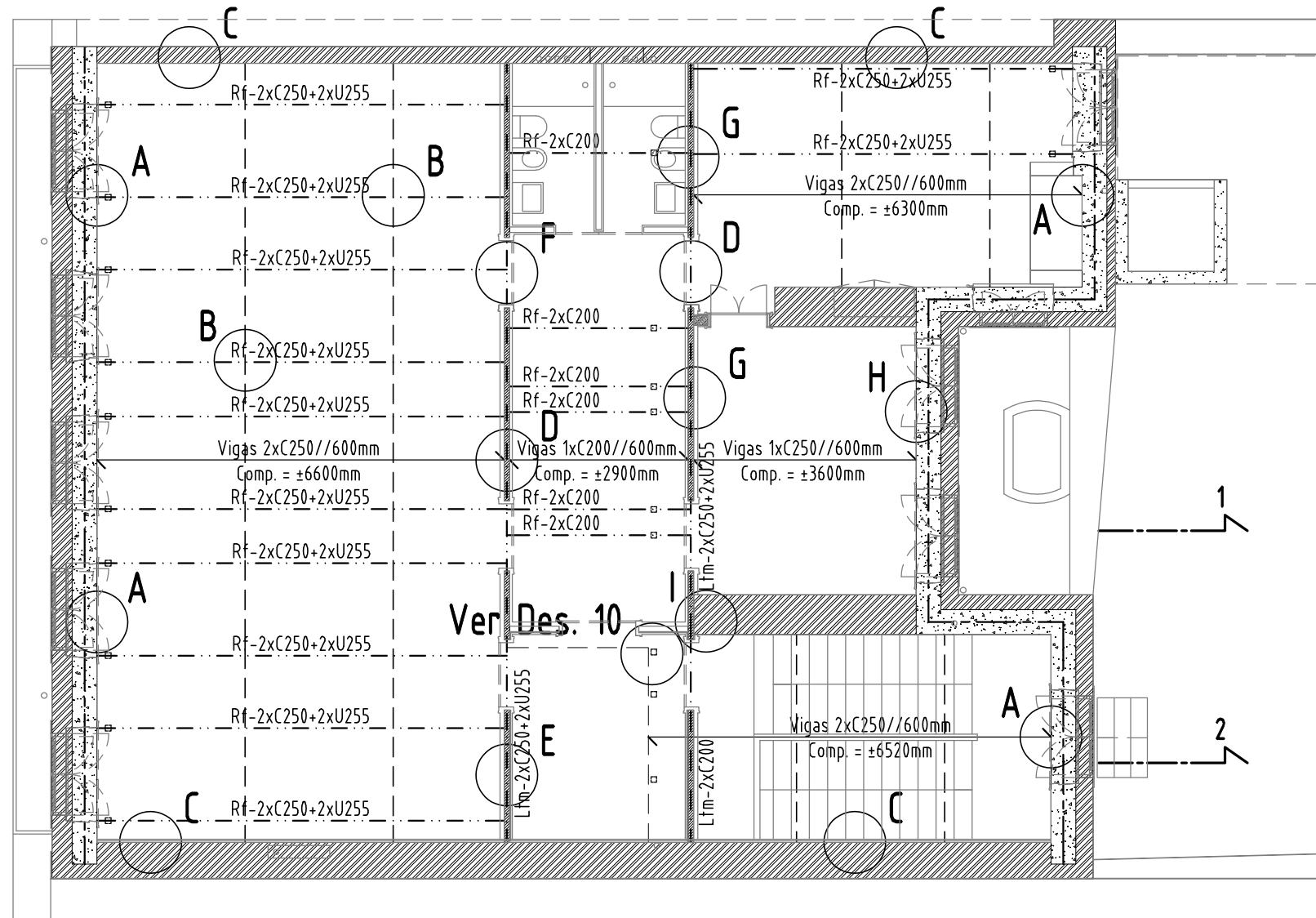
PORMENOR H



PORMENOR PILAR



PORMENOR I



- Lintel de Betão
- Parede Existente
- Parede Resistente Nova

Aço S280GD + Z275

- Lintel de Betão
- Viga em Aço Enformado a Frio
- Reforço em Aço Enformado a Frio
- Indicação da Direcção das Vigas

- NOTAS:
- Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.
  - Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA

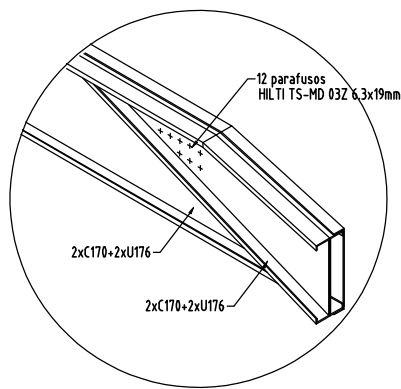
**FUTURENG**

Rua Tenente Médico Ramiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
 São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
 TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

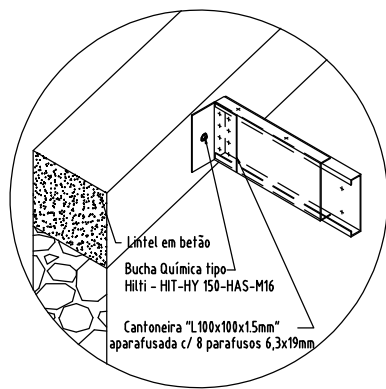
Obra		<b>EDIFÍCIO HABITACIONAL</b>	
Localização		Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA	
Requerente		Manuel Aires Mateus	
Técnico Responsável		David Henriques	
Desenhado		João Santos	
Designação Projecto de Execução		TECTO PISO 3	
Escala		1:100	
Data		Junho 2010	
Obra n.º		240	
Des. n.º		Est-PE.02	



