

SOLUÇÕES DE PAREDES LEVES INCORPORANDO PLACAS DE AGLOMERADO MADEIRA/CIMENTO PARA EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE

VÍTOR HUGO DOS SANTOS DE JESUS PINTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

SETEMBRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Desejo por esta via prestar o meu agradecimento sincero a todos aqueles que durante a elaboração deste trabalho me apoiaram e me deram forças para continuar.

- A Deus;
- Aos meus pais pelas condições que sempre providenciaram para que eu pudesse levar por diante o meu trabalho;
- Ao meu orientador, o professor Hipólito Sousa, pelas chamadas de atenção, pelos ensinamentos transmitidos, pelas sugestões, pela disponibilidade prestada, pelo trato correcto que sempre teve para comigo e incentivos dados durante todo o trabalho;
- Aos meus amigos Hélder Azevedo e Pedro Marinho pelo apoio, pela força e pelos conselhos que me foram dando no decorrer deste trabalho;
- Aos meus colegas, restantes amigos e professores que sempre se prontificaram em ajudar-me nas alturas mais necessárias.

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo desenvolver soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte utilizando painéis de aglomerado madeira e cimento, também comercializados sob a designação comercial Viroc.

Com vista a atingir o objectivo foi avaliada a representatividade deste tipo de soluções construtivas (leves) nos mercados nacional e internacional, como via para perceber a relevância destas soluções construtivas ao nível do nosso país.

Também se procedeu à caracterização sumária das características de comportamento típicas deste tipo de construções, a fim de procurar prever qual o desempenho das soluções a desenvolver no decorrer deste trabalho.

Tendo este estudo como material de base a empregar, os painéis Viroc, procedeu-se à caracterização deste material, descrevendo as formas como se apresenta no mercado, as suas propriedades, desempenho e durabilidade.

Uma vez que os painéis Viroc necessitam de uma estrutura que lhes proporcione apoio, e como já existe bastante bibliografia disponível relacionada com estruturas de suporte em madeira, optou-se neste trabalho por se enveradar pela utilização do aço leve galvanizado, como forma de contribuir para a divulgação e conhecimento de soluções construtivas alternativas, tendo sido dada bastante visibilidade ao sistema estrutural em aço leve, no decorrer do presente trabalho.

Após uma exaustiva abordagem do desempenho sob o ponto de vista exigencial de uma parede de fachada, e a partir de todo o trabalho realizado e descrito acima, procedeu-se ao desenvolvimento de soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte empregando painéis Viroc. Para cada proposta apresentada estimou-se, ainda que de forma aproximada, as suas principais propriedades.

Além do desenvolvimento das soluções de fachada em zona corrente da parede, também se procedeu à pormenorização da forma de resolver o encontro das mesmas com diversos pontos críticos dos edifícios.

Finalizado o presente trabalho, e satisfeito o objectivo que lhe deu origem, pode-se tirar como principais conclusões que actualmente os edifícios leves apresentam melhorias significativas ao nível do isolamento térmico e acusticamente, que os preços praticados em Portugal embora ainda relativamente elevados, quando comparados com os preços praticados noutros países, mas que têm tendência a baixar, dadas as potencialidades de crescimento destas soluções no mercado nacional.

PALAVRAS-CHAVE: Viroc, Painéis de aglomerado madeira e cimento, LSF, Paredes de fachada, Edifícios leves.

ABSTRACT

The present work aims to develop solutions for building facades light using small panels of wood shavings and cement, also marketed under the trade name Viroc.

In order to achieve the objective we evaluated the representativeness of this type of constructive solutions (light) in the domestic and international, as a way to realize the relevance of these constructive solutions to the level of our country.

Was also made to the brief characterization of the behavioral characteristics typical of such buildings, in order to seek to predict what the performance of the solutions developed in this paper.

Taking this study as a basis material for use, the panels Viroc, proceeded to the characterization of this material, describing the shapes as shown in the market, their properties, performance and durability.

Once the panels Viroc need a structure that gives them support, and as there was enough available literature related to support structures in wood, we chose for this work to use lightweight galvanized steel, as a contribution to dissemination and knowledge of alternative building solutions, having been given enough visibility to light steel structural system in the course of this work.

After a comprehensive approach to performance from the point of view of demand that a wall of the facade must respect, and from all work carried out and described above, we proceeded to the development of solutions for building facades light using small panels Viroc. For each proposal it was estimated, even approximately, their main properties.

Besides the development of solutions to the current zone of the walls, also carried out the detail of how to solve the encounter with the critical points of buildings.

Completed this work, and satisfied the goal that gave birth, one can draw conclusions as major buildings that currently have mild to substantial improvements in thermal and acoustic insulation, that the prices in Portugal although still relatively high when compared with prices in other countries, but tend to fall, given the growth potential of these solutions in the market.

KEYWORDS: VIROC, PANELS OF PARTICLEBOARD WOOD AND CEMENT, LSF, FACADE WALLS, LIGHT BUILDINGS.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. MOTIVAÇÃO	2
1.3. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3

2. PAREDES EM EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. CLASSIFICAÇÃO E MERCADO	5
2.2.1. CLASSIFICAÇÃO	5
2.2.2. SITUAÇÃO EM ALGUNS PAÍSES	7
2.2.2.1. Estados Unidos da América	9
2.2.2.2. Alemanha	10
2.2.2.3. Países Nórdicos	11
2.2.2.4. Portugal	15
2.3. CONSTRUÇÃO LEVE VERSUS CONSTRUÇÃO PESADA	16
2.4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS LEVES	20
2.4.1. CONSTRUÇÃO EM MADEIRA	21
2.4.2. CONSTRUÇÃO EM AÇO	22
2.4.2.1. Aço Leve	23
2.4.3. SOLUÇÕES ESTRUTURAIS LEVES	24
2.4.3.1. Estrutura em Balão	24
2.4.3.2. Estrutura de Pavimento	25
2.5. PRÉ-FABRICAÇÃO	26
2.6. ANÁLISE EXIGENCIAL E PROBLEMAS EXIGÊNCIAIS	29

3. PAINÉIS DE AGLOMERADO DE MADEIRA COM CIMENTO	31
3.1. INTRODUÇÃO	31
3.2. O PRODUTO COMERCIAL VIROC	31
3.2.1. ASPECTOS GERAIS	31

3.2.2. PROCESSO DE FABRICO E CONTROLO DE QUALIDADE	33
3.2.2.1. Processo de Fabrico.....	34
3.2.2.2. Controlo de Qualidade.....	34
3.2.3. PRODUTOS CONCORRENTES	35
3.2.4. HIGIENE, SEGURANÇA E SAÚDE	35
3.2.5. CLASSIFICAÇÃO “REVETIR”	36
3.3. APLICAÇÃO.....	38
3.3.1. MANUSEAMENTO.....	38
3.3.2. FIXAÇÃO DOS PAINÉIS VIROC	40
3.3.3. JUNTAS	41
3.4. EXIGÊNCIAS NORMATIVAS APLICÁVEIS A ESTE PRODUTO.....	43
3.5. ESTABILIDADE/DURABILIDADE DOS PAINÉIS VIROC	46

4.Light Steel Framing	49
4.1. INTRODUÇÃO	49
4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA LSF.....	49
4.2.1. PRODUÇÃO	49
4.2.1.1. Fabrico.....	49
4.2.1.2. Montagem e Ligações	50
4.2.2. FUNDAÇÕES	52
4.2.3. ESTRUTURA.....	54
4.2.3.1. Paredes	54
4.2.3.2. Lajes	56
4.2.3.3. Coberturas	57
4.2.4. INSTALAÇÕES.....	60
4.2.4.1. Eléctricas	60
4.2.4.2. Hidráulicas	61
4.3. SOLUÇÕES VARIANTES EM LIGHT STEEL FRAMING	61

5. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO E DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES DE PAREDES DE FACHADA.....

71

5.1. INTRODUÇÃO	71
5.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DE PAREDES DE FACHADA LEVES EM EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE.....	71
5.2.1. ESTABILIDADE/DURABILIDADE.....	71
5.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO.....	73
5.2.3. ISOLAMENTO ACÚSTICO	76
5.2.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	79
5.2.5. ESTANQUIDADE.....	84

5.2.6. CONFORTO VISUAL	85
5.2.7. HIGIENE	85
5.2.8. ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO NORMAL.....	86
5.2.9. FACILIDADE DE LIMPEZA	87
5.2.10. ECONOMIA.....	87
5.2.11. SUSTENTABILIDADE.....	87
5.3. DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES EM LSF E PAINÉIS DE AGLOMERADO DE MADEIRA E CIMENTO.....	88
5.3.1. ZONA CORRENTE	90
5.3.1.1. Solução 1	90
5.3.1.2. Solução 2	92
5.3.1.3. Solução 3	95
5.3.1.4. Solução 4	96
5.3.2. PONTOS SINGULARES.....	98
5.3.2.1. Ligação Fachada/Pavimento.....	98
5.3.2.2. Ligação Fachada/Piso Intermédio.....	99
5.3.2.3. Ligação Fachada/Cobertura.....	99
5.3.2.4. Ligação de Esquina Fachada/Fachada.....	100
5.3.2.5. Ligação Fachada/Porta	100
5.3.2.6. Ligação Fachada Janela	101
 6. Conclusões	 103
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	103
6.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	105
 BIBLIOGRAFIA.....	 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. – Evolução das fachadas em Portugal. [Sousa, 1995] [1].....	8
Figura 2.2. – Revestimento exterior de fachadas nos edifícios novos unifamiliares nos E.U.A., em 2008. [2].....	9
Figura 2.3. – Percentagens das licenças de construção emitidas para os diferentes tipos de construção, na Alemanha, no ano 2000. [1].....	10
Figura 2.4. – Percentagens dos diferentes tipos de construção em edifícios residenciais em volume, na Alemanha, no ano 2000. [1].....	10
Figura 2.5. – Percentagens dos custos dos diferentes tipos de construção, em relação ao total dos custos de construção, em edifícios residenciais, na Alemanha, no ano 2000. [1].....	11
Figura 2.6. – Percentagens dos tipos de materiais utilizados na edificação de edifícios unifamiliares na Finlândia. [1].....	12
Figura 2.7. – Percentagens dos tipos de materiais utilizados na edificação de edifícios residenciais de vários andares na Finlândia. [1].....	12
Figura 2.8. – Materiais utilizados nas fachadas de edifícios unifamiliares na Finlândia. [1].....	13
Figura 2.9. – Materiais utilizados nas fachadas de edifícios residenciais de vários pisos na Finlândia. [1].....	13
Figura 2.10. – Distribuição percentual dos materiais utilizados na estrutura resistente de edifícios de pequeno porte. [1].....	14
Figura 2.11. - Distribuição percentual dos materiais utilizados na fachada de edifícios de pequeno porte. [1].....	14
Figura 2.12. – Construção de edifícios em Portugal. [1].....	15
Figura 2.13. – Comparação entre estruturas de edifícios em alguns países europeus. [1].....	16
Figura 2.14. – Construção leve em madeira.....	21
Figura 2.15. – Exemplo de estrutura em aço galvanizado leve antes da aplicação de revestimentos.	23
Figura 2.16. – Diferença entre uma estrutura em plataforma (esq.) e uma estrutura em balão (dir.). [4].....	25
Figura 2.17. – Representação esquemática de uma estrutura em plataforma com dois pisos. [Faria, 1999].....	26
Figura 2.18. – Tipos de pré-fabricação a) Pré-fabricação pesada b) Pré-fabricação leve c) Pré-fabricação Ligeira.....	27
Figura 2.19. – Tendência de evolução dos tempos de construção. [Sousa, 2003].....	28
Figura 3.1. – Representação esquemática do processo de fabrico (Ilustrações: Alves, 2009 [6]).....	34
Figura 3.2. – Modo correcto de armazenamento dos painéis de Viroc. [8].....	39
Figura 3.3. – Correcto transporte dos painéis de Viroc. [9].....	40
Figura 3.4. – Correcto manuseamento dos painéis Viroc em obra. [8].....	40
Figura 3.5. – Junta topo-a-topo másticada (esq.) e junta de recobrimento (dir).....	42
Figura 3.6. – Outros tipos de junta.....	43
Figura 3.7. - Taxa de decrescimento em comprimento dos painéis Viroc [10].....	48

Figura 3.8. - Taxa de decréscimo da espessura dos painéis Viroc [10].....	48
Figura 4.1. - Exemplo de uma máquina de produção de perfis LSF.....	50
Figura 4.2. - Painéis pré-fabricados de LSF [12].....	51
Figura 4.3. - Módulos pré-fabricados tridimensionais empilhados [12].....	51
Figura 4.4. - Movimentação da estrutura devido à acção do vento. a) Translação e b) Tombamento [12].....	53
Figura 4.5. - Elementos de ancoragem dos painéis das paredes em LSF [13].....	53
Figura 4.6. - Modo de fixação expansível com parabolts [12].....	53
Figura 4.7. - Esquema da transmissão das cargas verticais à fundação [12].....	54
Figura 4.8. - Esquema da transmissão das cargas verticais à fundação numa zona com abertura [12].....	55
Figura 4.9. - Travamento horizontal dos painéis estruturais [12].....	55
Figura 4.10. - Contraventamento em “X” (esq.) e contraventamento em “K” (dir.) [12].....	56
Figura 4.11. - Ligação entre painéis de canto (planta) [12].....	56
Figura 4.12. - Identificação dos elementos constituintes de uma laje de piso em LSF [12].....	57
Figura 4.13. - Exemplo de laje LSF seca, revestida a painéis de OSB e com fita de travamento horizontal [13].....	57
Figura 4.14. - Alguns tipos de treliças planas [12].....	58
Figura 4.15. - Estrutura de uma cobertura inclinada em painéis [12].....	58
Figura 4.16. - Alguns tipos de treliças. a) Treliça Howe, b) Treliça Pratt e c) Treliça Fink [12].....	59
Figura 4.17. - Estrutura de telhado treliçada e contraventada lateralmente [12].....	59
Figura 4.18. - a) Isolamento dos orifícios dos montantes com material não condutor. b) Exemplo de uma caixa de electricidade [13].....	60
Figura 4.19. - Rede de abastecimento de água (esq.) [13] e rede de drenagem de águas residuais (dir.) (Gestedi).....	61
Figura 5.1. – Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno. [3].....	74
Figura 5.2. – Esquema de transmissão de ruídos aéreos e de percussão [17].....	76
Figura 5.3. - Esquema dos pontos analisados.....	89
Figura 5.4. – Corte esquemático da solução 1.....	91
Figura 5.5. – Corte esquemático da solução 2.....	93
Figura 5.6. – Corte esquemático da solução 3.....	95
Figura 5.7. – Corte esquemático da solução 4.....	97
Figura 5.8. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/pavimento da solução 1.....	98
Figura 5.9. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/piso intermédio da solução 1.....	99
Figura 5.10. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/porta da solução 1.....	99
Figura 5.11. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/porta da solução 1.....	100

Figura 5.12. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/porta da solução 1.....	101
Figura 5.13. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/janela da solução 1.....	102

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. – Soluções construtivas de paredes de fachada.....	6
Quadro 2.2. – Peso de uma habitação de dois pisos em sistema de construção tradicional.....	18
Quadro 2.3. – Peso de uma habitação de dois pisos em sistema de construção leve.....	18
Quadro 2.4. – Materiais, espessuras e pesos utilizados no quadro 2.3.....	19
Quadro 2.5. – Vantagens e desvantagens da construção pesada.....	20
Quadro 2.6. – Vantagens e desvantagens da construção leve.....	20
Quadro 2.7. – Vantagens e desvantagens do uso da madeira.....	22
Quadro 2.8. – Vantagens e desvantagens do uso do aço leve.....	24
Quadro 2.9. – Requisitos exigenciais das paredes de fachada. [LNEC].....	29
Quadro 3.1. – Tonalidades do Viroc produzido em Portugal.....	32
Quadro 3.2. – Tolerâncias de fabrico [6].....	33
Quadro 3.3. – Tolerâncias dimensionais da espessura e em função do tipo de acabamento [6].....	33
Quadro 3.4. – Controlo de riscos.....	35
Quadro 3.5. – Ferramentas para maquinaria adequadas para os painéis de Viroc.....	36
Quadro 3.6. – Classificação da resistência ao vento [7].....	37
Quadro 3.7. – Tipos de fixadores e respectivas características.....	41
Quadro 3.8. – Requisitos gerais. [6].....	44
Quadro 3.9. – Tolerâncias dimensionais em função das espessuras e do tipo de acabamento. [6].....	44
Quadro 3.10. – Intervalo máximo entre testes para cada linha de produção. [6].....	44
Quadro 3.11. – Propriedades testadas em fábrica. [6].....	45
Quadro 3.12. – Reacção ao fogo. [8].....	45
Quadro 3.13. – Propriedades acústicas. [8].....	46
Quadro 3.14. – Outras propriedades.[8].....	46
Quadro 3.15. - Principais propriedades do Viroc medidas experimentalmente, comparadas com as da EN 634-2 [10].....	47
Quadro 4.1. - Parafusos mais utilizados nas ligações do sistema LSF.....	52
Quadro 4.2. – Solução construtiva mais frequente em Light Steel Framing. (ilustrações: Gestedi).....	62
Quadro 4.3. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em lajes.....	63
Quadro 4.4. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em fachadas.....	63
Quadro 4.5. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em divisórias.....	67

Quadro 5.1. – Zonamento climático de Inverno, alterações em função da altitude dos locais. [3].....	74
Quadro 5.2. – Zonas climáticas de Inverno para as Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira....	75
Quadro 5.3. – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (U em $W/m^2\text{°C}$). [3].....	75
Quadro 5.4. – Coeficientes de transmissão térmica de referência (U em $W/m^2\text{°C}$). [3].....	75
Quadro 5.5. - Condições de audibilidade através de um elemento construtivo. [18].....	77
Quadro 5.6. – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, $D_{2m, n, w}$. [20].....	78
Quadro 5.7. – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{n, w}$, em edifícios habitacionais e mistos. [20].....	78
Quadro 5.8. - Índice de redução sonora da lã de vidro [21].....	79
Quadro 5.9. – Reacção ao fogo de produtos de construção, com excepção de revestimentos de piso. [22].....	80
Quadro 5.10. – Classes da reacção ao fogo para produtos da construção, excluindo pavimentos. [22].....	80
Quadro 5.11. – Resistência ao fogo de produtos de construção [22].....	82
Quadro 5.12. – Condições de protecção de vãos de fachada em confronto [23].....	82
Quadro 5.13. – Reacção ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas, caixilharias e estores [23].....	83
Quadro 5.14. – Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa de ar [23].....	83
Quadro 5.15. – Reacção ao fogo dos sistemas compósitos para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolante «etics» e o material de isolamento térmico [23].....	83
Quadro 5.16. – Categorias de risco da utilização-tipo I «Habitacionais» [22].....	84
Quadro 5.17. – Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios [23].....	84
Quadro 5.18. – Resumo das soluções desenvolvidas.....	88
Quadro 5.19. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 1.....	91
Quadro 5.20. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 2.....	94
Quadro 5.21. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 3.....	96
Quadro 5.22. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 4.....	97

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BRE - Building Research Establishment, Ltd

CBPB – Cement bonded particleboard

CE - Conformité Européenne

CS – Brick – Clay Slight Brick – Tijolo leve de argila

$D_{2m, n, w}$ e $D_{n, w}$ - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado [dB]

E. U. A. – Estados Unidos da América

EN – Norma Europeia

ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems

Ext. – Exterior

Hr – Humidade relativa [%]

Int. – Interior

ISO - International Organization for Standardization

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LSF – Light Steel Framing

MOE – Modulus of elasticity

MOR – Modulus of resistance

NP – Norma Portuguesa

OSB – Oriented Strand Board

PME's – Pequenas e médias empresas

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

R_w – Índice de redução acústica [dB]

SCIE – Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios

U - Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2\text{°K}$]

UT – Utilização Tipo

1.

Introdução

1.1. ENQUADRAMENTO

Desde sempre o Homem sentiu a necessidade de procurar abrigo, inicialmente com o Homo de Neanderthal, que encontrou refúgio contra as mais variadas ameaças naturais, como animais ferozes e condições climáticas, em grutas e cavernas. E mais tarde já no período do Homo Sapiens o Homem abandonou a vida nómada fixando-se num dado local, formando aglomerados urbanos e tornando-se construtor.