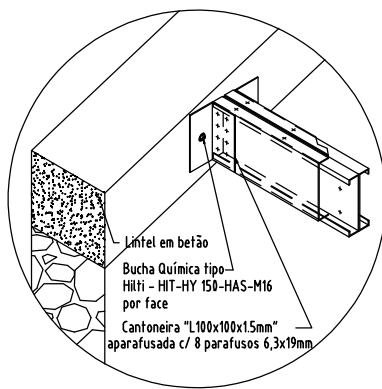




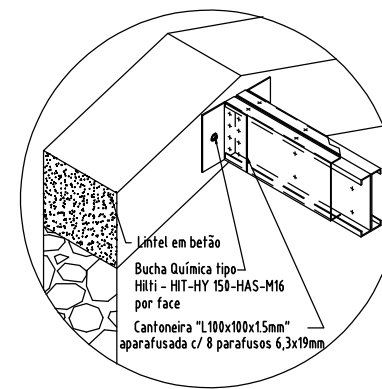
LIGAÇÃO VIGAS



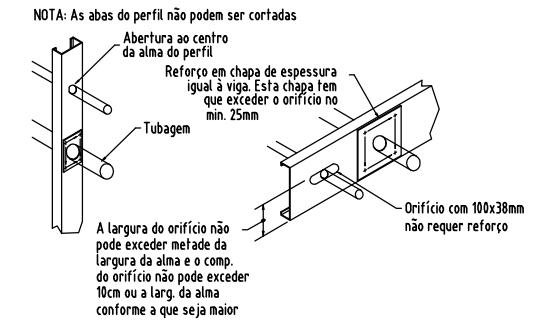
PORMENOR C



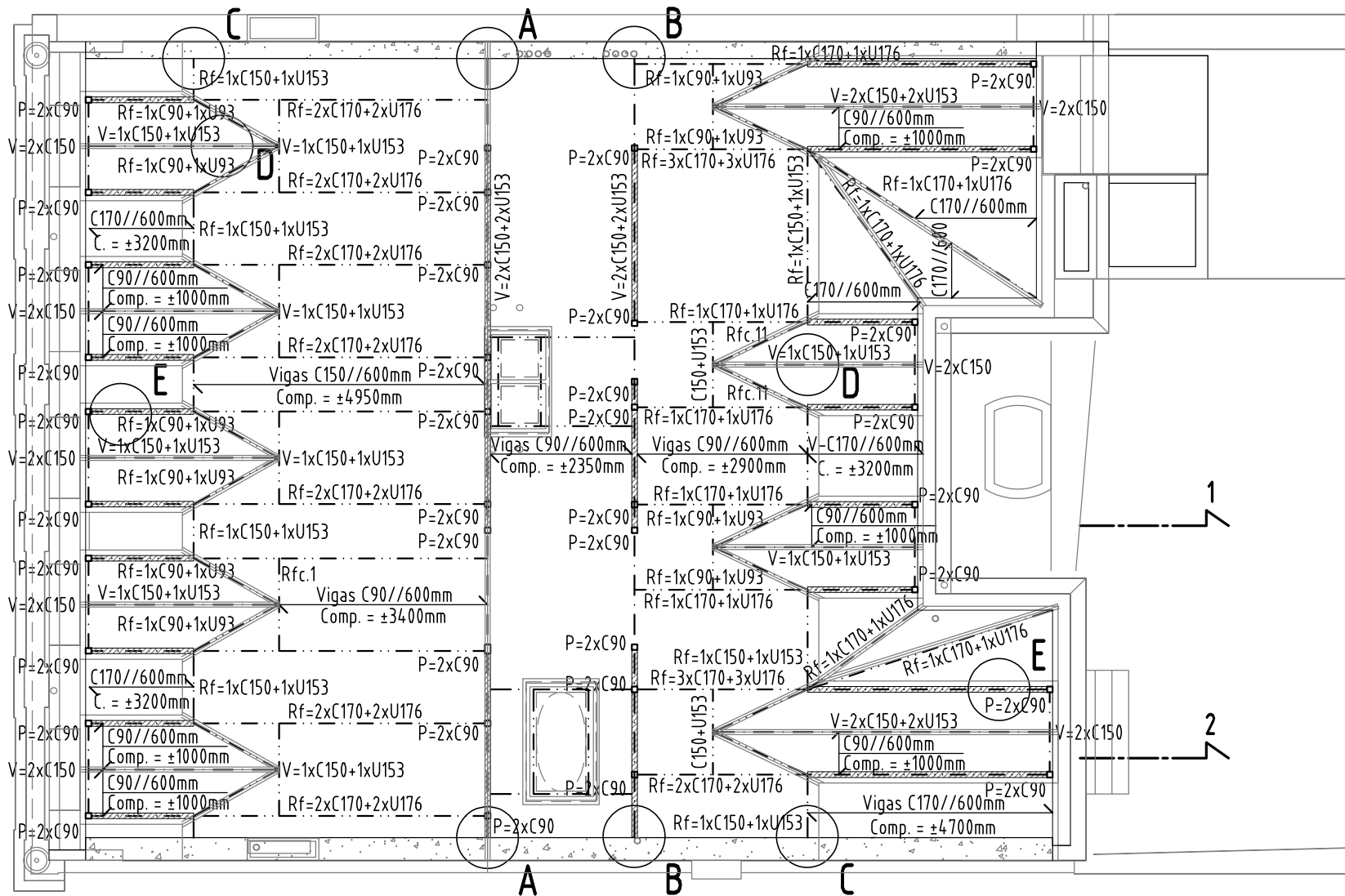
PORMENOR B



PORMENOR A



PORMENOR FURAÇÃO



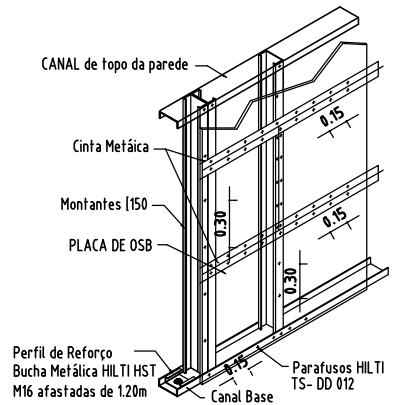
— Lintel de Betão  
 — Parede Existente  
 — Parede Resistente Nova  
**Aço S280GD + Z275**

— Lintel de Betão  
 — Viga em Aço Enformado a Frio  
 — Reforço em Aço Enformado a Frio  
 — Indicação da Direcção das Vigas

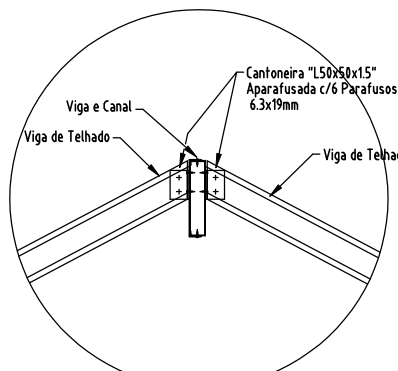
**NOTAS:**  
 1. Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.  
 2. Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA  
**FUTURENG**  
 Rua Tenente Médica Ramiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
 São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
 TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

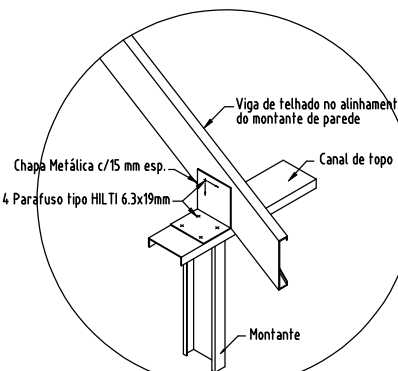
**Obra**  
**EDIFÍCIO HABITACIONAL**  
**Localização**  
 Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA  
**Requerente**  
 Manuel Aires Mateus  
**Técnico Responsável**  
 David Henriques  
**Desenhado**  
 João Santos  
**Designação Projecto de Execução**  
**COBERTURA**  
**Obra n.º** 240  
**Des. n.º** Est-PE.04  
**Escala** 1:100  
**Data** Junho 2010



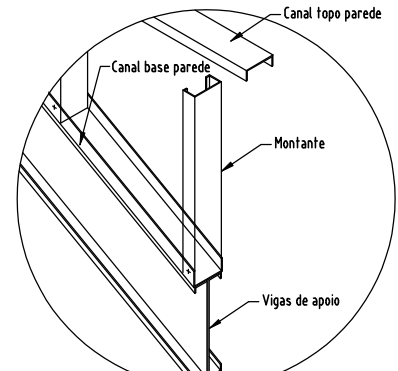
PORMENOR FIXAÇÃO OSB



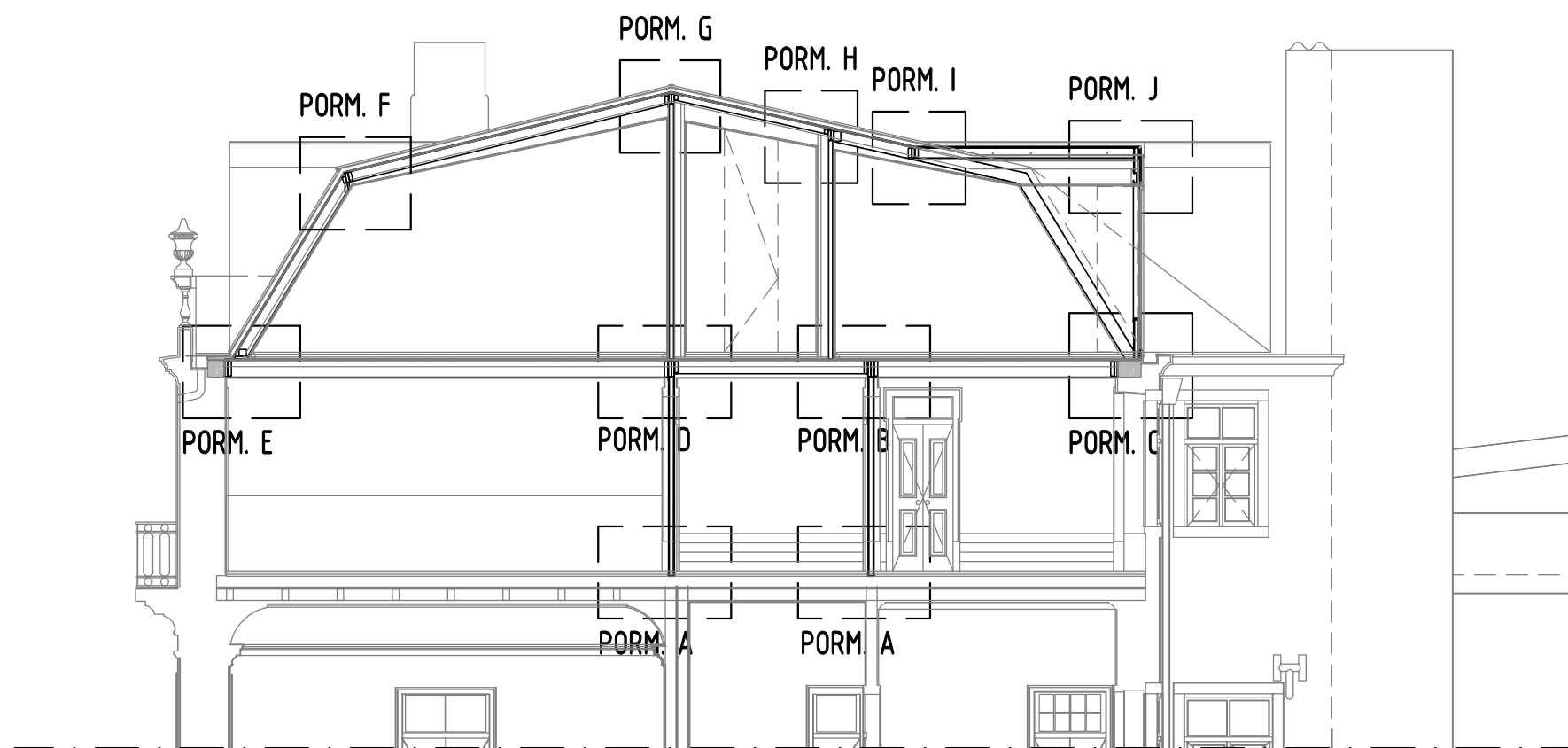
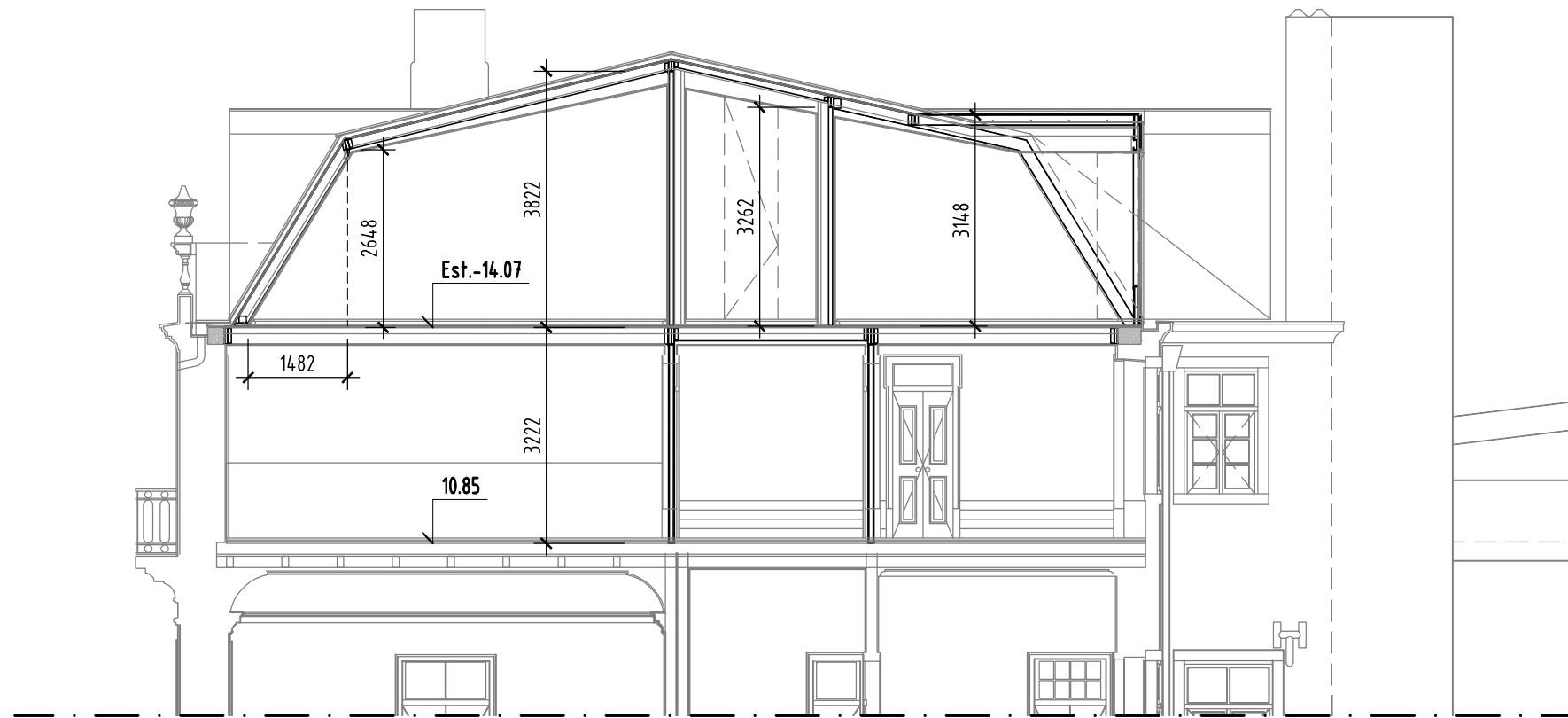
PORMENOR D