Posteriormente o Homem foi desenvolvendo cada vez meios mais sofisticados de solucionar o seu problema construtivo, empregando novos materiais, como a taipa, a madeira e a pedra, mais ou menos até à Revolução Industrial. Com a Revolução Industrial e o desenvolvimento do aço e a descoberta do Cimento Portland a humanidade voltou a descobrir novos materiais para empregar na construção.

Também com o surgimento da Revolução Industrial a generalidade das indústrias sofreu grandes transformações, no entanto no sector da construção não se sentiram grandes transformações, motivo pelo actual atraso tecnológico do sector da construção face às restantes indústrias.

Actualmente tem-se feito notar um relativo esforço da parte de alguns agentes do sector por um aumento do grau de industrialização do sector. Principalmente pela procura do aumento da pré-fabricação, do aumento do número de tarefas a realizar em fábrica e pela redução no número de tarefas a realizar na obra.

Nesse sentido têm surgido no mercado novas formas de construir, através de novos materiais, que prometem fazer pender mais os pratos da balança para soluções construtivas distintas das tradicionais.

Como se sabe uma das partes mais importantes de um edifício é a sua envolvente exterior, composta pelas paredes de fachada e cobertura. No que diz respeito às paredes exteriores estas são das partes de um edifício mais susceptíveis de desenvolver patologias, talvez por esse mesmo motivo, este elemento do edifício não tenha experimentado alterações radicais em termos de sistemas construtivos, tendo-se pautado as suas alterações por pequenas mutações de cada vez e a avaliação do seu comportamento sedimentada ao longo de várias décadas.

Hoje em dia, fruto de alterações sociais mais ou menos acentuadas no modo de vida da sociedade como o aumento muito significativo da melhoria da qualidade de vida da população em geral, acompanhada por aumentos salariais, tem-se observado uma inflação significativa no custo dos imóveis, justificada em boa medida pelo aumento do custo da mão-de-obra, pelos motivos mencionados. Algo que pressiona o sector para a busca de novas formas de construir

mais rápidas, fáceis, de preferência secas para evitar tempos de espera e potencialmente mais económicas através do aumento de produtividade da mão-de-obra.

De entre as muitas novas tecnologias construtivas que surgem a cada dia no mercado importa destacar duas, pela sua importância no presente trabalho, os painéis de aglomerado de madeira e cimento e o LSF.

A primeira está intimamente envolvida nesta dissertação, dado que o objectivo fundamental desta dissertação é justamente a aplicação deste material em paredes de fachada leves de edifícios. O segundo deriva do primeiro pelo facto de ser necessário outro material para conceber a estrutura portante das paredes que irão proporcionar sustentação aos ditos painéis e neste caso optou-se por uma solução metálica leve.

Ambos os materiais são inovadores no sector da construção e ir-se-á procurar ao longo deste trabalho fazer uma exposição das tecnologias em causa, divulgando de forma isenta as potencialidades da combinação destas duas tecnologias como via para satisfazer os objectivos deste trabalho.

1.2. MOTIVAÇÃO

No sentido de procurar modernizar o sector da construção têm surgido novos materiais e também novas soluções construtivas, infelizmente nem sempre devidamente estudadas e acompanhadas por informação científica e técnica adequadas. Donde resultam muitas vezes construções de qualidade duvidosa, nem sempre devido à falta de competência por parte de quem projecta ou executa a obra, mas sim de produtos mal estudados ou de soluções deficientemente desenvolvidas.

Apesar disso algumas empresas nacionais têm realizado um trabalho significativo, não apenas no desenvolvimento de novos produtos e na busca de novas soluções, como também no acompanhamento das mesmas por estudos adequados.

É nesse sentido que se justifica a realização do presente trabalho:

- como forma de contribuir para a divulgação e o conhecimento das características de comportamento do produto sob o nome comercial Viroc;
- da falta de soluções alternativas variadas para contrapor com as soluções construtivas tradicionais;
- da necessidade de desenvolver paredes de fachada leves para a aplicação do produto de designação comercial Viroc e de variantes para o sistema LSF, actualmente excessivamente conectado ao sistema de revestimento exterior por reboco armado delgado sobre isolamento;
- da necessidade de desenvolver propostas de soluções para resolver incompatibilidades de soluções em pontos singulares dos edifícios.

A motivação para o presente trabalho surge assim da necessidade de procurar responder às carências sentidas no sector em relação aos aspectos anteriormente mencionados, procurando desenvolver de uma forma sustentada soluções de aplicação do produto sob nome comercial Viroc em soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte.

1.3. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação insere-se num estudo bastante mais alargado sobre um determinado material existente no mercado português e nas suas possibilidades de aplicação. O material em

causa apresenta-se segundo a designação comercial de Viroc, sob a forma de painel para a construção de aglomerado de aparas de madeira com cimento.

Uma vez formulado o tema da dissertação, aparece quase implicitamente, o domínio no qual esta se insere. No entanto, e como este tema se afigura demasiado vasto para o tempo disponível, tornou-se imperioso restringir as variantes abrangidas no presente trabalho. Sendo assim aptou-se por uma abordagem mais focalizada em torno das paredes de fachada leves resistentes e dentro destas, nas que tinham por base uma estrutura portante metálica. Também em relação ao tipo de materiais envolvidos na construção das paredes de fachada procurou-se empregar, sempre que possível, painéis de aglomerado madeira e cimento.

Com vista à satisfação do objectivo último da presente dissertação com o desenvolvimento de soluções de fachadas leves empregando painéis de aglomerado madeira e cimento definiram-se sub-objectivos que no seu conjunto permitiram cumprir com o objectivo deste trabalho e que são enumerados seguidamente:

- averiguar o posicionamento nos mercados internacionais de soluções construtivas leves e respectiva comparação com o panorama em Portugal, a fim de perceber o potencial de proliferação deste tipo de soluções no nosso país;
- caracterizar o comportamento típico de edifícios leves sob o ponto de vista das suas vantagens e desvantagens;
- quantificar em termos de massa por m² um edifício leve;
- aprofundar o conhecimento em relação ao produto de nome comercial Viroc, a fim de o utilizar como elemento de revestimento nas soluções de fachadas leves a desenvolver;
- apresentar uma estrutura portante das paredes alternativa à madeira, neste caso a alternativa foi em aço leve galvanizado;
- avaliar as exigências de desempenho associadas às paredes de fachada;
- desenvolver soluções de fachada leve para edifícios de pequeno porte em zona corrente e caracterizá-las, ainda que sucintamente, em relação ao comportamento térmico, acústico e resistência ao fogo;
- apresentar propostas de compatibilização do sistema com pontos singulares, sem comprometer o desempenho das soluções.

Para além dos sub-objectivos expostos anteriormente foi necessário efectuar uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em estudo e que serviu de apoio ao trabalho efectuado.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Com vista à satisfação dos objectivos anteriormente enunciados a presente dissertação está organizada em cinco capítulos, seguidos da Bibliografia e Anexos.

O primeiro capítulo faz uma apresentação do trabalho, enquadrando-o no contexto histórico da construção até aos dias de hoje, abordando o estado do sector actualmente, além de dar a conhecer os motivos e objectivos da presente dissertação.

O segundo capítulo da dissertação procura fazer um ponto da situação do estado da arte, classificando os diferentes tipos de soluções de fachadas mais conhecidos no nosso país e analisando o panorama do sector construtivo em Portugal e noutros países sob o ponto de vista das soluções construtivas de fachadas adoptadas. Procura também estabelecer um balizamento para a classificação das soluções construtivas tendo em conta a sua massa, entrando na descrição das soluções construtivas leves além de estudar o caso da pré-fabricação na construção.

No terceiro capítulo é apresentado o produto Viroc, descrevendo as suas características gerais, bem como as suas variantes existentes no mercado. São avaliadas as potencialidades do material, o seu fabrico e controlo de qualidade, é efectuada a classificação do produto, são analisadas as formas de o manusear e de o aplicar, são listadas as exigências normativas aplicáveis ao produto e divulgadas as suas alterações com o passar do tempo.

No quarto capítulo é feita uma abordagem à construção metálica, mais concretamente às soluções em aço leve galvanizado, uma solução construtiva relativamente recente no nosso país, mas que nos últimos tempos tem vindo a ganhar alguma notoriedade no sector, tendo sido a solução adoptada para a estrutura portante das paredes de fachadas desenvolvidas no capítulo 5. Além disto, dada a carência de informação técnica a respeito desta forma de conceber estruturas, entendeu-se por bem procurar apresentar de forma muito sucinta a tecnologia e demonstrar as suas potencialidades através da flexibilidade demonstrada pelo sistema quanto à sua compatibilidade com muitas outras soluções construtivas.

No capítulo 5 são desenvolvidas as soluções de fachada utilizando a tecnologia LSF e os painéis Viroc. O capítulo inicia-se com uma descrição exhaustiva das exigências funcionais de paredes de fachada, à qual se segue o desenvolvimento de algumas soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte utilizando os materiais anteriormente mencionados e respectiva caracterização técnica, ainda que sumária, e especificação de um método construtivo possível para cada solução. O capítulo encerra com os desenhos de pormenor tridimensionais do encontro de uma das soluções com vários pontos singulares, muito comuns, existentes nas edificações.

Por fim no capítulo 6 são apresentadas as conclusões tiradas do presente trabalho e são também sugeridos possíveis desenvolvimentos futuros com vista a orientar possíveis interessados no tema na continuação da investigação na área das paredes de fachada leves para edifícios de pequeno porte.

No Anexo 1 são apresentados os restantes desenhos de pormenor, referentes às restantes soluções de fachada desenvolvidas no presente trabalho.

2.

PAREDES EM EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE

2.1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste capítulo é fazer uma apresentação sucinta da importância, localização e funções das paredes exteriores e interiores de edifícios de habitação, com um enfoque maior nos edifícios de pequeno porte. Tomando por base a situação portuguesa, e a sua evolução ao longo do tempo, faz-se uma análise das soluções de paredes em alguns países estrangeiros.

Seguidamente, após discutir a diferença entre soluções construtivas pesadas e leves, dá-se destaque às diferentes soluções de construção leve, com referência aos materiais empregues e às soluções estruturais. Por último, de forma sintética, abordam-se as principais exigências aplicáveis às paredes de fachada dos edifícios de habitação.

2.2. CLASSIFICAÇÃO E MERCADO

2.2.1. CLASSIFICAÇÃO

Nos edifícios as paredes podem adquirir várias denominações consoante a sua localização e função no edifício. Caso se localizem no interior do edifício têm função de compartimentação entre espaços. Caso se localizem na envolvente do edifício, poderão ser paredes de fachada, caso tenham a função de separação do espaço interior do exterior, ou de empena se forem construídas no limite da propriedade visando confrontar com outras construções. As paredes de fachada diferem das paredes de empena por serem visíveis do exterior do edifício e por terem normalmente um acabamento mais cuidado do que as paredes de empena que como ficam escondidas pelos edifícios vizinhos tendem a ter um aspecto mais rude. As paredes exteriores também poderão ser simples, se só forem constituídas por um pano de parede, ou duplas, se forem constituídas por dois panos de parede.

Além do que acima foi exposto, as paredes também podem desempenhar função estrutural, sendo designadas como resistentes caso se destinem a suportar a generalidade das cargas da construção, ou não resistentes no caso de não possuírem capacidade para suportar cargas.

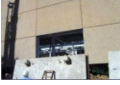
As paredes devem também possuir características que lhes permitam satisfazer com sucesso as funções a que se destinam, como garantir a segurança e estabilidade estrutural, a segurança contra incêndio, contra as intrusões de animais ou pessoas, devem permitir a suspensão de equipamentos pesados, ser estanques ao ar e à água, ser confortáveis térmica, acústica e visualmente, ter durabilidade e custos de manutenção aceitáveis e não devem possuir produtos tóxicos.

Existem no mercado um vasto leque de soluções construtivas para realizar paredes que vão desde a construção actual corrente, à base de estrutura porticada de betão armado e enchimento dos pórticos com alvenaria de tijolo furado, podendo a parede ser simples, composta, ou dupla com caixa de ar, a construção pré-fabricada que por sua vez se subdivide em construção pré-fabricada pesada e leve, consoante a massa do elemento/componente da construção, para além da construção das próprias paredes em betão, etc. Com o intuito de procurar clarificar um pouco as diferentes soluções construtivas de fachadas apresenta-se no quadro 2.1. uma classificação das soluções construtivas tipo de paredes mais conhecidas em Portugal.

Quadro 2.1. – Soluções construtivas de paredes de fachada.

Soluções Construtivas Tipo			
Contínuas realizadas “in situ”	Betão	Armado	
		Simple	
		Ciclópico	
		Agregados leves	
	Taipa (actualmente em desuso)		
Alvenarias	Adobe (actualmente em desuso)		
	Pedra natural	Ordinária	
		Aparelhada	
		Cantaria	

Quadro 2.1. – Soluções construtivas de paredes de fachada. (cont.)

Soluções Construtivas Tipo			
Alvenarias	Cerâmicos	Maciço	
		Furação vertical	
		Furação horizontal	
		Formatos especiais	
	Blocos de betão	Betão corrente	
		Betão celular autoclavado	
		Betão leve de argila expandida	
	Painéis Pré-fabricados	Pesados	
		Homogéneos	
		Elementos vazados	
		“Sandwich”	
		Leves	

Existem também outras soluções construtivas para paredes de fachada, por exemplo à base de elementos metálicos (aço ou alumínio), madeira, fibrocimento, gesso, etc., no entanto não foram acrescentados ao quadro acima porque são soluções menos expressivas em Portugal e não é objectivo do presente trabalho uma enumeração exaustiva das soluções de fachada existentes.

A evolução das soluções construtivas de paredes de fachada em Portugal, desde os anos 40 do século XX, tem-se desenvolvido no sentido de procurar aligeirar a massa volúmica destas com o intuito de procurar a redução dos custos da construção, através do aumento da produtividade da

mão-de-obra, da diminuição das despesas com os materiais e também através da redução do peso próprio dos elementos sobre as estruturas dos pisos o que também tem contribuído para o aligeiramento das estruturas resistentes dos edifícios. Na figura 2.1. pode-se observar essa mesma evolução, inicialmente as paredes eram constituídas por um único pano resistente em alvenaria de pedra ou tijolo maciço, tornando-se por volta dos anos 50 duplas, mas com o pano exterior ainda de alvenaria de pedra ou tijolo maciço, embora menos espesso, a criação de uma caixa de ar entre os panos de parede e pano de parede interior em tijolo furado. A partir dos anos 60 a alvenaria de pedra do pano exterior da parede foi substituída por tijolo furado, o que foi um passo importante na redução considerável no peso das paredes. Durante os anos 70 ainda se reduziu mais o peso das paredes por diminuição da espessura do pano exterior da parede em tijolo furado. Esta solução viria a apresentar alguns problemas, principalmente no que diz respeito ao comportamento térmico dos edifícios, motivo pelo qual nos anos que se seguiram se passou a incorporar isolamento térmico nas paredes e se voltou a aumentar a espessura do pano exterior da parede de tijolo furado, de que é exemplo o esquema respeitante à situação nos anos 80. Embora tenha havido uma regressão na tendência de redução da massa das paredes de fachada, mesmo assim esta mantém-se inferior à dos anos 60 e anteriores. Mais recentemente, durante os anos 90, tem-se assistido a um retorno às soluções construtivas à base de pano de parede simples que no caso de ser realizada em tijolo furado volta a reduzir a massa da parede, e ao mesmo tempo a uma proliferação algo significativa dos isolamentos térmicos pelo exterior recobertos por reboco armado delgado (ETICS), ou soluções de fachada ventilada que vieram resolver muitos dos problemas relativamente às pontes térmicas que tinham sido mal resolvidas na solução dos anos 80.

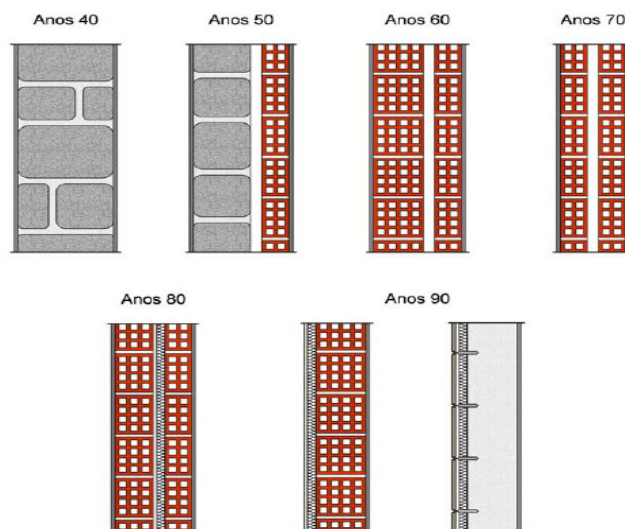


Figura 2.1. – Evolução das fachadas em Portugal. [Sousa, 1995] [1]

2.2.2. SITUAÇÃO EM ALGUNS PAÍSES

A importância da construção leve e das diferentes soluções construtivas de paredes em Portugal e noutros países é algo que importa clarificar neste ponto. Sendo a indústria da construção muito diversificada em termos de empresas e em termos de soluções construtivas, e associado também ao facto de nem todos os países possuírem uma estrutura organizacional que permita a recolha e tratamento de informação para que se possa proceder à caracterização estatística, principalmente no que se refere aos tipos de construção utilizados, torna-se complicada a tarefa de ter uma perspectiva alargada destas soluções.

Perante estas dificuldades optou-se no presente trabalho por referir mais pormenorizadamente a situação em alguns países, a saber, os E. U. A. , a Alemanha, os Países Nórdicos e Portugal, sobre os quais se conseguiu recolher informação mais detalhada sobre a importância dos diferentes tipos de construção, entre as quais a construção leve.

2.2.2.1. Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos da América as fachadas dos edifícios novos, unifamiliares, são materializadas essencialmente por revestimento de vinil, tal como evidencia a figura 2.2. Por outro lado também se percebe que o tijolo e o reboco também constituem duas das formas fundamentais de construir neste país. Contudo não deixa de ser menos relevante o peso das fachadas em madeira que representam cerca de 10% do total dos edifícios novos unifamiliares nos E.U.A..

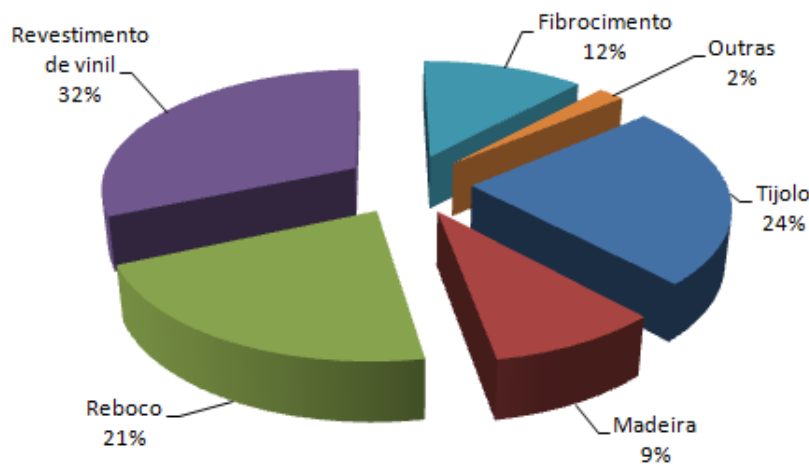


Figura 2.2. – Revestimento exterior de fachadas nos edifícios novos unifamiliares nos E.U.A., em 2008. [2]

Contudo, analisando com mais atenção os dados do gráfico, percebe-se sem dificuldade que através do tipo de revestimento da fachada muitas vezes se consegue perceber qual a estrutura resistente que lhe dá sustentação. Por exemplo, no caso do reboco facilmente se percebe que por baixo tem de existir uma alvenaria, embora esta possa não estar à vista. O que permite concluir que nos edifícios novos unifamiliares, no mercado Norte Americano, existe uma forte predominância das alvenarias, à vista ou rebocadas podendo atingir os 40-45% da quota de mercado. O mesmo se pode concluir em relação aos revestimentos de vinil, que também necessitam de uma estrutura resistente de suporte e que normalmente é a madeira, embora neste caso a correlação entre os revestimentos de vinil e a estrutura portante de madeira já não possa ser tão óbvia como na situação anterior, devido a outros sistemas compatíveis existentes. Contudo parece bastante óbvio que a madeira consegue uma quota de mercado relativamente superior a 10%, o que demonstra o sucesso desta solução construtiva leve.