PORMENOR E



PORMENOR PAREDE



Aço S280GD + Z275

NOTAS:

1. Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.
2. Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA  
**FUTURENG**  
 Rua Tenente Médico Romiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
 São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
 TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

Obra **EDIFÍCIO HABITACIONAL**

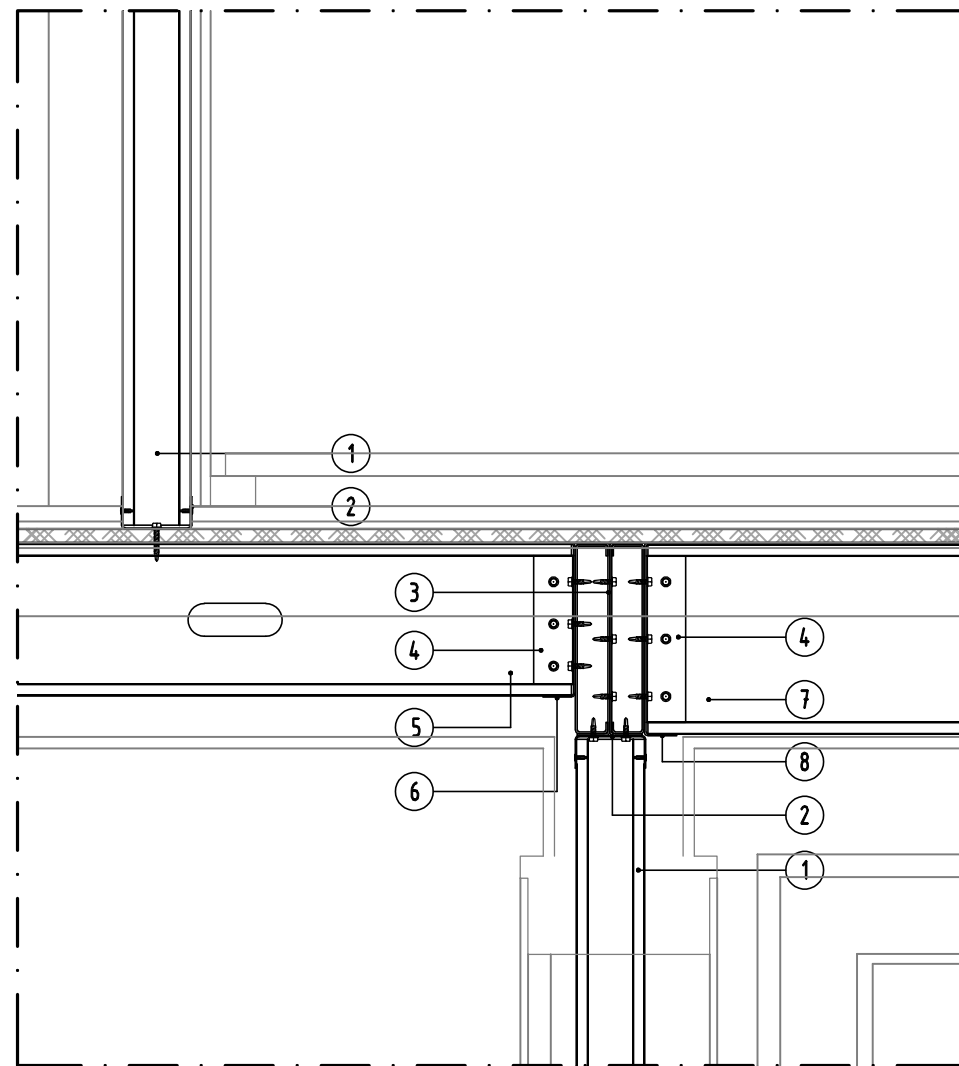
Localização **Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA**

Requerente **Manuel Aires Mateus**

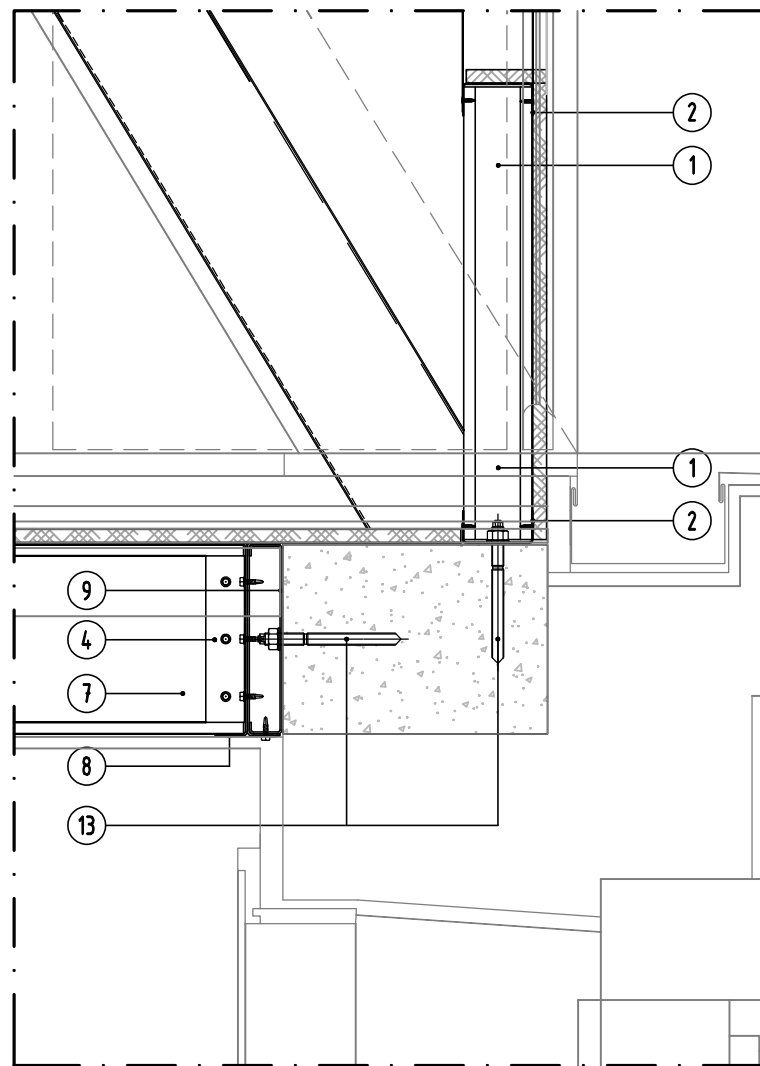
Técnico Responsável **David Henriques**      Desenhou **João Santos**