Para concluir, e face ao referido acima, convém realçar o facto de nos E. U. A. a construção de edifícios residenciais assentar essencialmente em soluções à base de alvenaria resistente e de madeira, e que no estado da Califórnia o tipo de solução construtiva predominante é a construção em madeira, que é uma das formas da construção leve.

2.2.2.2. Alemanha

Iniciando agora a abordagem à situação na Alemanha, pode-se observar, através da figura 2.3., referente ao número de licenças emitidas para construção residencial, que na Alemanha o peso da construção em madeira (leve), ultrapassa os 11% e que o sector da construção residencial é maioritariamente dominado pela construção em alvenaria (construção pesada), seguida da construção em betão e metálica (também pesadas).

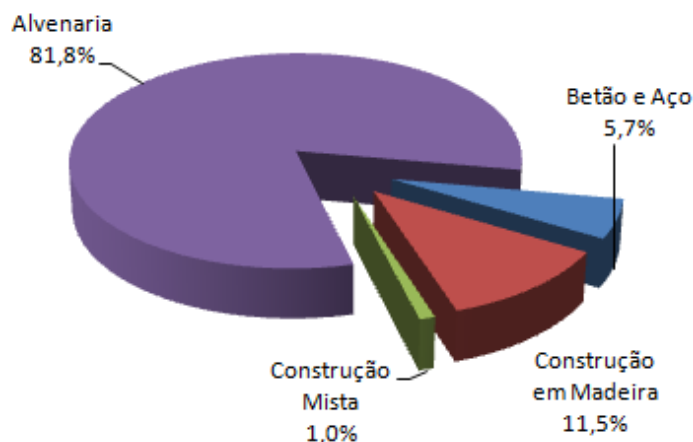


Figura 2.3. – Percentagens das licenças de construção emitidas para os diferentes tipos de construção, na Alemanha, no ano 2000. [1]

Analisando agora os dados referentes, não ao número de licenças emitidas, mas relativas ao volume da construção, figura 2.4., pode-se observar o aumento do peso da construção em alvenaria e da construção em betão e aço, e uma redução da opção da construção em madeira, o que sugere que as construções em madeira são preferencialmente utilizadas na Alemanha para edifícios residenciais de pequeno porte. Com efeito embora o número de licenças obtidas seja cerca de 11,5% do total das licenças emitidas, a percentagem do volume de construção em relação ao volume total da construção residencial Alemã não vai além dos 8,8 %.

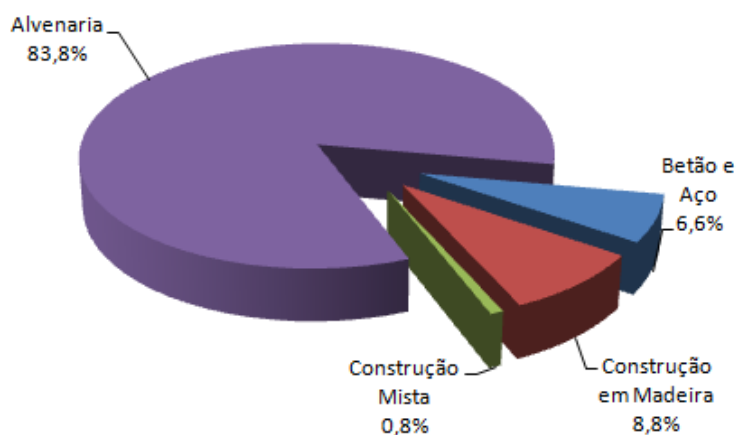


Figura 2.4. – Percentagens dos diferentes tipos de construção em edifícios residenciais em volume, na Alemanha, no ano 2000. [1]

Em relação aos custos de cada um dos diferentes tipos de construção também se podem tirar algumas conclusões interessantes, pela análise da figura 2.5. Em relação à construção em alvenaria ou em betão e aço conclui-se que os custos com este tipo de construção estão em linha com os volumes de construção realizados, no entanto, o mesmo não acontece com a construção em madeira, cujas percentagens de custos em relação aos custos globais ultrapassam as percentagens em volume de construção realizados, relativamente aos volumes globais, algo que sugere que na Alemanha os custos das habitações construídas em madeira (construção leve) são mais elevados do que as restantes edificações construídas noutros materiais, o que contraria as expectativas de que a construção em madeira fosse mais económica, pelo menos no caso Alemão.

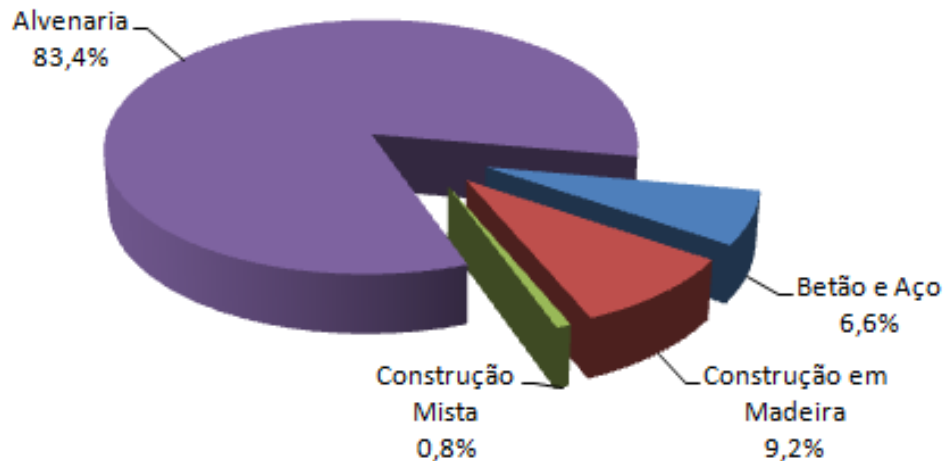


Figura 2.5. – Percentagens dos custos dos diferentes tipos de construção, em relação ao total dos custos de construção, em edifícios residenciais, na Alemanha, no ano 2000. [1]

2.2.2.3. Países Nórdicos

Ao analisar agora o sector da construção nos Países Nórdicos ir-se-á focar esta análise no caso da Finlândia, embora a situação em países como a Dinamarca, Suécia e Noruega não seja muito diferente, motivo aliás pelo qual se deu o nome a este subcapítulo “Países Nórdicos” e não, simplesmente, Finlândia.

Como se pode verificar através da observação da figura 2.6. existe uma predominância da construção em madeira (leve) na Finlândia, logo seguida da construção pré-fabricada de betão. Pode também observar-se que a utilização da madeira tem vindo a decair e a ser substituída pela utilização do aço e da pré-fabricação em betão.

Em relação ao aço e ao betão pode-se concluir que a sua utilização ronda os 15% no caso do aço e que tem vindo a aumentar, e os 10% no caso do betão, que se tem mantido mais ou menos estável.

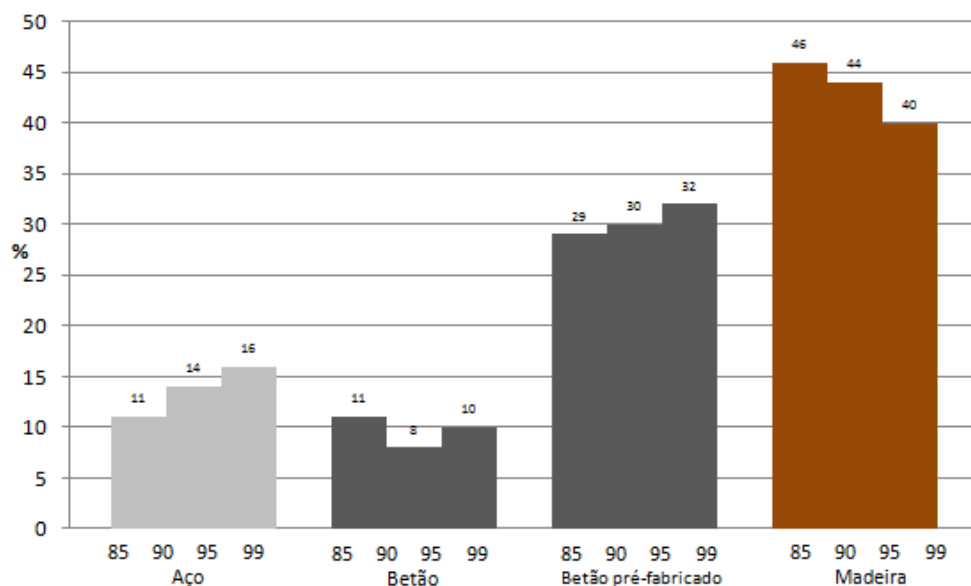


Figura 2.6. – Percentagens dos tipos de materiais utilizados na edificação de edifícios unifamiliares na Finlândia. [1]

No caso dos edifícios residenciais de vários pisos, os materiais de construção mais empregues são a pré-fabricação em betão e o próprio betão, tendo o aço e a madeira importâncias residuais, tal como a figura 2.7. sugere. Isto significa que a madeira e o aço são especialmente empregues nos edifícios residenciais de pequeno porte, e pela comparação destes dados se conclui que predomina nos países nórdicos a construção de pequeno porte.

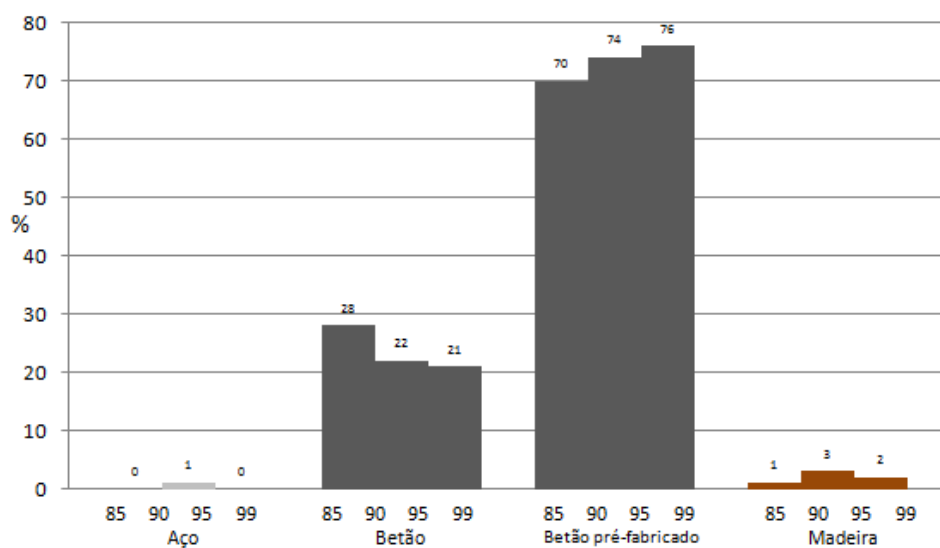


Figura 2.7. – Percentagens dos tipos de materiais utilizados na edificação de edifícios residenciais de vários andares na Finlândia. [1]

Já no que se refere ao revestimento exterior dos edifícios, pode-se visualizar na figura 2.8., que se refere aos materiais utilizados nas fachadas de edifícios até dois pisos, que nos últimos anos o betão e os tijolos têm vindo a perder quota de mercado para as soluções à base de madeira e aço.

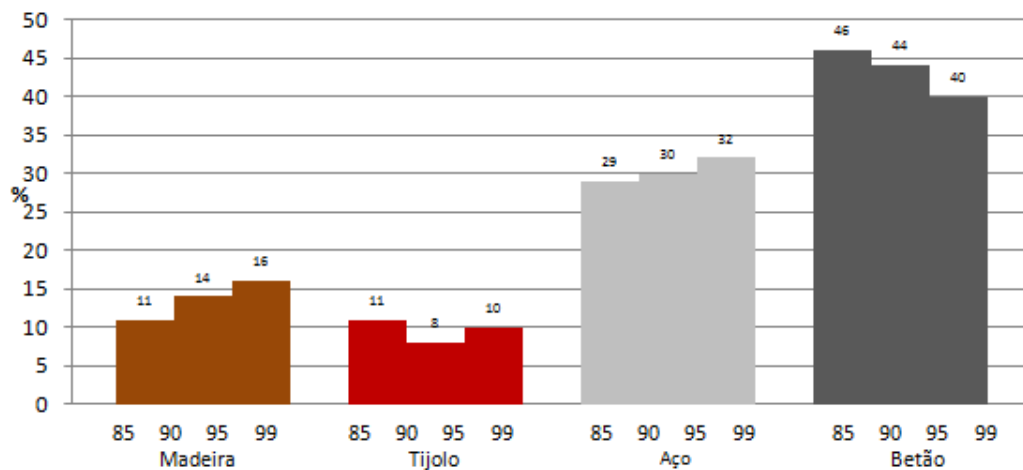


Figura 2.8. – Materiais utilizados nas fachadas de edifícios unifamíliares na Finlândia. [1]

Para os edifícios habitacionais de blocos de apartamentos, ver figura 2.9., é evidente que o mercado é dominado quase exclusivamente pelas soluções de fachadas que têm por base o tijolo ou o betão, sendo que o tijolo tem vindo a perder quota de mercado para o betão, que tem ganho na mesma proporção. Daqui também se pode inferir que as soluções empregues nas fachadas são muito próximas da solução da estrutura resistente do edifício, visto que para este segmento de edifícios a construção em madeira é desadequada, e o aço embora possa ser utilizado na estrutura dos edifícios, tem custo elevado.

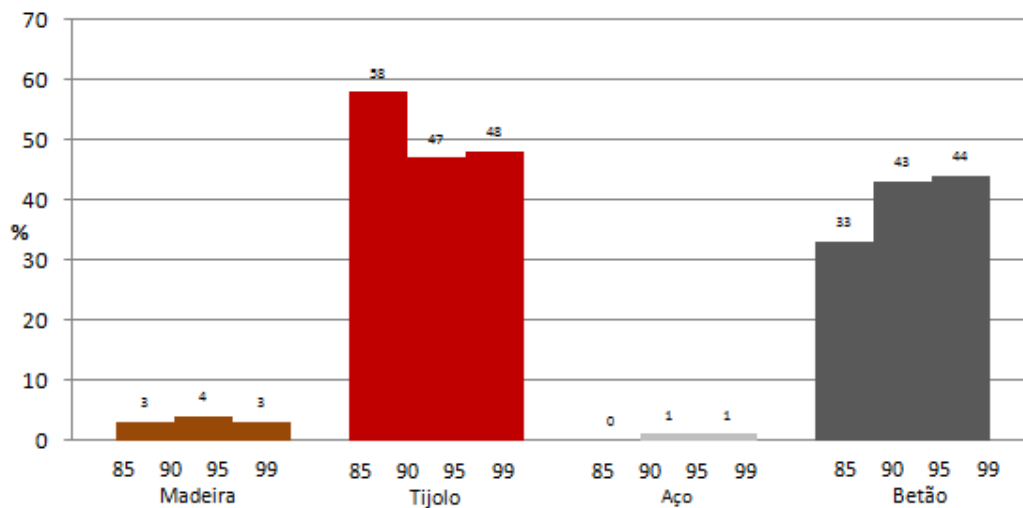


Figura 2.9. – Materiais utilizados nas fachadas de edifícios residenciais de vários pisos na Finlândia. [1]

Em resumo, podemos dizer que no caso finlandês a estrutura resistente preferencialmente adoptada para os edifícios é a madeira, no caso de edifícios até dois pisos, representando esta solução cerca de 2/3 do total do mercado. E que as soluções pré-fabricadas de betão representam cerca de 25% do mercado, como mostra a figura 2.10..

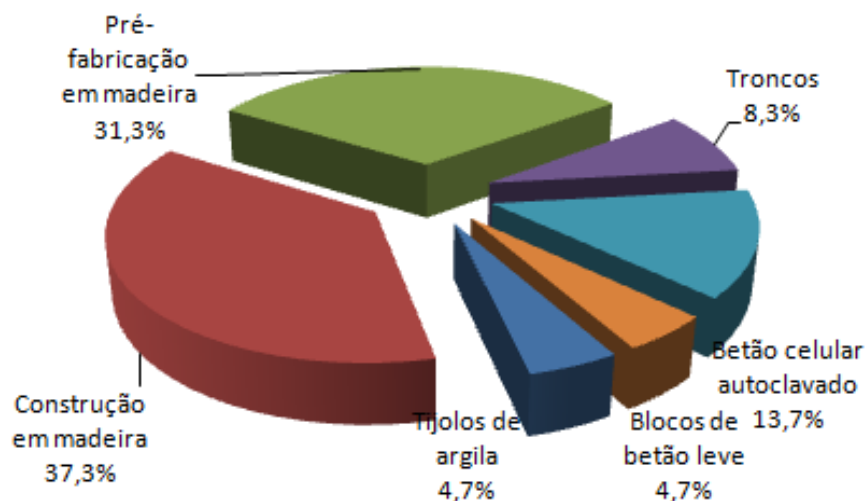


Figura 2.10. – Distribuição percentual dos materiais utilizados na estrutura resistente de edifícios de pequeno porte. [1]

Já no que diz respeito às soluções empregues nas fachadas já não existe uma predominância tão forte das soluções em madeira, embora a sua quota de mercado ainda seja superior a 50%. Nota-se, através da figura 2.11., que para a envolvente exterior a utilização de soluções à base de tijolos torna-se mais expressiva.

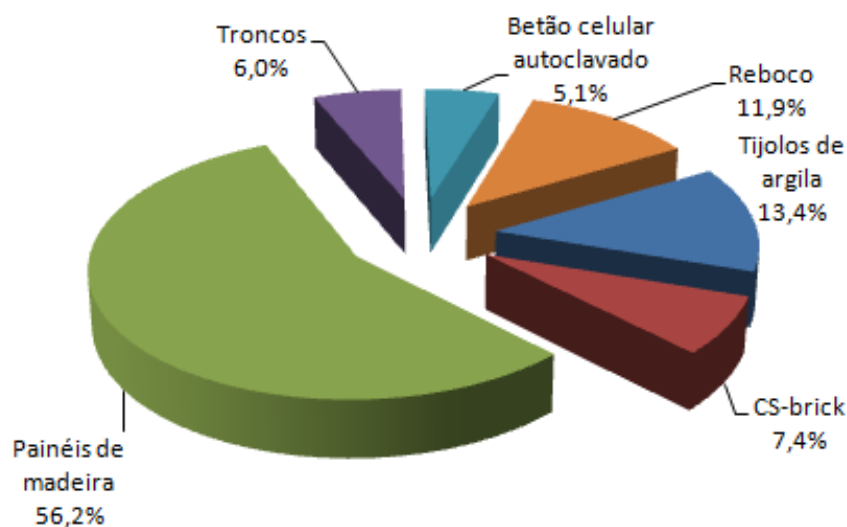


Figura 2.11. - Distribuição percentual dos materiais utilizados na fachada de edifícios de pequeno porte. [1]

2.2.2.4. Portugal

Segundo os dados disponíveis para Portugal, que datam de 2001 e representam o paradigma anterior à crise, cerca de 75% dos edifícios em construção destinavam-se à habitação, conforme demonstra a figura 2.12.

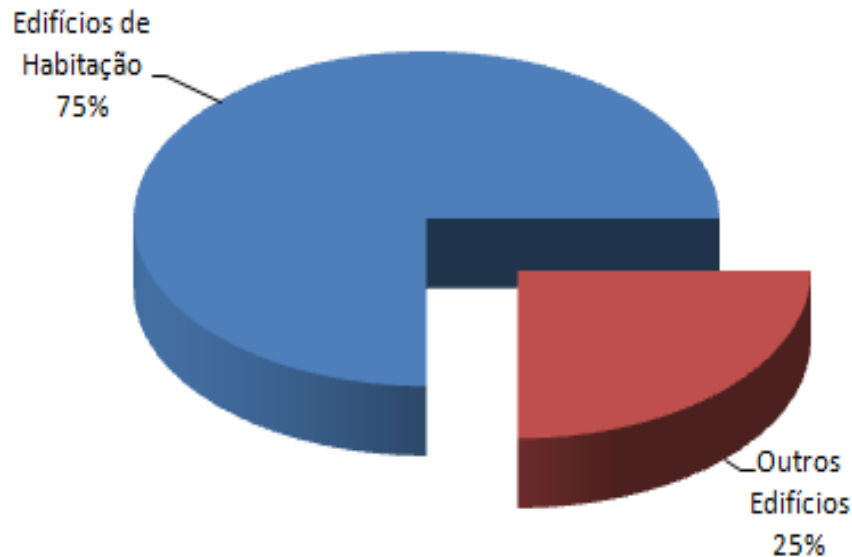


Figura 2.12. – Construção de edifícios em Portugal. [1]

Tendo presente que uma grande parte das construções eram habitações uni-familiares ou bi-familiares, seria expectável que na construção em Portugal existisse uma grande percentagem de edifícios, face ao total dos edifícios habitacionais, cuja estrutura resistente fosse materializada por alvenaria ou madeira. Contudo, pela análise da figura 2.13. percebemos que tal não se verifica.