Designação Projecto de Execução **CORTE - 1**      Obra n.º **240**

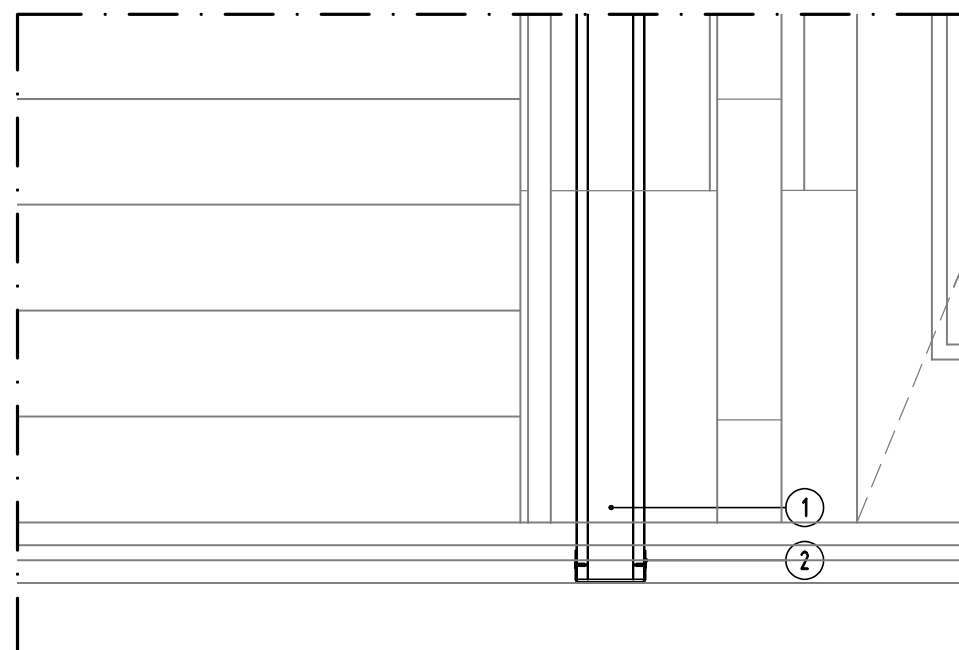
Escala **1:100**      Data **Junho 2010**      Des. n.º **Est-PE.05**



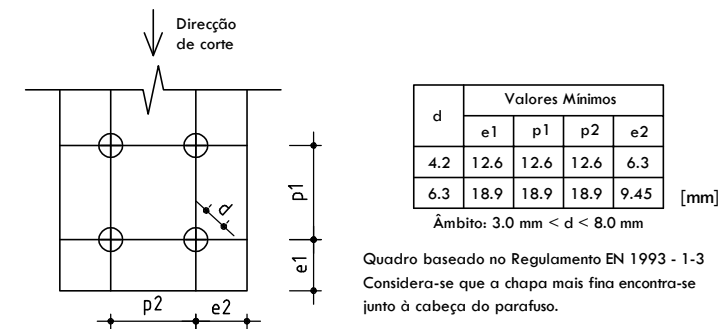
PORMENOR B



PORMENOR C



PORMENOR A



LEGENDA

- 1 - Perfil C90x1.5
- 2 - Perfil U93x1.5
- 3 - Reforço 2xC250x2.5+2xU255x2.5
- 4 - Cantoneira "L50x50x1.5"
- 5 - Perfil C200x2.0
- 6 - Perfil U204x2.0
- 7 - Perfil C250x2.5
- 8 - Perfil U255x2.5
- 9 - Reforço 1xC250x2.5+1xU255x2.5
- 10 - Reforço 1xC200x2.0+1xU204x2.0
- 11 - Cantoneira "L100x100x1.5"
- 12 - Reforço 2xC170x3.0+2xU176x3.0
- 13 - Bucha química M16
- 14 - Reforço 2xC150x1.5+2xU153x1.5
- 15 - Reforço 2xC150x1.5
- 16 - Perfil C170x3.0
- 17 - Perfil C150x1.5
- 18 - Reforço 1xC150x1.5+1xU153x1.5
- 19 - Reforço 2xC200x2.0

- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x50 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x25 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-DD 03Z 4,2x13 mm

Aço S280GD + Z275

NOTAS:

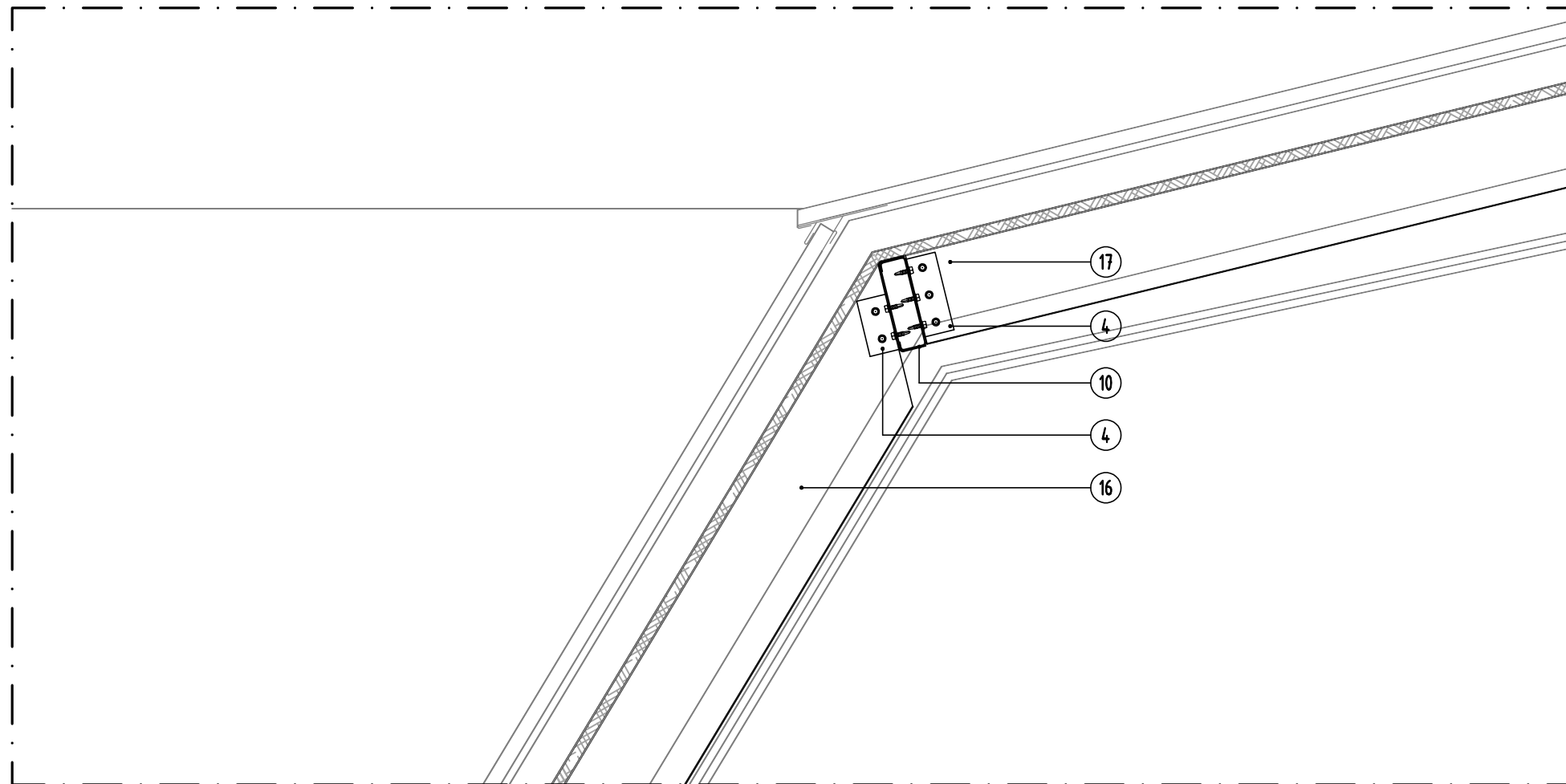
1. Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.
2. Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTUR ENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA

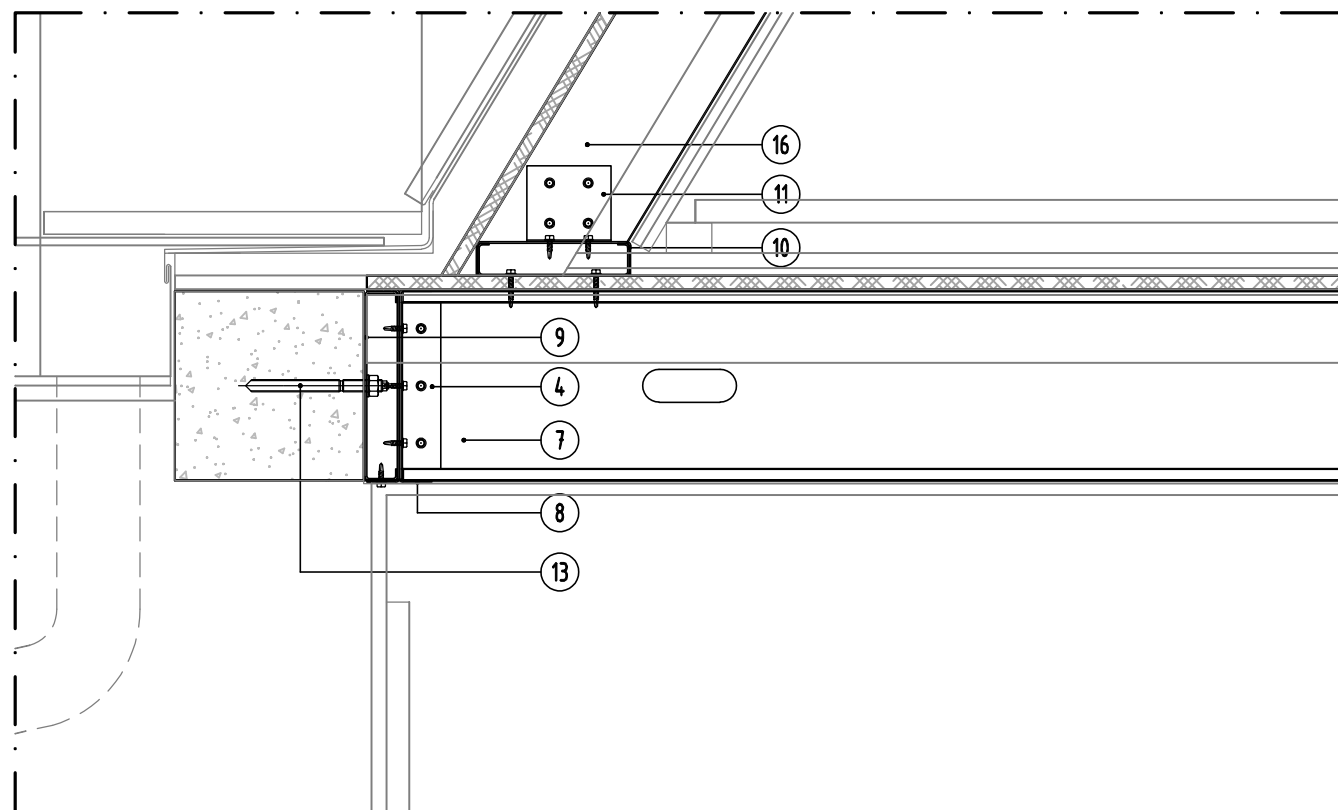
**FUTUR ENG**

Rua Tenente Médico Ramiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

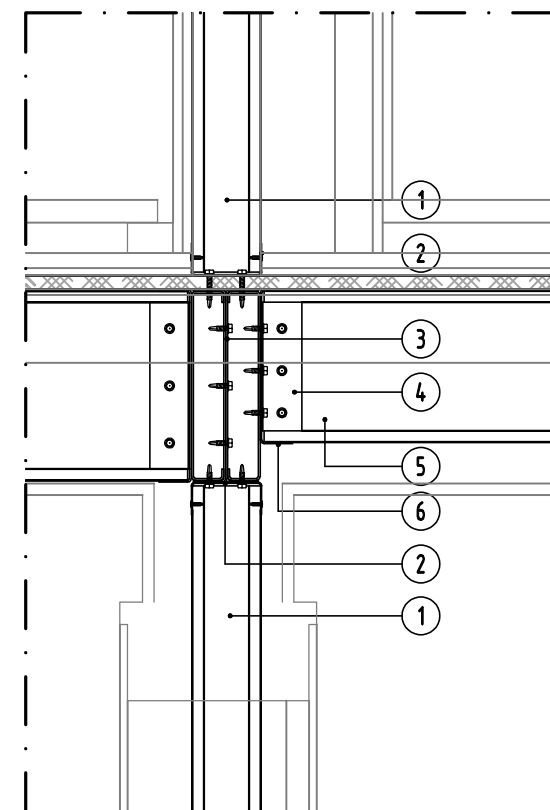
Obra		<b>EDIFÍCIO HABITACIONAL</b>	
Localização		Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA	
Requerente		Manuel Aires Mateus	
Técnico Responsável	David Henriques	Desenhou	João Santos
Designação	Projecto de Execução CORTE 1 - PORMENORES A-B-C	Obra n.º	24.0
Escala	1:10	Data	Junho 2010
		Des. n.º	Est-PE.06