Em Portugal cerca de 90% dos edifícios habitacionais são realizados em betão armado, no entanto é sabido que este tipo de construção nem sempre é o mais adequado sob o ponto de vista económico e que inclusivamente tem estado na origem de muitas das patologias nas construções. Também não é conhecida nenhuma razão especial justificativa desta opção. A principal explicação plausível para este facto é o elevado grau de conhecimento dos profissionais do sector das estruturas de betão armado, que os deixa mais à vontade para a realização deste tipo de edificações, do que para outros modos de construir.

Também pela análise da figura 2.13. se percebe que o facto anteriormente mencionado só se verifica de forma tão acentuada em Portugal, e que embora também na Itália se faça notar uma influência forte das estruturas à base de betão armado, esta não é tão expressiva como em Portugal.

Ainda pela análise da figura 2.13. consegue-se observar que na Dinamarca e no Luxemburgo a principal forma de construir não tem por base as estruturas de betão armado, mas antes a construção em alvenaria resistente.

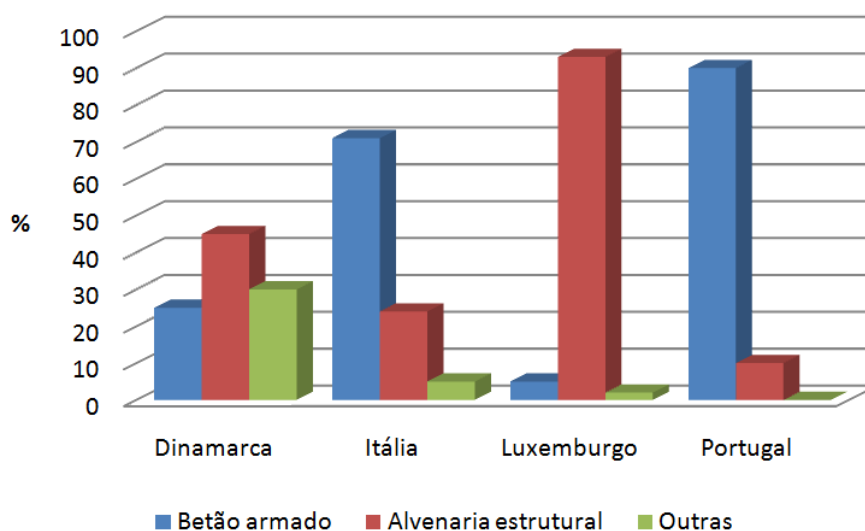


Figura 2.13. – Comparação entre estruturas de edifícios em alguns países europeus. [1]

2.3. CONSTRUÇÃO LEVE VERSUS CONSTRUÇÃO PESADA

Tendo ainda presentes as diferentes opções construtivas de cada país, analisadas no subcapítulo anterior, torna-se oportuno efectuar agora uma comparação entre edifícios leves e pesados, sob os pontos de vista da sua adaptabilidade aos diferentes tipos de clima, da diferença de peso entre uma solução e a outra e por fim das vantagens e desvantagens que cada solução apresenta.

Uma questão importante que se poderá colocar neste momento é quando é que um dado elemento de construção é considerado leve ou pesado? Neste momento não está estabelecido por nenhum organismo ou entidade oficial a fronteira que define se um dado elemento é considerado leve ou pesado. Para efeitos deste trabalho e como se está a abordar o desenvolvimento de sistemas de construção de paredes leves em edifícios e também como uma das características essenciais do desempenho da parede se prende com a questão da inércia térmica dos edifícios, ir-se-á basear o balizamento entre uma solução leve, média ou pesado no conceito de inércia térmica fixado no “Regulamento das características de comportamento térmico de edifícios” – RCCTE [3].

Dada a importância da massa no comportamento em termos de inércia térmica dos edifícios, convém procurar saber, entre os tipos de clima mais comuns, aqueles em que uma habitação leve poderá ter um desempenho mais adequado. Para a situação de Portugal, com um clima temperado deve-se procurar soluções construtivas olhando ao local e às estratégias de climatização dos utentes do edifício e no geral procurar soluções com bom isolamento térmico. Pode-se ainda considerar a existência de dois tipos de clima no país, um clima temperado-ameno ao longo da faixa litoral com temperaturas amenas durante todo o ano, e outro clima no interior, temperado-frio, com uma baixa humidade relativa e amplitudes térmicas mais acentuadas e Invernos mais frios. Sendo assim são recomendáveis soluções construtivas de elevada inércia térmica na faixa litoral do país e ainda mais recomendáveis no interior, dada a maior amplitude térmica diurna no interior do país.

Observando agora o comportamento de uma habitação leve noutro tipo de clima, como um clima quente e seco, é aconselhável o recurso a soluções de inércia térmica elevada, dadas as fortes variações térmicas diurnas que se verificam neste tipo de climas. Num clima tropical (quente e húmido) a humidade relativa elevada existente no ar atenua as variações térmicas existentes, fazendo com que não exista uma grande flutuação de temperatura entre os picos de

temperatura diurna e a temperatura mínima verificada após o pôr-do-sol. Como tal é recomendável o emprego de soluções de baixa inércia térmica, sendo recomendáveis edifícios de construção leve e bem isolados termicamente. Em relação aos climas frios é recomendável a utilização de soluções com um isolamento térmico elevado e uma inércia térmica adequada à utilização do edifício. Elevada, caso o edifício se destine a ser utilizado continuamente, ou fraca, no caso de o edifício se destinar a utilizações esporádicas, pois a elevada inércia térmica nos edifícios ocupados de forma intermitente atrasa o aquecimento dos compartimentos interiores até se atingir uma temperatura de conforto agradável, tendo como consequência o aumento dos gastos de energia no aquecimento da habitação. Já nos edifícios ocupados de forma continuada sucede exactamente o contrário, em que a elevada massa das soluções construtivas atrasa o arrefecimento dos edifícios e permite uma poupança nos gastos energéticos.

Para este caso será utilizada uma definição um pouco diferente da empregue no RCCTE. Enquanto que a inércia térmica no RCCTE se refere à massa da parede interior ao isolamento térmico por m^2 de pavimento, no presente trabalho ir-se-á considerar a massa total da parede, desde a superfície exterior até à superfície interior, incluindo quaisquer materiais ou isolantes no seu interior, e também a massa das paredes divisórias que possam existir no interior do edifício, por m^2 de pavimento.

Em relação aos valores limites, tal como para a inércia térmica considera-se inércia térmica fraca para paredes com menos de 150 kg/m^2 , inércia térmica média para paredes entre os 150 kg/m^2 e 400 kg/m^2 , e inércia térmica forte para paredes com mais de 400 kg/m^2 , também se irá considerar, para efeitos do presente trabalho, paredes leves aquelas que tiverem massa inferior a 150 kg/m^2 de pavimento, paredes médias as que estiverem entre os 150 kg/m^2 e 400 kg/m^2 e paredes pesadas as que possuírem mais de 400 kg/m^2 .

Seguidamente ir-se-á procurar evidenciar de forma inequívoca as diferenças de massa de construção entre duas soluções construtivas distintas, uma recorrendo a uma estrutura reticulada típica de betão armado com alvenaria de preenchimento e outra recorrendo a uma solução de construção leve.

Tendo presentes os objectivos da presente demonstração e do seu enquadramento na dissertação, entendeu-se que não faria muito sentido um estudo aprofundado do assunto, motivo pelo qual se limitou o estudo apenas em relação às paredes exteriores e interiores, envidraçados, pavimentos e revestimentos de piso, tendo ficado excluído do presente trabalho tudo o resto, por se considerar que não teriam uma importância suficientemente relevante para impor significativas alterações aos resultados finais e porque seriam iguais em ambos os tipos de construção.

Para uma correcta correlação entre ambos os sistemas construtivos partiu-se de um projecto de uma habitação já existente em estrutura reticulada de betão armado, uma construção pesada, e procedeu-se ao cálculo do seu peso por metro quadrado de pavimento, ver quadro 2.2. Posteriormente e utilizando o mesmo projecto de arquitectura fez-se o mesmo estudo de quantificação do peso da construção por metro quadrado de pavimento, mas desta vez supondo que as paredes e pavimentos eram materializados por uma solução em construção leve com estrutura metálica revestida por materiais utilizados frequentemente em construções leves, conforme o quadro 2.3. Através deste estudo obteve-se a diferença de massa que se consegue atingir fazendo variar o tipo de construção por m^2 de área bruta.

Quadro 2.2. – Peso de uma habitação de dois pisos em sistema de construção tradicional.

			Unidades	Quantidade	Peso Unitário (kN/m²)	Total (kN)
R/ch	Paredes Exteriores	Parte Opaca (1)	m²	107,02	4,3	460,19
		Aberturas (2)	m²	39,38	0,25	9,85
	Paredes Interiores	Parte Opaca (3)	m²	83,4	2,03	169,30
	Laje de tecto R/ch (4)		m²	136,92	4,3	588,76
1º Andar	Paredes Exteriores	Parte Opaca (1)	m²	122,18	4,3	525,37
		Aberturas (2)	m²	20,02	0,25	5,01
	Paredes Interiores	Parte Opaca (3)	m²	129,3	2,03	262,48
	Laje de tecto 1º Andar (5)		m²	126,36	4,4	555,98
				Total (kN/m²)		9,91

(1) Para a zona opaca das paredes exteriores considerou-se parede de tijolo vulgar (15+11cm), rebocada em ambas as faces e caixa de ar intermédia de 2cm, com uma espessura total de 30cm.

(2) Para os vãos envidraçados considerou-se vidros duplos de 6+4mm.

(3) Para a zona opaca das paredes interiores considerou-se parede de tijolo vulgar (11cm), rebocada em ambas as faces, com uma espessura total de 14cm.

(4) Para os pavimentos da laje de tecto do R/ch considerou-se uma laje aligeirada de 25cm de espessura com blocos cerâmicos apoiados em vigotas. Adicionou-se 0,5 kN/m² para revestimentos de piso em madeira maciça.

(5) Para a laje de tecto do 1º andar considerou-se uma laje aligeirada de blocos cerâmicos apoiados em vigotas, com 25cm de espessura. Acrescidos de 0,6 kN/m² para revestimentos de cobertura em telha cerâmica.

Quadro 2.3. – Peso de uma habitação de dois pisos em sistema de construção leve.

			Unidades	Quantidade	Peso Unitário (kN/m²)	Total (kN/m²)
R/ch	Paredes Exteriores	Parte Opaca	m²	107,02	0,46	49,53
		Aberturas	m²	39,38	0,25	9,85
	Paredes Interiores	Parte Opaca	m²	83,4	0,25	21,08
	Laje de tecto R/ch		m²	136,92	0,82	112
1º Andar	Paredes Exteriores	Parte Opaca	m²	122,18	0,46	56,54
		Aberturas	m²	20,02	0,25	5,01
	Paredes Interiores	Parte Opaca	m²	129,3	0,25	32,68
	Laje de tecto 1º Andar		m²	126,36	0,82	103,36
				Total (kN/m²)		1,48

Para a elaboração do quadro 2.3. considerou-se que uma construção com cerca de 260m² terá cerca de 1700m de perfis ou montantes verticais, 660m de vigas de piso, 660m de vigas de cobertura e 1000m de canais, e que para as paredes cada perfil pesa cerca de 700g/mL e tem cerca de 6mL/m² de parede donde resulta 0,04kN/m² (só da estrutura metálica). Para os pavimentos cada perfil pesa cerca de 4kg/mL e tem cerca de 5mL/m² de pavimento donde resulta 0,20kN/m² (só da estrutura metálica).

Os pesos e as espessuras dos materiais utilizados no quadro 2.3. são evidenciados no quadro 2.4.

Quadro 2.4. – Materiais, espessuras e pesos utilizados no quadro 2.3.

Material (espessura)	Peso (kN/m ²)
Placa OSB (11mm)	0,07
Gesso Cartonado	0,08
Lã de vidro (40mm)	0,048
Poliestireno expandido (40mm)	0,012
Reboco delgado (10mm)	0,21

Conforme se pode constatar através da visualização dos quadros acima apresentados, enquanto uma construção corrente pode atingir uma massa de cerca de 900 a 1000 kg/m², a mesma habitação construída em sistema de construção leve pode apresentar uma massa por metro quadrado de pavimento a rondar os 150 kg/m², o que revela uma diferença de 6 a 7 vezes no peso da construção de um sistema para o outro. Uma diferença tão acentuada ao nível do sobre dimensionamento a que obriga as estruturas inferiores para suportar o excesso de carga proveniente dos pisos superiores, com o acréscimo de custos que esse mesmo sobre dimensionamento acarreta. Com um tipo de construção mais leve esse sobre dimensionamento dos pisos inferiores, devido à carga permanente induzida pelo peso da estrutura de betão armado e das alvenarias, já não necessitará de ser tão acentuado, o que se repercutirá numa significativa poupança de materiais e consequentemente de custos.

No geral, as soluções de construção leves em edifícios de pequeno porte apresentam como principais características o facto de apresentarem reduzida massa por m² de pavimento, o que as torna fáceis de manipular para os profissionais da construção civil, e ocuparem menos espaço que as paredes tradicionais, permitindo assim que se consiga disponibilizar mais área útil para usufruto dos utilizadores dos espaços interiores delimitados por este tipo de soluções construtivas. Pelo factor económico também são esperadas vantagens como a redução dos custos com as edificações, que embora no nosso país isso ainda não seja a realidade, principalmente motivada pela fraca concorrência que se verifica neste tipo de segmento no sector, mas que tendencialmente se espera que se vá esfumando, à medida que a solução se torna mais conhecida dos profissionais do sector, como engenheiros, arquitectos, promotores, etc. e do público em geral, à semelhança do que já aconteceu noutros países como os E.U.A. e nos países nórdicos.

Também à medida que se intensifica a industrialização do sector da construção através da quantidade cada vez maior das soluções construtivas que têm por base a pré-fabricação na Europa, e o facto de Portugal ser muito influenciado pelo mercado Europeu dado fazer parte dos países da Comunidade Europeia (CE), e sendo a construção uma actividade económica de relevo em qualquer país e sujeita a sistemas de normalização nacionais e europeus, não seria de estranhar um aumento da procura de soluções à base da pré-fabricação por parte do sector da construção em Portugal.

Seguidamente são apresentados dois quadros resumo com as vantagens e desvantagens de cada tipo de construção, leve e pesada.

Quadro 2.5. – Vantagens e desvantagens da construção pesada.

Construção Pesada	
Vantagens	Desvantagens
➤ Inércia térmica elevada ➤ Bom isolamento acústico ➤ Economia na utilização sob o ponto de vista das necessidades de aquecimento ➤ Melhor conhecimento das soluções pelos profissionais do sector ➤ Maior controlo normativo das soluções	➤ Tempo de construção mais demorado ➤ Custos tendencialmente mais elevados de construção ➤ Baixo controlo da qualidade dos materiais ➤ Dificuldades na industrialização do sector ➤ Complexidade das soluções ➤ Surgimento de variadas patologias ➤ Impacte ambiental elevado

Quadro 2.6. – Vantagens e desvantagens da construção leve.

Construção Leve	
Vantagens	Desvantagens
➤ Impacte ambiental mais reduzido. ➤ Maior economia na construção dos edifícios. ➤ Simplicidade construtiva. ➤ Ausência de muitas das patologias mais conhecidas na construção. ➤ Rapidez de execução. ➤ Facilita a industrialização do sector. ➤ Bom desempenho dos edifícios em caso de sismo. ➤ Facilidade na manipulação dos materiais. ➤ Elevado controlo dos materiais em fábrica.	➤ Custos de utilização, sob o ponto de vista das necessidades de aquecimento, potencialmente elevados. ➤ Baixo nível de conhecimento das características de muitas das soluções. ➤ Necessidade de mão-de-obra especializada ➤ Maior necessidade de manutenção.

2.4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS LEVES

O conceito de construção leve teve origem nos Estados Unidos da América durante o século XIX, numa altura em que a população teve um forte crescimento e era necessário solucionar o problema da construção residencial de forma a dar resposta às necessidades do mercado. Nessa altura a forma que se desenvolveu para dar resposta a essa necessidade foi a construção de habitações em madeira.

As construções em madeira revelaram-se muito eficazes e económicas na época, dada a abundância de florestas onde era possível encontrar madeiras em grandes quantidades e de boa qualidade para a construção.

Posteriormente, após o final da II Grande Guerra Mundial e o consequente arrefecimento da indústria metalúrgica devido à diminuição drástica da procura de aço por parte do sector militar, as indústrias metalúrgicas dos Estados Unidos da América entraram em crise e surgiu a necessidade de empregar aço noutras indústrias como forma de manter a estabilidade no sector. Surgiu assim a introdução do aço na indústria da construção nos Estados Unidos da América, a par com restrições ambientais no abate de árvores.

2.4.1. CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

Nos edifícios residenciais de pequeno porte o material mundialmente mais utilizado para efectuar a estrutura resistente é a madeira, ver figura 21.14. Como tal, torna-se fundamental que se comece por falar um pouco deste material para que se possam conhecer melhor as suas características e se consiga aferir o seu comportamento como material estrutural.



Figura 2.14. – Construção leve em madeira.

A madeira é um produto de origem natural com características muito próprias, dado ser um material heterogêneo e fortemente anisotrópico. A madeira obtém-se por transformação a partir das árvores, mais concretamente do tronco (ou caule), por corte que pode ser de três tipos: tangencial, radial e axial. Existem duas grandes famílias de árvores, as Gimnospérmicas (ou Resinosas) e as Angiospérmicas (ou Folhosas), que por sua vez se subdividem noutros grupos dos quais poucos dão madeira apropriada para a concepção de estruturas. As espécies Resinosas que produzem madeira boa para estruturas de madeira são o Pinheiro, o Abeto, o Cedro e o Cipreste e as espécies Folhosas que também produzem boa madeira são o Castanheiro, o Eucalipto, o Carvalho e a Nogueira.

Nem toda a madeira proveniente do tronco da árvore é aproveitável para efeitos de construção, na verdade das várias camadas constituintes do tronco apenas as duas mais interiores é que são aproveitáveis. A camada mais interior, o cerne, é constituída por células mortas no momento do abate da árvore e dá origem a madeira de boa qualidade para o uso na construção. Por sua vez o borne, que envolve exteriormente o cerne que é composto por células vivas no momento do abate da árvore já apresenta uma madeira mais susceptível de gerar problemas de ataques de agentes xilófagos, no entanto estes problemas podem ser hoje em dia resolvidos através da impregnação da madeira com insecticidas, fazendo com que a madeira do borne atinja parâmetros de qualidade semelhantes aos da madeira do cerne.

Relativamente às propriedades da madeira propriamente ditas estas podem ser essencialmente de duas naturezas, física ou mecânica. Entre as propriedades de natureza física mais relevantes destacam-se o teor em água e higroscopicidade, a massa volúmica aparente e a retracilidade. Entre as propriedades mecânicas mais importantes destaca-se a reacção e resistência ao fogo, as resistências à tracção ou compressão axiais, a resistência à flexão estática, as resistências à tracção e compressão perpendicularmente às fibras, a resistência ao corte ou escorregamento, a dureza, a resistência à fadiga e a fluência.

Por outro lado também importa expor que as propriedades físicas não são constantes e invariáveis. Na verdade existem factores que podem fazer variar drasticamente as propriedades das madeiras como a espécie botânica, a localização do elemento de madeira no tronco da árvore, a existência de defeitos, o teor em água e a temperatura.

No quadro 2.7. estão evidenciadas as vantagens e desvantagens de uma construção em madeira.

Quadro 2.7. – Vantagens e desvantagens do uso da madeira.

Vantagens	Desvantagens
➤ As estruturas de madeira são mais eficientes em termos energéticos. ➤ Como a madeira é uma solução mais tradicional e já é empregue desde longa data na construção, os construtores estão mais habituados a lidar com este material, pois conhecem melhor os métodos e as ferramentas para trabalhar com ele. ➤ A madeira é renovável e pode ser promovida a reflorestação das áreas onde haja a necessidade de se proceder ao abate de árvores, fazendo com que os ambientalistas considerem a construção em madeira como uma solução mais amiga do ambiente, dado que além disso também é biodegradável. ➤ Hoje em dia existem processos para tornar a madeira menos susceptível ao ataque dos insectos e aos danos causados pelo passar do tempo. ➤ Devido ao avanço dos processos de fabricação as espécies mais valiosas de árvores estão a ser substituídas no fabrico de componentes específicos.	➤ Por ser um produto natural a madeira apresenta anisotropia de características, nomeadamente em relação à sua resistência, além de apresentar falhas e nós. ➤ O facto de ser um material combustível. ➤ A madeira se não tiver o tratamento necessário está vulnerável ao ataque dos insectos.

2.4.2. CONSTRUÇÃO EM AÇO

Durante o séc. XX a tecnologia de construção de estruturas em aço (ou Steel Frame) tem sido utilizada para erigir as mais altas estruturas do Mundo, como são exemplo a Sears Tower em Chicago com 442 m, a Torre 101 na Formosa com 508 m e mais recentemente, ainda em construção, o Burj Dubai que tem neste momento 141 andares e 512m. Contudo é do censo comum que para a construção de edifícios do tipo residencial de pequeno porte resultaria da construção de estruturas em aço um desperdício de material e um excesso de robustez absolutamente anti-económicos. Por esse motivo tem surgido recentemente no mercado formas mais económicas de construir em aço, através do aligeiramento muito significativo dos perfis metálicos para que possam ser aplicados à construção residencial de forma mais económica, através da eliminação dos excessos de robustez que acabam por se materializar em desperdícios. A este tipo de construção com estrutura de aço aligeirada dá-se o nome de Light Steel Framing (LSF) ou construção em estrutura de aço leve, em português.

A adaptação deste produto às necessidades da construção tem-se revelado bastante proveitoso, pois conseguiu-se tornar a construção residencial exequível do ponto de vista económico e até com algumas vantagens face à anterior solução de construção em estrutura de madeira, como a resistência e durabilidade do aço, a sua constância de propriedades, preços mais estáveis, manutenção das características de conforto térmico e acústico das anteriores soluções em madeira, menor impacto sobre o ambiente dada a possibilidade de reutilização do aço. Contudo

e apesar de todas estas vantagens a construção em aço leve continua pouco desenvolvida no nosso país e ainda com relativamente pouca expressão a nível mundial, quando comparada com a sua concorrente em madeira, facto que se justifica pelo preço relativamente mais elevado das soluções em aço leve.

2.4.2.1. Aço leve

A tecnologia construtiva em estrutura de aço leve é realizada através de perfis metálicos que definem uma malha de montantes e vigas que conferem às paredes uma função resistente em tudo análoga às estruturas resistentes em madeira. Os perfis metálicos resultam de uma liga metálica à base de aço de alta resistência, que por sua vez passa por um processo de galvanização por imersão em zinco quente. A configuração dos perfis metálicos é variável, tanto em espessura, que pode variar entre os 0,8 e os 1,5 mm para paredes, mas que pode ir até aos 2,5 mm para coberturas e vigas de piso, como em geometria, desde secções quadrangulares vazadas, cantoneiras, perfis “T”, “U”, etc. Também a furação dos perfis pode ser variável, bem como o espaçamento entre as peças metálicas ou as possibilidades de conexão entre os perfis, sempre de acordo com o fim a que se destina a construção e de acordo com a legislação em vigor estabelecida nos Eurocódigos 0, 1 e 3.

A realização de um edifício com estrutura em aço galvanizado leve segue o modelo já descrito para a construção através de uma solução de estrutura de andar em madeira, com a substituição dos montantes e vigas de madeira por perfis metálicos, ficando o resto em termos de revestimentos e acabamentos em tudo semelhantes a uma estrutura de madeira. Na figura 2.15. está evidenciada uma estrutura em aço galvanizado leve antes da aplicação dos revestimentos.



Figura 2.15. – Exemplo de estrutura em aço galvanizado leve antes da aplicação de revestimentos.

Resumidamente são apresentadas no quadro 2.8. as principais vantagens e desvantagens relativamente ao uso do aço leve na construção de edifícios de pequeno porte.

Quadro 2.8. – Vantagens e desvantagens do uso do aço leve.

Vantagens	Desvantagens
➤ No aço é muito constante a tensão de resistência e pode ser moldado ou soldado para se obter a geometria pretendida. ➤ Apresenta elevada resistência. ➤ O aço é reciclável, sendo necessários apenas cerca de 6 veículos de sucata para conceber a estrutura metálica para uma casa. ➤ Não é combustível. ➤ É resistente a insectos. ➤ Não sofre efeitos de fluência com o passar do tempo de forma tão acentuada como a madeira. ➤ Existência de elevada padronização na indústria, como nos conectores, nas furações para a fiação, etc. ➤ Em regra apresenta preços mais constantes.	➤ O aço apresenta menor eficiência energética devido ao facto de ser um bom condutor do calor. ➤ Pode chegar a despendar mais 17% de energia para produzir a estrutura metálica, do que uma casa convencional. ➤ Pode dar origem a condensações nas paredes e causar bolor e mofo, devido ao facto de o metal ser um bom condutor do calor. Este problema pode ser resolvido através da aplicação de isolamento na superfície externa das paredes. ➤ Sendo a construção metálica algo ainda recente na construção, os construtores ainda estão pouco à vontade no cálculo de estruturas, e com os métodos de construção. ➤ O comportamento deste tipo de estruturas não é ainda muito claro no que respeita à possibilidade de ocorrência de inundações, dado que as águas muitas vezes contêm contaminantes corrosivos, ou sais, que podem danificar as estruturas de aço, mesmo as de aço galvanizado. Não sendo ainda conhecido nenhum estudo referente a este tipo de situação.

2.4.3. SOLUÇÕES ESTRUTURAIS LEVES

2.4.3.1. ESTRUTURA EM BALÃO

Os edifícios residenciais, até dois pisos, podem ser realizados através de uma estrutura resistente em “balão”, em que a fachada do edifício é contínua desde a base até ao ponto mais alto do último piso. O que implica a utilização de peças de madeira com vários metros de desenvolvimento longitudinal, que só se conseguem obter a partir do abate de árvores muito antigas e com um custo de mercado relativamente avultado.

Este tipo de construção em madeira começou por ser o mais utilizado desde a adopção deste método construtivo por volta de 1920, contudo o seu predomínio não haveria de ser muito longo, dado que pouco tempo depois durante os anos 30, uma nova forma de construção em madeira, o *floor frame*, haveria de lhe retirar importância, sobretudo devido ao facto de já não ser necessário a utilização de peças de madeira com desenvolvimentos tão grandes, difíceis de encontrar no mercado e que como tal se tornam muito dispendiosas.

Na figura 2.16. está representada esquematicamente a diferença entre uma estrutura em balão e uma estrutura de pavimento.

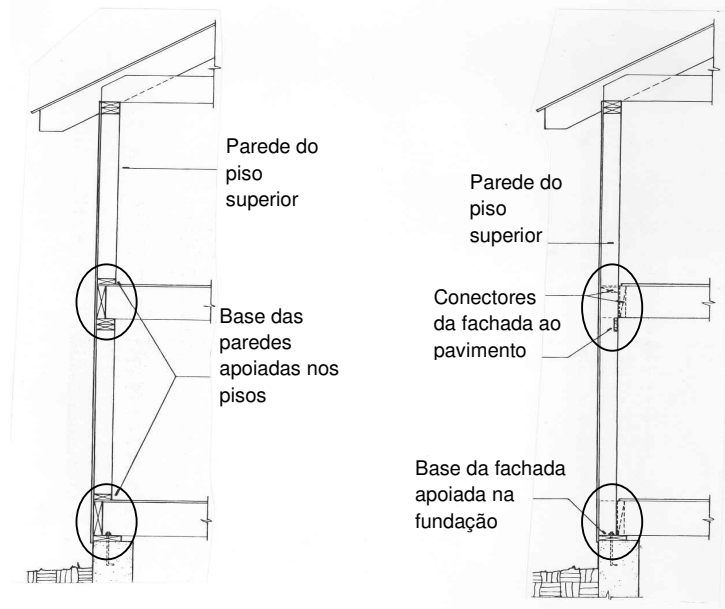


Figura 2.16. – Diferença entre uma estrutura de pavimento (esq.) e uma estrutura em balão (dir.). [4]

2.4.3.2. ESTRUTURA DE PAVIMENTO

Os edifícios até dois andares podem ser construídos através de dois métodos fundamentais, a estrutura em balão ou a estrutura de pavimento. Nos edifícios com mais de dois andares só é possível a aplicação do método construtivo em estrutura de pavimento. A estrutura de pavimento ou *floor frame* é neste momento o método mais utilizado na construção em madeira. Este método de construir apresenta significativas vantagens face ao método construtivo em balão, visto que é mais simples, permite uma maior economia na construção, por não necessitar de peças de madeira de grandes dimensões e dispendiosas, e porque, também em termos estruturais, possibilita uma maior simplicidade das ligações, maior robustez da estrutura e melhor comportamento face a acções como sismos ou ventos fortes.

Uma estrutura de pavimento caracteriza-se pelo facto de cada andar do edifício só poder ser edificado depois da estrutura resistente do piso inferior estar concluída, e por a estrutura do pavimento do piso superior ficar confinada entre as estruturas das paredes de fachada dos pisos inferior e superior.

De uma forma generalista e muito sucinta a forma de construir em madeira pelo método *floor frame* segue fundamentalmente os seguintes passos ilustrados na figura 2.17..

Começa-se por criar uma estrutura, possivelmente de betão armado, fundada no terreno para servir de fundação da estrutura de madeira.

Seguidamente sobre essa estrutura de betão apoia-se um sistema de vigas de madeira para formar o pavimento do R/ch.

Estando a estrutura do pavimento do R/ch realizada avança-se para a colocação sobre esta dos montantes que formam a estrutura resistentes das paredes do R/ch e que posteriormente são revestidas com aglomerados de madeira apenas de um dos lados, ou do lado exterior no caso das paredes de fachada, deixando o outro lado ainda aberto.

Neste momento pode-se avançar para o piso superior, se for caso disso, através da colocação de novo sistema de vigas e da repetição dos procedimentos já enumerados para o piso inferior.

Por fim basta colocar a cobertura para que a estrutura do edifício fique completa.

Depois de realizar as instalações necessárias e fechar as paredes com a colocação do segundo aglomerado de madeira, o edifício entra logo em fase de acabamentos, como um edifício de outro qualquer sistema construtivo.

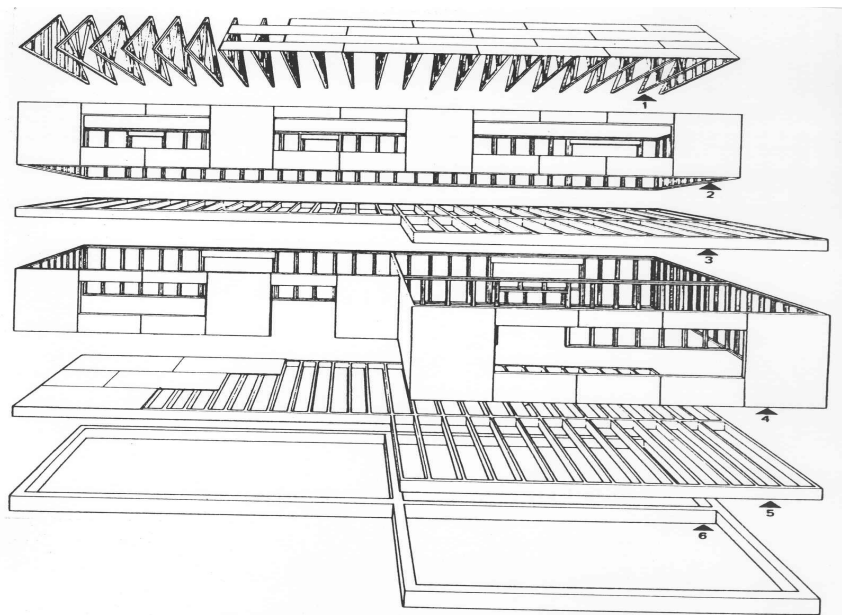


Figura 2.17. – Representação esquemática de uma estrutura em plataforma com dois pisos. [Faria, 1999]

2.5. PRÉ-FABRICAÇÃO

O sistema de construção leve exposto anteriormente e fortemente aplicado no mercado como sendo uma estrutura pré-fabricada. De um modo muito generalista e pouco rigoroso pode-se dizer que os sistemas construtivos leves mais correntemente empregues na construção de edifícios de pequeno porte, essencialmente de madeira ou metálicos, são de fáceis de adaptar a sistemas de pré-fabricação. Por esse motivo, e pelo facto de o objectivo do presente trabalho ser o desenvolvimento de soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte, pensa-se que fará todo o sentido procurar fazer neste subcapítulo uma breve descrição a respeito da pré-fabricação, sob o ponto de vista da industrialização da construção, dos sistemas disponíveis, de que modo poderá a pré-fabricação contribuir para o desenvolvimento de fachadas leves para edifícios e as vantagens e inconvenientes da pré-fabricação.

O contexto económico da construção actual difere significativamente do da construção no passado. Actualmente verifica-se um aumento relativamente baixo dos preços dos materiais de construção acompanhado de um forte acréscimo das despesas com a mão-de-obra, que está em consonância com o aumento da qualidade de vida da população. Isto causa portanto um aumento dos preços da construção, o que faz com que exista a necessidade de procurar reduzir os custos da construção através de novos métodos construtivos, apoiados na industrialização do sector da construção, aumentando a capacidade de produção através do aumento da sua eficiência.

Existe no sector da construção, uma certa confusão entre os conceitos de industrialização da construção e de pré-fabricação que convém, antes de mais, procurar clarificar. A pré-fabricação é bastante anterior à industrialização, e já era utilizada na construção tradicional e é utilizada na

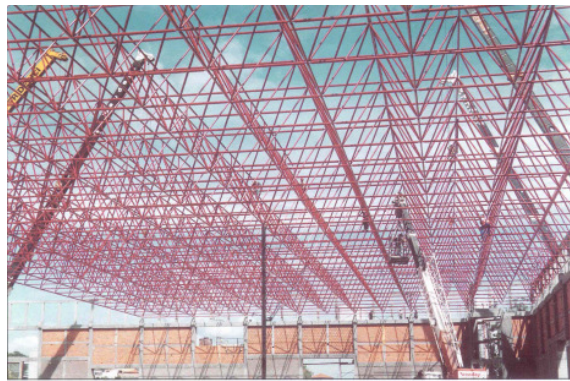
actualidade como uma ferramenta para atingir os objectivos da industrialização. Trata-se de um conjunto de estratégias que procuram otimizar o sector da construção aproximando-o dos modelos de gestão das estruturas fixas produtivas. A industrialização atinge-se essencialmente através de três vias fundamentais, a pré-fabricação, a racionalização da construção e a mecanização:

- A pré-fabricação define-se como sendo uma forma de fabrico industrial, fora do local da obra, de elementos que depois são transportados para o local da obra e utilizados na construção sob distintas formas de montagem;
- A racionalização da construção caracteriza-se por um conjunto de atitudes que visam aumentar a produtividade global através do aumento da produtividade de cada uma das suas tarefas elementares;
- A mecanização da construção procura obter os resultados anteriores, ou seja, o aumento da produtividade, por via da substituição de parte da mão-de-obra, por máquinas.

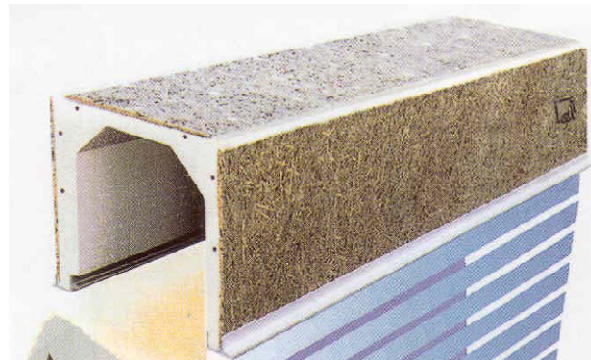
Por sua vez o conceito de pré-fabricação volta a subdividir-se para melhor conseguir acomodar as diferenças significativas entre os vários tipos de pré-fabricação, a saber, a pré-fabricação pesada, quando os seus elementos ou componentes têm peso significativamente elevado, normalmente peças de betão armado de grandes dimensões, a pré-fabricação leve quando os elementos apresentam peso reduzido e estão sujeitos a pequenas operações de montagem no local da obra, e o recurso a argamassas é mínimo, e a pré-fabricação ligeira quando se empregam em obra elementos fabricados fora do local da obra, que são posteriormente colocados em obra através de técnicas específicas para cada componente. Na figura 2.18. estão representados os três tipos de pré-fabricação, a saber, pesada, leve e ligeira.



a) Pré-fabricação pesada



b) Pré-fabricação leve



c) Pré-fabricação Ligeira

Figura 2.18. – Tipos de pré-fabricação.

Além disso a pré-fabricação pode ser total, no caso de toda a obra ser realizada recorrendo a elementos/componentes fabricados noutra local e mais tarde transportados e colocados em obra, ou parcial, caso coexistam partes da obra em elementos pré-fabricados e outros em construção tradicional efectuados em obra.

Por outro lado a pré-fabricação pode ser implementada numa obra através de duas vias fundamentais, a pré-fabricação aberta ou fechada, consoante seja admissível por parte de um determinado sistema de pré-fabricação a utilização de elementos ou componentes oriundos de outros fornecedores sem que o sistema explicita de forma completa os materiais ou métodos a implementar a cada caso, ou não.

Finda a explicação sucinta sobre o contexto em que se insere a pré-fabricação e quais as suas variantes, convém esclarecer quais as vantagens e desvantagens que este modo de construir pode trazer para o sector da construção.

A pré-fabricação, como forma de industrializar a construção, tem como objectivo a diminuição dos custos da construção, e ao mesmo tempo coloca o sector da construção em linha com as restantes indústrias. É também uma forma de construir que alguns profissionais do sector consideram que vai de encontro às tendências para o futuro, ver figura 2.19, com a redução dos tempos de construção em obra e um aumento do cuidado com a execução do projecto, dada a necessidade de rigor que este tipo de construção impõe aos projectos, problema que aqueles que defendem esta forma de construir relativizam, dado existir já uma tendência no sector de aumento do rigor dos projectos no futuro.

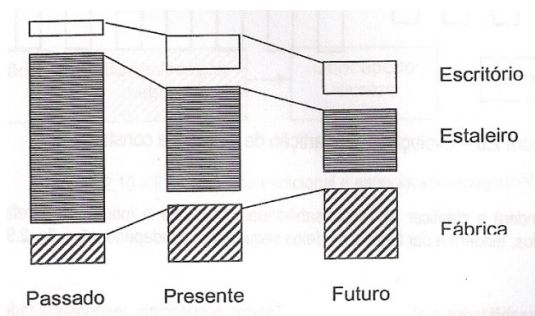


Figura 2.19. – Tendência de evolução dos tempos de construção. [Sousa, 2003]

Em comparação com a construção dita corrente, em que os diversos elementos de um edifício são produzidos no próprio local da obra, a pré-fabricação pode representar uma mais valia em termos de uma redução dos custos de produção. No entanto para se poder ter uma ideia mais clara a respeito do que esta forma de construir pode significar em termos económicos, procurar-se-á fazer uma pequena comparação sob o ponto de vista económico entre a construção tradicional e a construção pré-fabricada. Para tal convém primeiramente fazer a distinção entre custos invariáveis, comuns a ambos os tipos de construção e os custos variáveis, com o intuito de realçar a diferença entre os dois métodos, pois a diferença económica incidirá sobre os custos variáveis. Para os custos invariáveis considerou-se os revestimentos das fachadas, as instalações, etc. Para os custos variáveis considerou-se a estrutura de betão armado, as coberturas, os isolamentos, etc. Embora estas considerações possam incorporar um relativo erro, de um modo geral pode-se dizer que a pré-fabricação apresenta custos de materiais mais elevados, mas tem vantagens no que diz respeito à redução da mão-de-obra e ao aumento do rendimento dos trabalhadores.