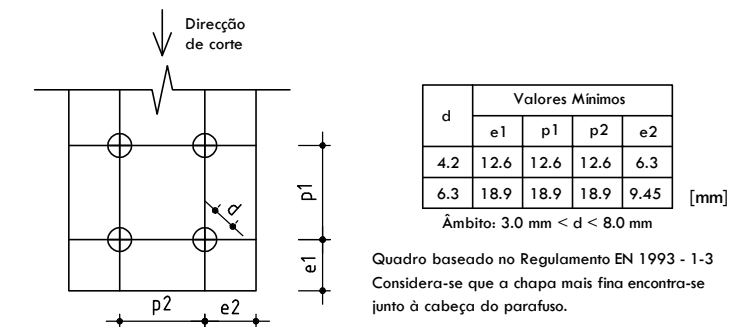
PORMENOR F



PORMENOR E



PORMENOR D



LEGENDA

- 1 - Perfil C90x1.5
- 2 - Perfil U93x1.5
- 3 - Reforço 2xC250x2.5+2xU255x2.5
- 4 - Cantoneira "L50x50x1.5"
- 5 - Perfil C200x2.0
- 6 - Perfil U204x2.0
- 7 - Perfil C250x2.5
- 8 - Perfil U255x2.5
- 9 - Reforço 1xC250x2.5+1xU255x2.5
- 10 - Reforço 1xC200x2.0+1xU204x2.0
- 11 - Cantoneira "L100x100x1.5"
- 12 - Reforço 2xC170x3.0+2xU176x3.0
- 13 - Bucha química M16
- 14 - Reforço 2xC150x1.5+2xU153x1.5
- 15 - Reforço 2xC150x1.5
- 16 - Perfil C170x3.0
- 17 - Perfil C150x1.5
- 18 - Reforço 1xC150x1.5+1xU153x1.5
- 19 - Reforço 2xC200x2.0

- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x50 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x25 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-DD 03Z 4,2x13 mm

Aço S280GD + Z275

NOTAS:  
 1. Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.  
 2. Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA

**FUTURENG**

Rua Tenente Médica Romiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
 São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
 TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

Obra **EDIFÍCIO HABITACIONAL**

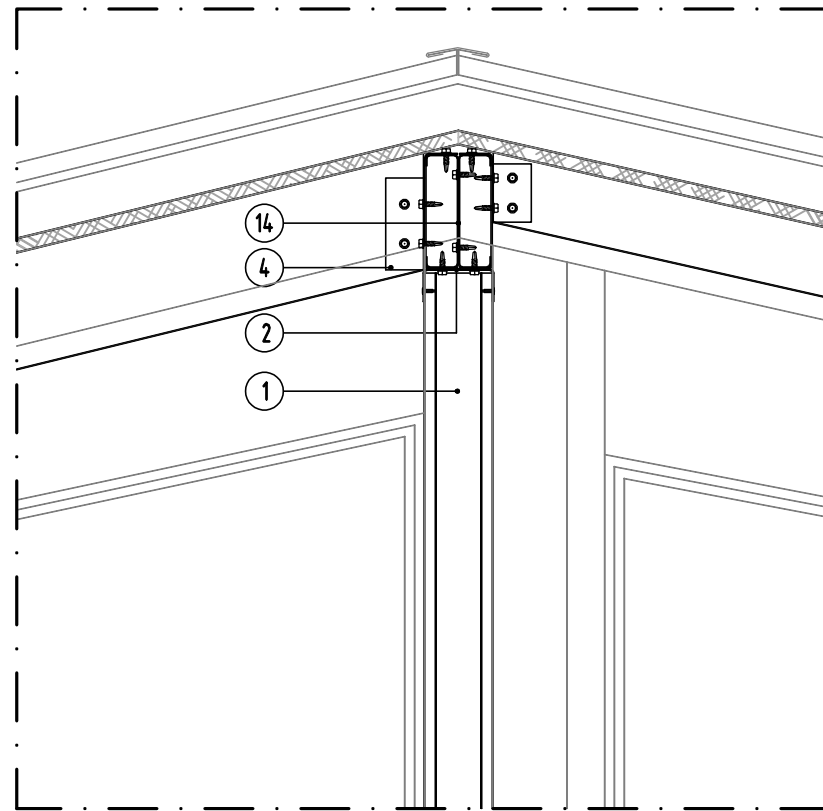
Localização **Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA**

Requerente **Manuel Aires Mateus**

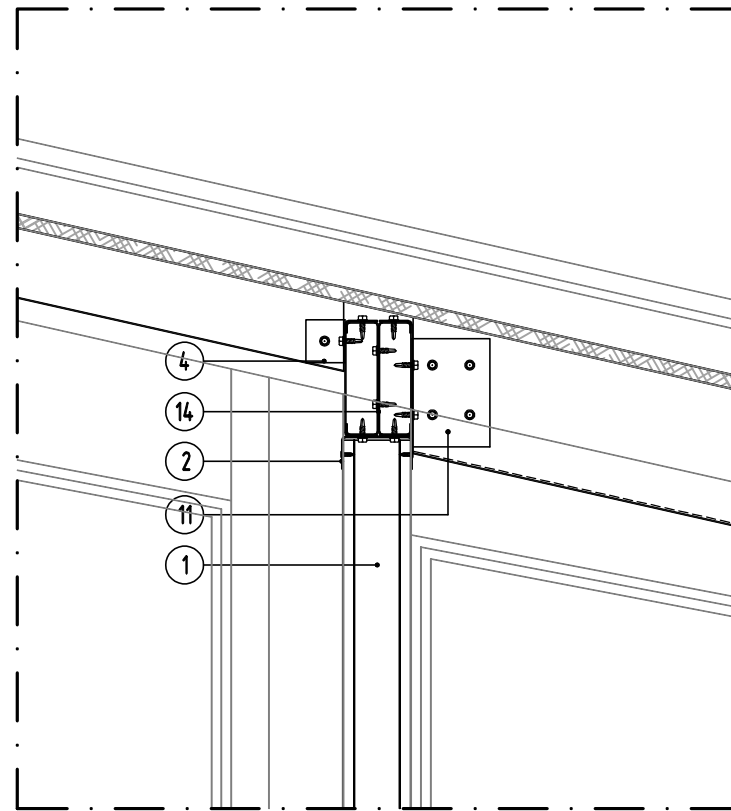
Técnico Responsável **David Henriques**      Desenhou **João Santos**

Designação **Projecto de Execução CORTE 1 - PORMENORES A-B-C**      Obra n.º **24.0**