Efectuando então a comparação entre dois edifícios iguais e com aproximadamente 150m² cada, um construído através de método corrente e outro recorrendo à pré-fabricação e tendo em consideração os custos com maquinaria, projecto mais detalhado e desenhos operacionais para o caso da pré-fabricação, que acresce entre 30 a 40% dos custos dos elementos pré-fabricados, e o acréscimo dos custos variáveis em cerca de 50% dos custos da construção para o caso da construção corrente, constata-se que na pré-fabricação os custos variáveis são mais reduzidos do que no caso da construção tradicional entre 17 a 23%. Se tivermos em conta que os custos variáveis representam cerca de 50% do valor da construção, então isso significa que numa obra deste tipo a poupança económica em relação ao global da obra se situará entre os 9 e os 12%. [5]

Apesar das vantagens económicas referidas anteriormente, a pré-fabricação não apresenta apenas vantagens. Na realidade também existem alguns inconvenientes importantes que muito têm contribuído para a não aceitação por parte dos profissionais que operam no sector. Um dos problemas mais importantes é o facto de concentrar todas as fases do ciclo produtivo no âmbito do sistema construtivo (projecto, construção e montagem), ou seja, concentrando, as empresas de pré-fabricação, em si funções que não lhes são próprias e deixando um pouco à margem projectistas e as outras empresas, que passam a olhar a pré-fabricação com uma certa negatividade. Os projectistas, porque não conhecem bem a técnica do sistema no qual o seu projecto será executado e o seu projecto estará limitado pelas limitações do sistema. E as empresas construtoras porque esperavam resolver na pré-fabricação os problemas do custo da construção corrente, mas ao serem quase excluídas do ciclo produtivo acabam por ver na pré-fabricação um concorrente. Outro obstáculo à proliferação da pré-fabricação está relacionada com a inércia dos profissionais do sector, como arquitectos, engenheiros e empresas construtoras em evoluir e continuarem a conceber e a construir utilizando as tecnologias que já dominam.

2.6. ANÁLISE EXIGENCIAL E PROBLEMAS EXIGÊNCIAS

Sendo os edifícios essenciais à vida e à actividade humana, torna-se inevitável que estes e os seus órgãos apresentem características de desempenho que se enquadrem com a satisfação das necessidades do Homem, torna-se portanto imperioso que as características de desempenho sejam expostas seguidamente através do quadro 2.9.

Aos diversos órgãos de um edifício correspondem funções que concorrem para a satisfação das necessidades dos seus utentes e no caso particular das fachadas, objecto deste trabalho, estas desempenham várias funções importantes num edifício, como a protecção à intrusão, à água, à humidade, ao vento, etc., chegando até em algumas vezes a desempenhar funções de sustentação do edifício.

Quadro 2.9. – Requisitos exigenciais das paredes de fachada. [LNEC]

Código	Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho
E1A	EE1 Resistência mecânica e estabilidade	Estabilidade mecânica do suporte
E1B		Resistência ao vento
E1C		Fixação do revestimento ao suporte
E1D		Resistência aos choques: suporte
E1E		Resistência aos choques: revestimento

Quadro 2.4. – Requisitos exigenciais das paredes de fachada. [LNEC] (Cont.)

Código	Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho
E1F	EE1 Resistência mecânica e estabilidade	Resistência às deformações e variações dimensionais
E1G		Alteração das características mecânicas
E1H		Resistência à suspensão de cargas
E2A	EE2 Segurança em caso de incêndio	Reacção ao fogo
E2B		Resistência ao fogo
E2C		Espessura da parede
E3A	EE3 Higiene, Saúde e Ambiente	Odores
E3B		Resistência ao enodoamento
E3C		Limpeza
E3D		Aptidão para a reutilização
E4A	EE4 Segurança na utilização	Perfil geométrico de superfície
E4B		Resistência à peladura
E5A	EE5 Protecção contra o ruído	Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ($D_{2m,n,w}$)
E5B		Tempo de reverberação, T: paramento interior
E6A	EE6 Economia de energia e comportamento higratérmico	EE6 Economia de energia e comportamento higratérmico
E6B		Factor de temperatura superficial interior
E6C		Termoforese
E6D		Factor de concentração de perdas térmicas (f_c)
E6E		Estanquidade à água
E6F		Difusão de vapor de água
E6G		Estanquidade ao ar
E6H		Inércia térmica interior

3.

PAINÉIS DE AGLOMERADO DE MADEIRA COM CIMENTO

3.1. INTRODUÇÃO

Tendo em conta que o objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de soluções de construção leve para fachadas de edifícios de pequeno porte, utilizando painéis de aglomerado de madeira com cimento, neste capítulo ir-se-á fazer uma apresentação sumária dos painéis de aglomerado de aparas de madeira com cimento, produzidos em Portugal com a designação comercial Viroc. Não se fará uma exposição exaustiva do produto sob o ponto de vista das suas características e desempenho exigencial, dada a falta de informação ainda existente no mercado e também pelo facto de o mesmo já ter sido efectuado na tese de Mestrado de Jorge Ricardo dos Santos Alves – *“Análise exigencial de revestimentos de edifícios através de placas de aparas de madeira e cimento”*. [6]

3.2. O PRODUTO COMERCIAL VIROC

3.2.1. ASPECTOS GERAIS

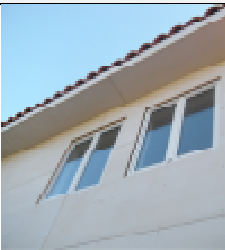
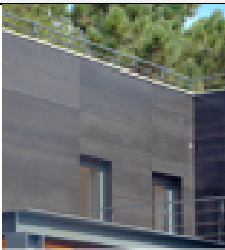
O Viroc é um produto em implantação no mercado nacional e que mobiliza uma empresa nacional na sua fabricação, a Viroc Portugal, S.A.. A maior parte da produção desta empresa destina-se à exportação, principalmente os painéis de Viroc bruto e o Viroclin, representando esta parcela cerca de 75% do total produzido. Entre os países que mais importam este produto e seus derivados, encontram-se tanto países desenvolvidos, como o Reino Unido, a França ou os E. U. A., como também países em vias de desenvolvimento, como Moçambique ou, mais recentemente, Angola. Situação que é bastante reveladora das potencialidades do produto que satisfaz, em simultâneo, os requisitos de comportamento exigencial de países muito exigentes, no que diz respeito às características de comportamento dos produtos que empregam na sua construção, e ao mesmo tempo apresenta uma relação custo/benefício suficientemente baixa para poder ser importado por países em vias de desenvolvimento. A procura interna só representa cerca de 25% do total produzido no nosso país, mas é expectável que a quota de mercado venha a aumentar devido ao maior conhecimento das características do produto por parte dos profissionais do sector e também dos consumidores.

É fabricado a partir de um material compósito à base de aparas de madeira com cimento Portland, em que durante o seu processo de fabrico as aparas de madeira são comprimidas e secas durante bastante tempo na pasta de cimento, deixando-as incrustadas num painel de cimento. Isto faz com que o produto final apresente comportamento combinado entre a madeira e o cimento. Com efeito o produto tem maior resistência e flexibilidade do que o cimento,

proporcionadas pela acção da madeira, e praticamente mantém a durabilidade e características de dureza típicas do cimento.

Os produtos “Viroc” são fabricados em painéis rectangulares de espessura e medidas variadas, consoante a utilização final a que se destinem. Neste momento estão a ser fabricados em vários tipos, Standard ou bruto, Calibrado (lixado) ou recoberto por primário, e tonalidades, de acordo com o quadro 3.1.

Quadro 3.1. – Tonalidades do Viroc produzido em Portugal.

Tonalidade				
	Cinza (Viroc normal)	Branca (Viroc branco)	Preta (Viroc negro)	Colorido
Motivo	Caract. cimento	Caract. cimento	Aditivos	Pintura
Aspecto				

As principais características do produto “Viroc” são:

- resistência ao fogo
- resistência à humidade
- resistência ao impacto
- isolamento acústico
- resistência ao frio
- resistência a microrganismos
- estabilidade dimensional
- durabilidade
- facilidade de aplicação
- ecológico
- não liberta nem contém elementos tóxicos
- custos (cerca de 75-80€/m², com montagem, mão-de-obra e todos os custos associados à montagem de fachadas ventiladas, valor médio concedido pela empresa Viroc Portugal S. A.)

O Viroc está disponível no mercado nas seguintes dimensões:

2400mm x 1250mm (principalmente destinado à exportação)

2600mm x 1250mm

3000mm x 1250mm

Estas dimensões podem sofrer alguns desvios de acordo com o quadro 3.2.

Quadro 3.2. – Tolerâncias de fabrico. [6]

Tolerâncias de fabrico	
Largura e comprimento	$\pm 3,0$ mm
Linearidade das arestas	$< 1,5$ mm/m
Ortogonalidade	$< 2,0$ mm/m

O Viroc pode também apresentar alguns tipos de acabamentos, conforme o fim a que se destina, podendo ter um acabamento superficial em bruto, caso se pretenda que seja aplicado no exterior, ou lixado no caso de se destinar a ser utilizado no interior. Pode ainda ser pintado com um primário para uniformizar melhor as suas características em relação à absorção de humidade, para melhorar as características de estabilidade do produto e para melhorar a aderência de pinturas posteriores. O primário deve ser aplicado sobre as 6 faces do produto e deverá ser de penetração, acrílico, ou à base de poliuretano de acordo com as características do verniz ou da pintura posterior.

O revestimento dos painéis Viroc poderá ser muito variado desde o seu aspecto em bruto, lixado ou com primário, a soluções mais ou menos elaboradas como a pintura, o recobrimento com cerâmicos, os folheados, os laminados, os painéis sanduíche, etc. As tolerâncias de espessura apresentam-se no quadro 3.3.

Quadro 3.3. – Tolerâncias dimensionais da espessura e em função do tipo de acabamento. [6]

	Espessuras (mm)	Tolerância
Bruto	8, 10	$\pm 0,7$ mm
	12	$\pm 1,0$ mm
	16	$\pm 1,2$ mm
	19, 22, 25, 28, 32	$\pm 1,5$ mm
Lixado/Bruto	8, 10	$\pm 0,7$ mm
	14	$\pm 0,8$ mm
	17, 20, 23, 26, 30	$\pm 1,0$ mm
Lixado	8, 12, 15, 18, 21	$\pm 0,3$ mm
Virocfloor	15	$\pm 0,5$ mm

Quanto ao corte dos painéis importa ainda fazer referência ao facto de os cortes poderem ser variados, com as arestas maquinadas em bisel, macho-fêmea, rebaixo ou meia-madeira.

Convém ainda ter presente que quaisquer que sejam os revestimentos a aplicar ao Viroc é preciso ter em conta a alcalinidade do Viroc, com um pH entre 11 e 13.

3.2.2. PROCESSO DE FABRICO E CONTROLO DE QUALIDADE

Neste subcapítulo serão abordadas as questões relacionadas com o processo de fabrico e controlo de qualidade dos painéis Viroc, dado que são dois processos que ocorrem em simultâneo ao longo da linha de produção e fundamentais nas características finais do produto e da sua qualidade.

3.2.2.1. Processo de Fabrico

Na figura 3.1. estão identificadas e ilustradas as principais etapas do processo de fabrico dos painéis Viroc.

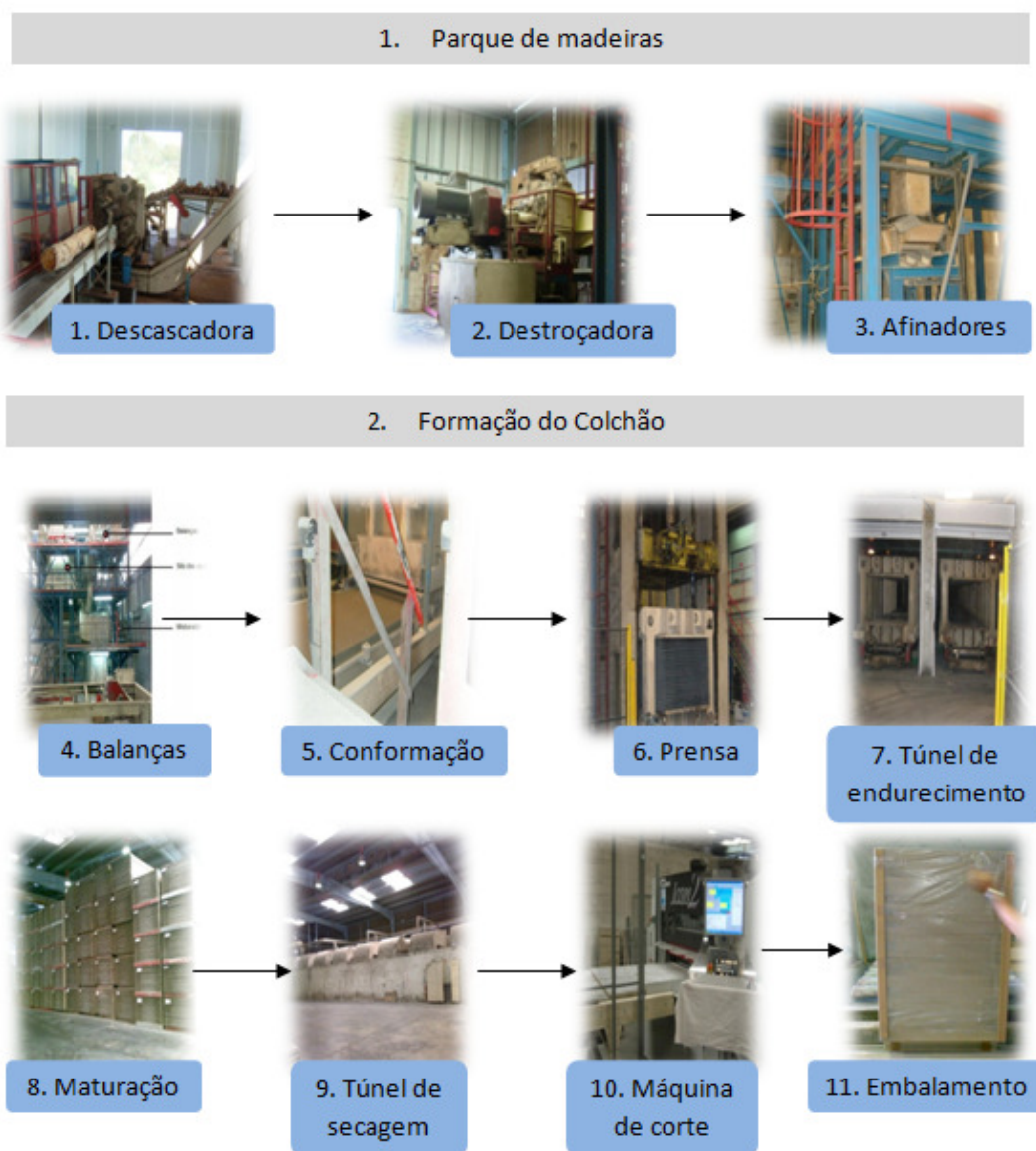


Figura 3.1. – Representação esquemática do processo de fabrico. (Ilustrações: Alves, 2009 [6])

3.2.2.2. Controlo de Qualidade

Durante, e após a produção os painéis Viroc produzidos pela empresa Viroc Portugal são sujeitos a um controlo de qualidade, de acordo com a norma europeia EN 13986, que lhe confere a atribuição da marcação CE e que visa assegurar as características físicas, de resistência mecânica e dimensionais do produto. Neste momento a empresa está a fazer esforços no sentido de implementar o Sistema de Gestão da Qualidade através da NP EN ISO 9001:2000.

No caso das exportações para os E.U.A. a empresa adopta a certificação pelo ICC - *Evaluation Service*.

3.2.3. PRODUTOS CONCORRENTES

O Viroc é um produto relativamente recente no mercado português e como tal ainda sem concorrência de origem nacional. No entanto existem outras empresas estrangeiras com experiência no fabrico e aplicação de soluções em aglomerados de madeira e cimento, e que inclusivamente exportam para Portugal painéis, como é o caso da Amroc, uma empresa Alemã, da Cetris proveniente da República Checa, e outras concorrentes da Viroc Portugal, como a Celenit italiana e principalmente a Euronit proveniente de Espanha.

Mas o Viroc não compete apenas com produtos semelhantes no mercado das soluções de revestimentos, também compete com as mais diversificadas soluções de revestimentos como os painéis de compacto fenólico exterior, as placas de resina termoendurecidas reforçadas com fibras de madeira, a pedra natural, entre muitas outras soluções.

3.2.4. HIGIENE, SEGURANÇA E SAÚDE

Os painéis Viroc não são tóxicos, pois não contêm amianto nem outras substâncias equivalentes prejudiciais à saúde, não apresentando riscos para a saúde pública, nem para o ambiente, e também não são combustíveis. Contudo podem apresentar outros tipos de riscos de menor gravidade, mas que convém ainda assim acautelar no manuseio, devido às grandes dimensões dos painéis, e na maquinaria, devido à libertação de poeiras, que embora não contenham produtos tóxicos para a saúde podem provocar reacções alérgicas, ver quadro 3.4.

Quadro 3.4. – Controlo de riscos.

Actividade		Risco	Controlo e acções
Manuseamento		Painéis de grandes dimensões apresentam risco de luxações corporais, nomeadamente costas, mãos e pés	Uso de ferramentas de apoio ao manuseamento Sempre que possível deverá usar-se equipamento mecânico de manuseamento Adoptar medidas correctas de manuseamento
Maquinação	Corte	O pó proveniente da maquinaria pode causar irritações nas vias respiratórias e nos olhos	Sempre que possível usar equipamento com aspiração de poeiras Usar equipamento de protecção visual e respiratória (óculos e máscaras)
	Furação		
	Fresagem e torneamento		
	Lixagem		

Convém ainda referir que quando se trate de operações de maquinaria, os painéis Viroc deverão estar devidamente fixos e as ferramentas a empregar ser as adequadas, constantes do quadro 3.5.

Quadro 3.5. – Ferramentas para maquinação adequadas para os painéis de Viroc.

Corte	Espessura $\leq 12\text{mm}$	Serra circular portátil
	Espessura $> 12\text{mm}$	Serra fixa, de dentes alternados ou trapezoidais, finos e com pastilhas de carboneto de tungstênio
Furação	Berbequim convencional ou de alta velocidade com a ponta da broca de aço rápido	
Fresagem e Torneamento	Máquina com pelo menos 1200 Watt de input de rotação, com ferramentas de carboneto de tungstênio ou aços rápidos	
Lixagem	Lixadora de vibração ou lixadora de cinta	

3.2.5. CLASSIFICAÇÃO “REVETIR”

A classificação “reVETIR” tem como objectivo classificar os subsistemas tradicionais ou não-tradicionais, de “revestimento exterior” de acordo com, o “cahier” do CSTB 2929 [21], através de um conjunto de parâmetros seguidamente mencionados e que avaliam a adequabilidade de um determinado subsistema em função da sua conservação ao longo do tempo e da sua aptidão em diferentes circunstâncias.

Existem 7 características que servem de base a esta classificação e que estão agrupadas da seguinte forma:

- as duas primeiras, “r” e “e”, são relativas à conservação do subsistema ao longo do tempo;
- as outras cinco, “V”, “E”, “T”, “I”, “R” permitem concluir sobre a aptidão de utilização do subsistema em diferentes circunstâncias.

As características são as seguintes:

- r – reparação (facilidade de reparação ou substituição);
- e – manutenção (frequência de operações de manutenção);
- V – resistência ao vento;
- E – estanquidade à água;
- T – resistência aos choques;
- I – reacção ao fogo;
- R – resistência térmica.

Cada um destes parâmetros está por sua vez subdividido em subclasses, consoante as características do material e da seguinte forma:

Facilidade de reparação:

- r1 – se a reparação é difícil e necessita de produtos ou componentes específicos do subsistema. Entende-se por reparação difícil uma reparação que necessita da desmontagem de elementos não degradados próximos do ponto a reparar por uma empresa especializada nesse subsistema;
- r2 – se a reparação é fácil, mas necessita de produtos ou componentes específicos do subsistema ou se a reparação é difícil (ver r1), mas pode ser efectuada com produtos disponíveis no mercado;

r3 – se a reparação é fácil e pode ser realizada com produtos disponíveis no mercado mas necessita de intervenção de reparação sobre uma área superior à intervencionada; Este índice será raramente aplicável ao sistema em estudo, sendo normalmente aplicado a revestimentos contínuos com isolante no exterior do suporte;

r4 – se a reparação é fácil e pode ser realizada com produtos correntes no mercado e sem necessitar de intervenção além da zona a reparar.