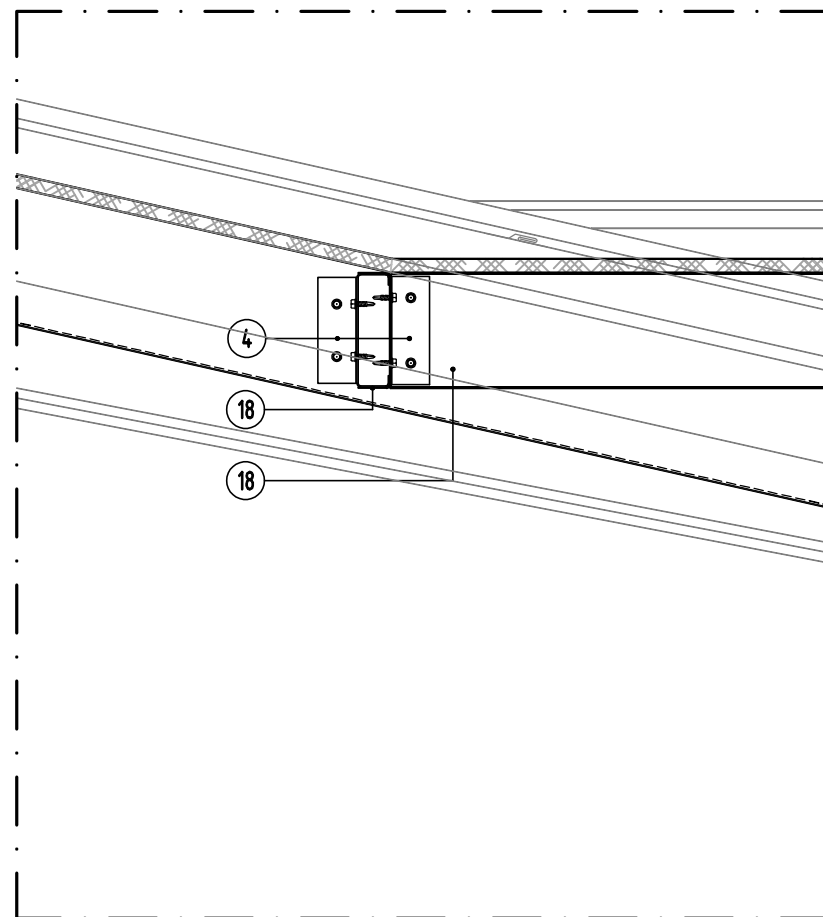
Escala **1:10**      Data **Junho 2010**      Des. n.º **Est-PE.07**



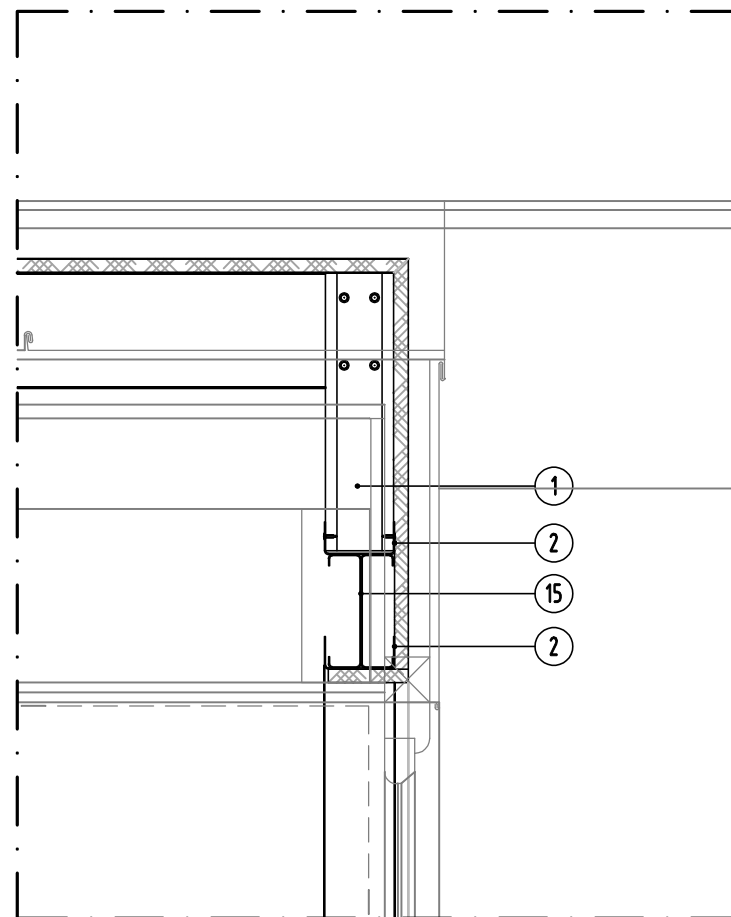
PORMENOR G



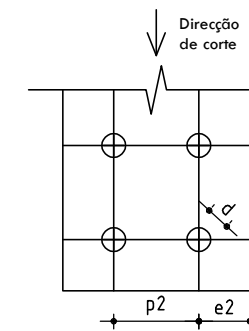
PORMENOR H



PORMENOR I



PORMENOR J



d	Valores Mínimos			
	e1	p1	p2	e2
4.2	12.6	12.6	12.6	6.3
6.3	18.9	18.9	18.9	9.45

Ámbito: 3.0 mm < d < 8.0 mm [mm]

Quadro baseado no Regulamento EN 1993 - 1-3  
Considera-se que a chapa mais fina encontra-se junto à cabeça do parafuso.

LEGENDA

- 1 - Perfil C90x1.5
- 2 - Perfil U93x1.5
- 3 - Reforço 2xC250x2.5+2xU255x2.5
- 4 - Cantoneira "L50x50x1.5"
- 5 - Perfil C200x2.0
- 6 - Perfil U204x2.0
- 7 - Perfil C250x2.5
- 8 - Perfil U255x2.5
- 9 - Reforço 1xC250x2.5+1xU255x2.5
- 10 - Reforço 1xC200x2.0+1xU204x2.0
- 11 - Cantoneira "L100x100x1.5"
- 12 - Reforço 2xC170x3.0+2xU176x3.0
- 13 - Bucha química M16
- 14 - Reforço 2xC150x1.5+2xU153x1.5
- 15 - Reforço 2xC150x1.5
- 16 - Perfil C170x3.0
- 17 - Perfil C150x1.5
- 18 - Reforço 1xC150x1.5+1xU153x1.5
- 19 - Reforço 2xC200x2.0

- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x50 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-MD 03Z 6,3x25 mm
- Parafuso tipo Hilti TS-DD 03Z 4,2x13 mm

Aço S280GD + Z275

NOTAS:

1. Verificar todas as dimensões e condições no local. Não medir sobre os desenhos.
2. Este desenho é parte integrante do caderno de encargos, não podendo ser reproduzido sem autorização expressa do autor do projecto Decreto lei nº63/85 de 14 de Março.

FUTURENG - PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA

**FUTURENG**

Rua Tenente Médica Ramiro Correia, Nº4, 2º B Vale de Figueira | 2695-757  
São João da Talha | Portugal | Tel.: +351 21 994 18 19 | Fax: +351 21 994 79 49  
TM: 93 994 18 19 E-mail: jsantos@futureng.com | Website: www.futureng.com

Obra	
EDIFÍCIO HABITACIONAL	
Localização	
Rua Cecílio de Sousa, 52 a 56 - LISBOA	
Requerente	
Manuel Aires Mateus	
Técnico Responsável	Desenhou
David Henriques	João Santos
Designação Projecto de Execução	Obra n.º
CORTE 1 - PORMENORES G-H-I-J	24.0
Escala	Des. n.º
1:10	Est-PE.08
Data	
Junho 2010	