Frequência de manutenção:

e1 - se requer manutenção em intervalos de tempo suficientemente próximos (3 a 10 anos);

e2 - se necessitar de intervenções com intervalos de tempo entre os 10 e os 20 anos;

e3 - se o sistema não necessita de manutenção corrente, mas a sua aparência pode ser preservada (mesmo após a lavagem), ou se ele só exige uma manutenção espaçada de intervalos de tempo de 20 anos ou mais;

e4 - se o aspecto se mantém sem outro tipo de manutenção a não ser uma lavagem periódica.

Resistência ao vento, ver quadro 3.6.:

Quadro 3.6. – Classificação da resistência ao vento. [7]

	Pressão (Pa)	Depressão (Pa)
V1	510	640
V2	910	1140
V3	1280	1600
V4	1790	2235

Estanquidade à água:

E1 - se não pode impedir totalmente a água da chuva de chegar ao suporte, devido à ausência de corte de capilaridade entre o revestimento e o isolante térmico;

E2 - se for capaz de se opor ao fluxo de água da chuva até à parede de apoio devido à impermeabilidade do subsistema de revestimento, ou ao corte de capilaridade entre o revestimento e o isolante;

E3 – se o subsistema incorporar na lâmina de ar dispositivos de recuperação e evacuação das águas infiltradas, de modo a que a água eventualmente infiltrada não cause qualquer alteração no sistema;

E4 – se o subsistema compreender um revestimento estanque à água devido à impermeabilidade intrínseca do material e dispositivos na caixa-de-ar que permitam a recuperação e evacuação das águas eventualmente infiltradas.

Resistência ao choque:

T1- - se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/0,35 J e ao choque de corpo mole de 3kg/3J;

T1+ - se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/1 J e ao choque de corpo mole de 3kg/3J;

T2 – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/3 J e ao choque de corpo mole de 3 kg/10 J sem alteração e ao Perfotest 20 mm/3,75 J sem perfuração;

T3 – se resistir ao choque de corpo duro 0,5 kg/3 J, ao choque de corpo mole 3 kg/20 J, ao choque de corpo mole 50 kg/130 J e ao Perfotest 12 mm/3,75 J sem perfuração;

T4 – se resistir ao choque de corpo duro 1 kg/10 J, ao choque de corpo mole 3 kg/60 J, ao choque de corpo mole 50 kg/400 J e ao Perfotest 6 mm/3,75 J sem perfuração.

Reacção ao fogo:

I1 se for M4;

I2 se for M3;

I3 se for M2 ou M1;

I4 se for M0.

*Com a devida salvaguarda da realização de ensaios segundo as normas europeias.

Resistência Térmica:

R1 se $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W} \leq R < 1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$;

R2 se $1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W} \leq R < 2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$;

R3 se $2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W} \leq R < 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$;

R4 se $R \geq 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$.

Classificação “reVETIR” do Viroc:

Tendo presente o anteriormente exposto em relação à classificação “reVETIR” reúnem-se agora as condições para classificar, o produto tendo em consideração as suas características como sendo do tipo:

r2 e2 V*1-2 E4 T3 I3 R4

*V1 para uma distância de fixação de 600mm;

*V2 para uma distância de fixação de 500mm.

3.3. APLICAÇÃO

3.3.1. MANUSEAMENTO

É altamente aconselhável que os painéis Viroc sejam armazenados, transportados e manuseados em obra antes da sua colocação final, de forma apropriada, para assegurar a manutenção das suas características, de forma a prevenir a degradação prematura do produto. Os danos mais comuns que normalmente surgem no produto são danos nas arestas ou cantos do painel, ou outros danos devido principalmente à água ou humidade.

Para assegurar as características do produto durante o seu armazenamento é imperioso que se adoptem alguns cuidados básicos tais como:

- o pavimento do local onde o Viroc está armazenado deve estar nivelado, ser rígido e indeformável;
- não deverão ser removidas as protecções dos painéis, como a manga plástica que reveste as paletes e as protecções dos cantos, até ao momento da sua colocação em obra;
- não colocar os painéis na vertical ou inclinados;
- manter os painéis na horizontal e apoiados nos suportes;
- os suportes devem ter uma altura suficiente para evitar qualquer contacto com a água;
- os painéis devem estar apoiados nas extremidades e entre centros, não distando os apoios mais de 600mm;
- o empilhamento de paletes de painéis Viroc não deve exceder as 8 paletes;
- os suportes das paletes superiores devem estar alinhados na vertical com os suportes das paletes inferiores, ver figura 3.2.;
- se o armazenamento for no exterior as paletes devem ser protegidas por uma manga plástica impermeável.

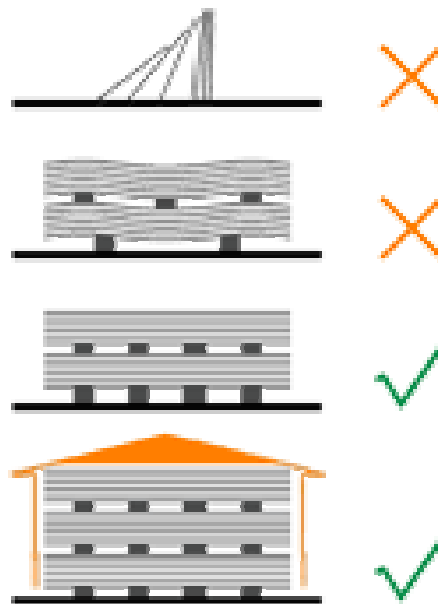


Figura 3.2. – Modo correcto de armazenamento dos painéis de Viroc. [8]

Durante o transporte as paletes de Viroc devem ser protegidas por cobertura impermeável e deve haver especial cuidado com os meios de fixação ao veículo ou aos sistemas de elevação, principalmente no tocante ao cabos utilizados para esses fins, ver figura 3.3., pois não devem ser empregues cordas, e as cintas convém que tenham largura suficiente para assegurarem uma degradação do esforço induzidos nos painéis Viroc a fim de evitar potenciais danos.



Figura 3.3. – Correcto transporte dos painéis de Viroc. [9]

Também em obra deverão existir alguns cuidados no manuseamento dos painéis. Quando estes estiverem a ser retirados um a um das paletes, não devem ser arrastados sobre os painéis inferiores, mas antes elevados na vertical. Essa operação deverá ser efectuada por pelo menos dois trabalhadores, Devendo ser transportados em obra também na vertical, tal como serão colocados, ver figura 3.4.

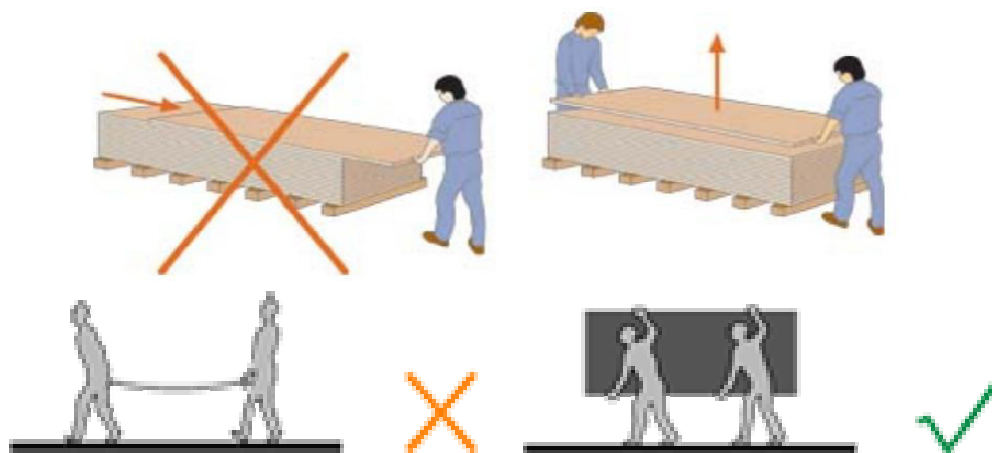


Figura 3.4. – Correcto manuseamento dos painéis Viroc em obra. [8]

3.3.2. FIXAÇÃO DOS PAINÉIS VIROC

A fixação dos painéis Viroc é uma das componentes mais importantes do sistema e para uma correcta fixação existem no mercado variadas soluções, entre as quais se destacam os pregos, os agrafos, os adesivos, as colas e os parafusos. Para a escolha da solução mais adequada a cada situação devem ser tidos em conta factores tais como a espessura das placas a fixar, a resistência do suporte e a existência de singularidades.

Por sua vez os elementos de fixação devem ter propriedades tais que lhes permitam a correcta realização da sua função. Para tal deve-se, sempre que possível, proceder ao dimensionamento destes sistemas de forma sustentada por ensaios e cálculos. Estes elementos devem ainda ser concebidos em materiais não oxidáveis e gozar de algumas características adicionais como as apresentadas no quadro 3.7.

Quadro 3.7. – Tipos de fixadores e respectivas características.

Elemento de fixação	Tipo
Pregos	Cabeça achatada, em aço inoxidável ou galvanizado, lisos, roscados ou torcidos, resinados ou não em função do suporte.
Agrafos	Em aço galvanizado de secção 1,2 a 1,8 mm ² . Comprimento de 35 a 65 mm.
Adesivos e colas	Mastique elastómero de 1ª categoria, poliuretânico, acrílico ou polímero MS.
Parafusos	Para painéis de partículas, em aço galvanizado ou inoxidáveis, com cabeça fresada, preferencialmente auto-roscantes e de ponta central.

3.3.3. JUNTAS

As juntas têm como objectivo permitir acomodar pequenos movimentos relativamente a uma estrutura. Em estruturas revestidas a Viroc as juntas podem ter uma importância mais ou menos importante, mas são sempre necessárias. As juntas têm como finalidade absorver as contracções e dilatações do revestimento de Viroc, que serão maiores caso a estrutura de suporte seja metálica, devido às variações entre o Viroc e o metal (quando não protegido termicamente), ou menores, no caso de a estrutura portante do Viroc ser em madeira, que terá variações dimensionais mais próximas das do Viroc. Em qualquer dos casos as juntas desempenharão sempre um papel fundamental no desempenho da solução e o seu dimensionamento deverá ter em consideração a espessura do painel, o material da estrutura de suporte e o tipo de aplicação do revestimento.

Uma junta bem executada deve ser capaz de assegurar satisfatoriamente as seguintes funções:

- A - Controlo de acções ambientais (vermes e insectos, plantas, pó, ruído, odores, luz, etc.);
- B - Capacidade de absorver esforços (compressão, tracção, flexão, corte, torção, vibração, etc.);
- C – Segurança (fogo, fumo, gases, radiação, microorganismos perigosos, etc.);
- D - Absorção de variações dimensionais (retracção, térmicas, humidade, etc.);
- E - Fixação dos componentes;
- F – Aspecto (ter aspecto aceitável, evitar o desenvolvimento de plantas, etc.);
- G – Economia (custo inicial conhecido, depreciação conhecida, etc.);
- H – Durabilidade (resistir às acções do ar poluído, da água, dos insectos, das plantas, etc.);
- J – Manutenção (permitir a montagem/desmontagem parcial ou completa e substituição de materiais de junta obsoletos);
- K - Condições ambientais de serviço (desempenhar as funções exigidas para um dado intervalo de temperaturas especificado, de humidades atmosféricas especificado, etc.).

As juntas podem surgir num edifício sob três formas distintas, a saber:

Juntas de tipo I – são juntas que conseguem acomodar todas as variações dimensionais de um dado suporte, sem sofrerem danos significativos.

Juntas de tipo II – são juntas que conseguem acomodar variações dimensionais de um determinado suporte, mas apenas até um determinado valor limite, a partir do qual poderão sofrer danos que coloquem em causa o correcto desempenho das suas funções.

Juntas de tipo III – são juntas que não apresentam qualquer capacidade para acomodar quaisquer variações dimensionais do suporte, sem serem de algum modo afectadas no correcto desempenho das suas funções.

Existem fundamentalmente dois tipos de juntas, a utilizar com os painéis Viroc:

Juntas topo-a-topo;

Juntas de recobrimento (não masticadas).

De seguida, figura 3.5., apresenta-se um esquema do uma junta topo-a-topo másticada, à esquerda e outra de recobrimento, à direita.

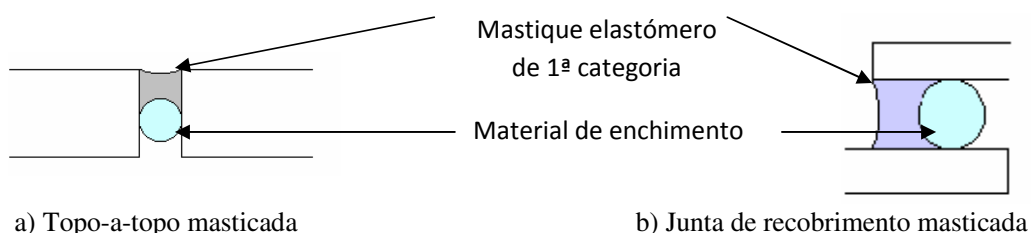


Figura 3.5. – Junta topo-a-topo másticada (esq.) e junta de recobrimento (dir.).

As juntas não necessitam de ser sempre preenchidas, basta pensar numa solução de fachada ventilada, em que existem espaços entre os painéis de revestimento, mas no caso das juntas serem preenchidas, deverá ser utilizado um mastique elastómero de 1ª categoria, poliuretânico ou de polímero MS.

A junta deve apresentar uma largura adequada ao tipo de solicitações de natureza dimensional a que possa estar sujeita, devendo ter uma largura e profundidade adequadas, sendo que a profundidade do mastique deve ser pelo menos igual à largura da junta e esta deve ter no mínimo 5mm de espessura.

O material de enchimento a utilizar nas juntas deve ser suficientemente consistente para suportar a aplicação e alisamento do mastique e não impedir a sua aderência aos bordos da junta, nem impedir a alteração de forma do mastique aquando dos movimentos da junta. O material que compõe o enchimento da junta é normalmente um cordão de polietileno flexível e este não deve ser putrescível e deve assegurar a forma côncava do mastique aquando da sua colocação.

Em caso de incêndio é necessário avaliar o comportamento dos materiais de enchimento da junta e do próprio mastique em relação à facilidade de propagação do fogo à fachada através das juntas.

Existem também outros tipos de junta que são exemplificados de seguida, ver figura 3.6.:

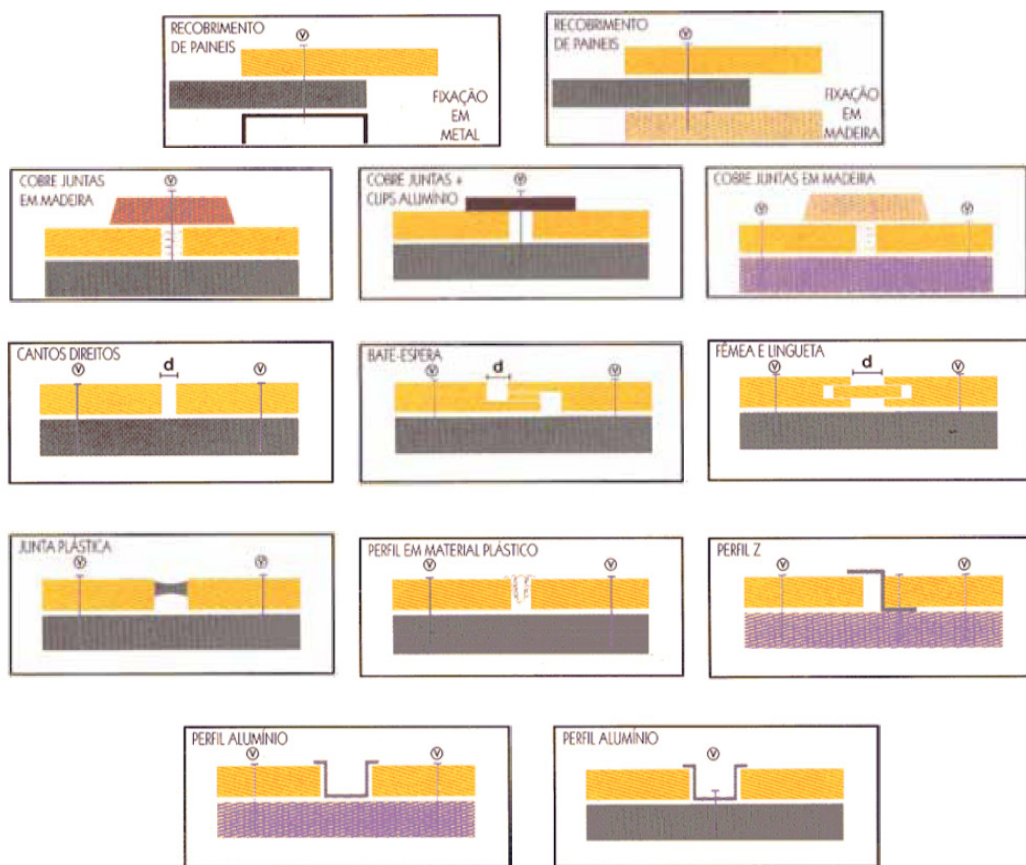


Figura 3.6. – Outros tipos de junta.

3.4. EXIGÊNCIAS NORMATIVAS APLICÁVEIS A ESTE PRODUTO

Existem algumas normas europeias directamente relacionadas com o produto.

A norma EN 633, *Cement-bonded particleboards – Definition and classification*, define e classifica as placas de Viroc em função:

- Do tipo de ligante utilizado;
- No acabamento das superfícies;
- Na cor das superfícies;
- Consoantes os bordos se encontrem maquinados ou não.

Os requisitos gerais do produto são apresentados na norma EN 634-1, *Cement-bonded particleboards – Specification – Part 1: General requirements* e são os indicados nos quadros 3.8. e 3.9..

Quadro 3.8. – Requisitos gerais. [6]

Tolerâncias de fabrico	
Largura e comprimento	± 5,0 mm
Linearidade das arestas	< 1,5 mm/m
Ortogonalidade	< 2 mm/m
Teor de humidade	6% a 12%

Quadro 3.9. – Tolerâncias dimensionais em função das espessuras e do tipo de acabamento. [6]

	Espessuras (E) (mm)	Tolerância
Bruto	E<12	± 0,7 mm
	12≤E<15	± 1,0 mm
	15≤E<19	± 1,2 mm
	E≥19	± 1,5 mm
Lixado	8, 12, 15, 18, 21	± 0,3 mm

Os requisitos mínimos a obedecer por placas deste tipo são especificados na norma EN 634-2, *Cement-bonded particleboards – Specification – Part 2: Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions* e os principais valores a serem verificados no controlo interno da fábrica estão evidenciados no quadro 3.10. retirado da referida norma.

Quadro 3.10. – Intervalo máximo entre testes para cada linha de produção. [6]

Propriedades	Intervalo máximo entre testes
Propriedades gerais:	
Espessura (bruto)	8 h por espessura
Espessura (lixada)	2 h por espessura
Comprimento	2 h por espessura
Largura	2 h por espessura
Linearidade das arestas	2 h por espessura
Rectidão da aresta	2 h por espessura
Teor de humidade	8 h por espessura
Densidade	8 h por intervalo de espessura
Força de dobragem	
Módulo de Elasticidade	
Inchamento	24 h
Inchamento após teste cíclico	Uma semana

As principais propriedades a validar por ensaios e definidas segundo a norma NP EN 310 estão definidas nos quadros 3.11. a 3.14.

Quadro 3.11. – Propriedades testadas em fábrica. [6]

Propriedades testadas em fábrica			
	Norma de ensaio	Valor normativo EN 634-1 e EN 634-2	Valor Médio com confiança de 95%
Teor de humidade na origem	EN 322	6 a 12 %	10,6% (valor médio)
Densidade	EN 323	$> 1000 \text{ kg/m}^3$	$> 1297 \text{ kg/m}^3$
Resistência à ruptura por flexão	EN 310	$> 9 \text{ N/mm}^2$	$10,51 \text{ N/mm}^2$
Resistência à ruptura por flexão longitudinal	EN 310	$> 9 \text{ N/mm}^2$	$10,58 \text{ N/mm}^2$
Resistência à ruptura por flexão transversal	EN 310	$> 9 \text{ N/mm}^2$	$10,14 \text{ N/mm}^2$
Módulo de Elasticidade à flexão	EN 310	Classe 1 $> 4500 \text{ N/mm}^2$	6896 N/mm^2
Módulo de Elasticidade à flexão longitudinal	EN 310	Classe 1 $> 4500 \text{ N/mm}^2$	6914 N/mm^2
Módulo de Elasticidade à flexão transversal	EN 310	Classe 1 $> 4500 \text{ N/mm}^2$	6790 N/mm^2
Resistência à tracção perpendicular ao plano da placa	EN 319	$> 0,5 \text{ N/mm}^2$	$0,65 \text{ N/mm}^2$
Inchamento em espessura após 24 h de imersão em água	EN 317	$\leq 1,5\%$	0,3 %
Resistência à tracção perpendicular ao plano da placa após ensaio cíclico	EN 319 e EN 321	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$	$0,44 \text{ N/mm}^2$
Inchamento da espessura após ensaio cíclico	EN 319 e EN 321	$\leq 1,5\%$	0,2 %

Quadro 3.12. – Reacção ao fogo. [8]

Reacção ao fogo		
Reacção ao fogo	B – s1 – d0 M1 Classe 1	Norma EN 13501 – 1 NF P 92 – 501 BS 476: PART 7
Índice de propagação ao fogo	$l = 1,4$ $i1 = 0,0$ $i2 = 0,3$	BS 476: PART 6

Quadro 3.13. – Propriedades acústicas. [8]

Propriedades acústicas			
	Espessura (mm)	Rw (C;Ctr) (dB)	Norma
Índice de redução acústica	8	31 (-1; -3)	EN ISO 717-1
	10	32 (-2; -3)	
	12	33 (-1; -3)	
	16	35 (-2; -3)	
	19	35 (-1; -2)	
	22	37 (-2; -3)	
Coeficiente de absorção acústica	250 Hz a 500 Hz → 0,10		EN 13986

Quadro 3.14. – Outras propriedades. [8]

Outras propriedades		
Alcalinidade superficial	pH contido entre 11 e 13	-
Permeabilidade ao vapor de água	Método húmido: $\mu = 30$ Método seco: $\mu = 50$	EN 13986
Condutividade térmica	U (W/(m.K)) = 0,23	EN 13986 para uma densidade média de 1200kg/m ³

3.5. ESTABILIDADE/DURABILIDADE DOS PAINÉIS VIROC

Para avaliar a estabilidade/durabilidade dos painéis Viroc, a empresa produtora encomendou um estudo ao BRE - Building Research Establishment, Ltd. [10], um organismo britânico independente que testa e certifica produtos e sistemas construtivos empregues na construção.

A avaliação efectuada, pelo BRE, às características dos painéis Viroc (painéis aglomerado de madeira e cimento ou CBPB – Cement bonded particleboard) foi desenvolvida em duas fases. Numa primeira fase foi efectuada uma investigação de 6 meses sobre o efeito do envelhecimento e observada a resposta dos painéis Viroc, numa segunda fase de mais um ano de investigação, foi aferido sobre o efeito do envelhecimento e desempenho a longo prazo dos painéis Viroc.

Os resultados da primeira fase dos testes revelaram que [10]:

- 1- Tanto a resistência como a rigidez dos painéis Viroc foram melhorando de forma consistente, chegando mesmo os resultados dos ensaios efectuados a demonstrar que os painéis apresentavam muito melhor performance do que os requisitos especificados na EN 634-2 [11].
- 2- A massa dos painéis Viroc aumentou de forma consistente e observou-se a redução das dimensões dos painéis.

Os resultados da segunda fase demonstraram que:

- 3- As propriedades físicas e mecânicas dos painéis Viroc mantiveram as respectivas tendências durante a exposição dos 48 meses de duração dos testes, de acordo com o que foi dito em “1” e “2”.
- 4- Existe um grande potencial nos painéis Viroc tanto em termos de produção como nos usos do produto.
- 5- Exposições às condições ambientais (a que os painéis estarão sujeitos) tiveram um efeito significativo no desempenho dos painéis Viroc em uso. Estes são importantes para a concepção e selecção dos painéis Viroc.

6- A carbonatação e a hidratação excessiva do Viroc podem ser factores importantes para as alterações físicas e químicas ocorridas nos painéis.

7- A concepção e a selecção dos painéis Viroc baseados nos valores actualmente disponibilizados pelo fabricante ou padronizados podem não ser suficientemente precisos, podendo sobrestimar ou subestimar a performance dos painéis Viroc.

Da comparação entre os valores obtidos a partir dos ensaios realizados e os requisitos da EN 634-2 [11], resulta o quadro 3.15.

Quadro 3.15. - Principais propriedades do Viroc medidas experimentalmente, comparadas com as da EN 634-2. [10]

	Original	6 meses (20°C/65%hr)	6 meses (ambiente)	48 meses (ambiente)	EN 634
Densidade (kg/m ³)	1228	1432	1398	1462	1000
MOR (N/mm ²)	10.62	13.10	10.50	14.33	9.00
MOE (x1000 N/mm ²)	5.91	8.63	7.11	11.03	4.50

Como se pode observar através do quadro 3.15. os valores obtidos experimentalmente das principais características do Viroc superam de forma folgada os requisitos normativos. No entanto apesar de o produto exceder os valores normativos é importante salientar que daí não advêm vantagens evidentes para o sistema ou para os utilizadores, dado o facto de este ser dimensionado a partir dos valores de origem. Contudo também é verdade que ao contrário do que acontece com alguns dos produtos concorrentes os painéis de Viroc não vêm as suas características a sofrerem fenómenos de degradação com o tempo (pelo menos nos primeiros 48 meses). Outro factor importante é o facto de a densidade dos painéis aumentar com o tempo e depois destes terem sido instalados, o que deverá ser tido em consideração no dimensionamento dos elementos de fixação e de suporte dos painéis.

Em relação às variações dimensionais do Viroc, em espessura e em comprimento, pode-se constatar através da análise das figuras 3.8. e 3.9., que ambas seguem aproximadamente a mesma curva de variação para a situação interior, a 20°C/65%hr, mas a variação dimensional ao longo do comprimento do painel, da ordem 0.04%, a que corresponderia uma diminuição de 1.2mm para um painel com 3000mm de comprimento, é significativamente inferior à sua variação em espessura, da ordem dos 0.20% a que corresponderá uma diminuição de 0.032mm. Recordando agora os quadros 3.3 e 3.4 apresentados no capítulo 3, verifica-se que as variações dimensionais dos painéis Viroc com o tempo se enquadram nas tolerâncias dimensionais do fabricante, motivo pelo qual se considera que estas variações dimensionais embora existam não serão significativas nem colocarão em causa a estabilidade/durabilidade dos painéis para o seu uso corrente.

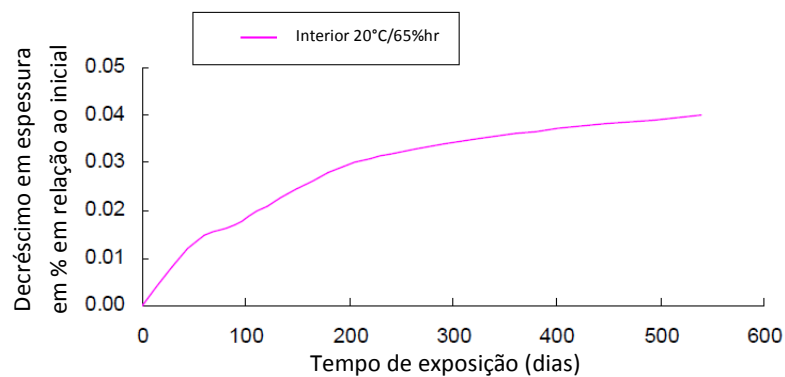


Figura 3.7. - Taxa de decréscimo em comprimento dos painéis Viroc. [10]

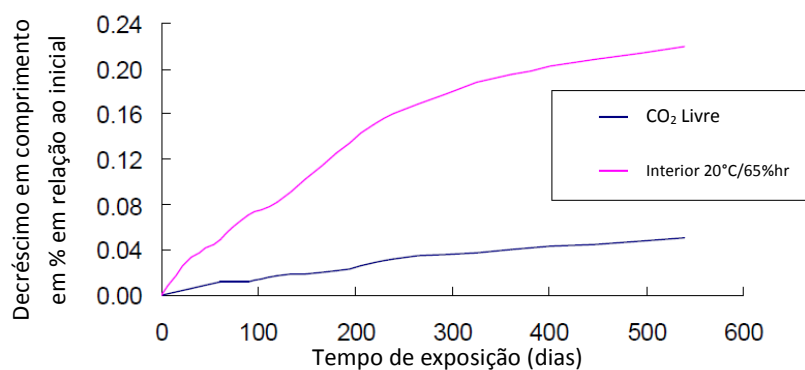


Figura 3.8. - Taxa de decréscimo da espessura dos painéis Viroc. [10]

4.

LIGHT STEEL FRAMING

4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo ir-se-á iniciar o estudo do desenvolvimento das soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte. A estratégia adoptada passa por começar a descrever, ainda que sucintamente, a estrutura portante das fachadas, dado se considerar ser fundamental um sólido conhecimento deste tipo de estruturas como forma de se lançarem as bases para o desenvolvimento das soluções no capítulo seguinte.

O conhecimento do sistema construtivo em Light Steel Framing passa por duas fases. Numa primeira fase obtêm-se conhecimentos teóricos e generalistas a respeito do sistema. Posteriormente numa segunda fase analisa-se a versatilidade do sistema através do contacto com diferentes soluções compatíveis com LSF.

4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA LSF

4.2.1. PRODUÇÃO

4.2.1.1. Fabrico

Existem variados métodos disponíveis no mercado para o fabrico de perfis enformados a frio de aço leve galvanizado. Consoante a dimensão da empresa produtora estes métodos poderão adquirir uma vertente mais ou menos industrializada. Dado o panorama do mercado nacional e das empresas portuguesas no tocante a edifícios que mobilizam este tipo de tecnologia construtiva, parece mais proveitoso, no âmbito do presente trabalho, falar a respeito de métodos disponíveis mais voltados para empresas de pequena dimensão. A razão desta escolha prende-se com a uma certa falta de concorrência no mercado português no que respeita a empresas produtoras deste tipo de perfis, do facto de muitas das empresas nacionais que investem nesta tecnologia em Portugal serem PME's e do facto de as grandes empresas nacionais que pretendem utilizar esta tecnologia no estrangeiro terem a possibilidade de usufruir de uma tecnologia produtiva que possa ser utilizada em qualquer parte do Mundo, proporcionando-lhes maior autonomia produtiva.

O método produtivo, mencionado neste trabalho, centra-se numa única máquina que partindo de um projecto elaborado através de software apropriado é capaz de produzir, quase autonomamente, todos os perfis necessários à execução do projecto, efectuando as furações, a perfilagem necessários. O equipamento em causa ocupa área reduzida em fábrica, cerca de 10m de comprimento por 1m de largura e é composto por três partes, a máquina propriamente dita, o desbobinador e o tapete, ver figura 4.1.

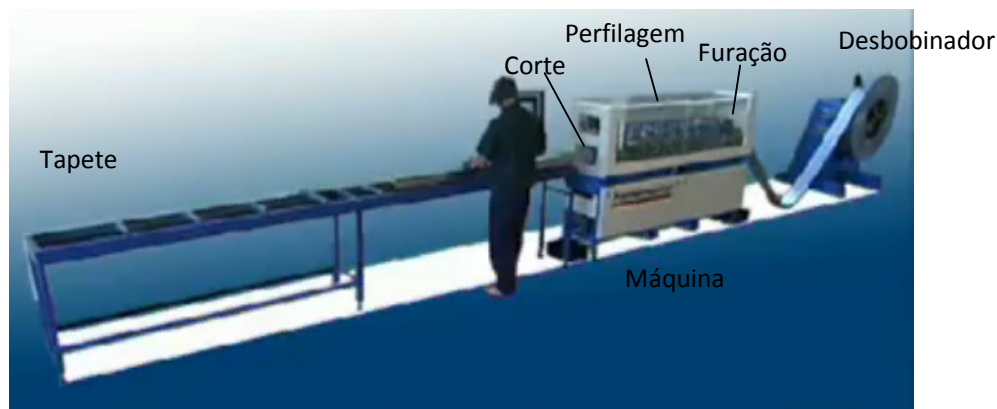


Figura 4.1. - Exemplo de uma máquina de produção de perfis LSF.

Como principais vantagens, além das referidas acima, este sistema de produção elimina os desperdícios provenientes de cortes, já que quando uma peça é cortada arranca logo a produção da seguinte e como desperdícios só existem os resultantes das furações e da chapa restante do desbobinador.

Empresas de grandes dimensões utilizarão outros tipos de equipamentos, provavelmente mais produtivos, mas não muito diferentes em termos conceptuais do apresentado.

4.2.1.2. Montagem e Ligações

A montagem em obra das construções que utilizam a tecnologia em aço leve galvanizado seguem essencialmente três métodos construtivos, a saber, o método da construção em estaleiro, a construção por painéis, a construção modular.

Construção no estaleiro:

Este é o método construtivo adoptado na generalidade das obras correntes e também nas obras em aço leve galvanizado, em Portugal. Neste método a maior parte das tarefas associadas ao processo construtivo são efectuadas no estaleiro de obras, como o corte dos perfis metálicos, a sua colocação, a aplicação dos painéis, a execução das treliças, entre outras tarefas. Este tipo de método construtivo pode ser utilizado em condições onde a pré-fabricação não é viável. Tem como principais vantagens, a dispensa por parte do construtor da existência de um local para a pré-fabricação do sistema e a facilidade de transporte das peças para o local da obra.

Por painéis:

As estruturas metálicas das paredes, lajes, coberturas, entre outras poderão ser montadas em fábrica, transportadas e montadas no local da obra, bem como alguns dos materiais de preenchimento como painéis OSB, Viroc e algum do isolamento térmico, contribuindo assim para a redução das tarefas a executar em obra, ver figura 4.2. Na obra os painéis são conectados uns aos outros, através de parafusos autoperfurantes. As principais vantagens deste método construtivo são, a velocidade de montagem, o maior controlo de qualidade que é possível implementar na produção dos painéis, a minimização das tarefas no estaleiro e o aumento da precisão dimensional devido às condições mais propícias em fábrica.

Ambos os métodos construtivos apresentados anteriormente são compatíveis com os sistemas “Ballon Framing” ou “Platform Framing”, já apresentados no capítulo 2.



Figura 4.2. - Painéis pré-fabricados de LSF. [12]

Modular

O método construtivo modular tem por base um sistema de módulos pré-fabricados tridimensionais, totalmente montados e acabados em fábrica, com todos os revestimentos também executados na fábrica e que são posteriormente transportados e colocados no local da construção ao lado uns dos outros ou em andares e que no seu conjunto formam o edifício. Ao saírem de fábrica já acabados isso quer dizer que também já levam todas as instalações eléctricas ou hidráulicas montadas, restando apenas para o local da obra efectuar as ligações entre eles e as redes públicas, ver figura 4.3. Como se percebe facilmente este método construtivo obriga a que exista um espaço bastante razoável na fábrica, a que se tenha em atenção o meio de transporte a utilizar aquando da opção das dimensões dos módulos, mas tem como grande aliado a rapidez de execução da obra que em alguns casos poderá mesmo ser de apenas alguns dias.



Figura 4.3. - Módulos pré-fabricados tridimensionais empilhados. [12]

Ligações

Apesar da existência de uma ampla variedade de conexões as ligações deste tipo de estruturas são normalmente efectuadas através de parafusos auto perfurantes de aço e carbono recobertos com uma protecção zinco-electrolítica. A escolha do tipo de parafuso mais adequado a cada ligação dependerá, entre outras coisas, do tipo e espessura dos materiais a conectar, da resistência necessária e das condições do carregamento.

No quadro 4.1., são apresentados alguns dos parafusos mais correntemente utilizados e respectivas características.

Quadro 4.1. - Parafusos mais utilizados nas ligações do sistema LSF.

Identificação	Características	Ilustrações [12]
Cabeça lentilha e ponta broca	Ligações metal/metal. Permite fixar chapas de aço sem que estas se rasguem e sem causar saliências nas placas de fechamento. Normalmente utilizado na ligação montantes e guias.	
Cabeça sextavada e ponta broca	Ligações metal/metal. Utilizado para ligações entre painéis, perfis de treliças, reforços de vigas, etc. Não pode ser usado onde uma placa de fechamento será encostada.	
Cabeça trombeta e ponta broca	Ligações gesso ou OSB/metal. Permite que a cabeça fique totalmente enterrada no material que perfura (gesso ou OSB).	
Cabeça trombeta e ponta broca com asas	Ligações Placas cimentícias (Viroc)/metal . Permite que a cabeça fique totalmente enterrada na placa cimentícia. As asas que se localizam entre a ponta e a rosca, propiciam uma furação de maior diâmetro na placa, não permitindo que os filamentos do material que a compõem obstruam a perfuração. Quando encontram o perfil metálico da estrutura estas asas soltam-se.	

4.2.2. FUNDAÇÕES

Devido às características de leveza dos edifícios em aço leve galvanizado, as tensões transmitidas por estes aos terrenos de fundação não são muito elevadas, contudo é sempre necessária a execução de fundações de forma contínua, ao longo da base das paredes, dado que estas costumam apresentar carácter estrutural.

As fundações deverão ser executadas de acordo com o processo de construção convencional e protegidas contra a humidade ascensional. Existem fundamentalmente dois tipos de fundação, o ensoleiramento geral e a sapata corrida. A escolha por qualquer destas opções estará dependente das características do solo de fundação, da posição do nível freático, da posição do nível do solo mais firme e da topografia do terreno.

Dada a leveza da construção uma questão importante a ter sempre presente em edifícios deste tipo é a movimentação da estrutura devido à acção do vento, ver figura 4.4. As movimentações que devido à acção do vento estas estruturas podem apresentar, são de translação ou de tombamento, quando exista assimetria na direcção dos ventos. A fim de evitar este tipo de movimentação os edifícios em LSF devem estar bem ancorados à fundação.

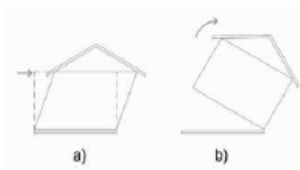


Figura 4.4. - Movimentação da estrutura devido à acção do vento. a) Translação e b) Tombamento [12]

A escolha da ancoragem mais apropriada, ver figura 4.5., deverá ter em conta as acções a que o edifício estará sujeito e vão desde as cargas actuantes, às condições climáticas, pelo tipo de fundação, até à possibilidade da ocorrência de sismos. O dimensionamento das ancoragens deverá ser efectuado durante o cálculo estrutural e os modos de fixação mais utilizados são a química com barra rosca e a expansível com parabolts, figura 4.6.



Figura 4.5. - Elementos de ancoragem dos painéis das paredes em LSF. [13]



Figura 4.6. - Modo de fixação expansível com parabolts. [12]

Ensoleiramento geral

O ensoleiramento geral é um tipo de fundação que tanto transmite as cargas ao terreno como funciona como pavimento térreo. Os elementos fundamentais deste tipo de laje são as vigas localizadas por baixo das paredes do edifício e a base de betão que existe entre elas e que ao fazer a ligação entre as mesmas também permite distribuir as tensões pelo terreno de fundação. Este tipo de fundação obedece aos métodos de dimensionamento tradicionais para outros tipos de construção.

Sapata corrida

A fundação através de sapata corrida é especialmente adequada para estruturas com paredes resistentes. A sapata pode ser formada de diferentes materiais, desde betão armado, blocos de betão ou de alvenaria. Nestes casos o pavimento térreo poderá ser constituído por laje de betão ou de forma

similar aos pisos intermédios, através de vigas apoiadas na sapata e revestidas pelos materiais de revestimento da superfície do pavimento.

4.2.3. ESTRUTURA

4.2.3.1. Paredes

Neste tipo de estruturas as paredes são usualmente resistentes e constituídas por elementos horizontais, guias, e elementos verticais, os montantes. Em geral, a distância entre os montantes é de 400 ou 600mm, algo que poderá sofrer alguma variação em função das solicitações a que cada perfil estará sujeito, estes por sua vez estarão conectados, através de parafusos galvanizados, já referidos no presente capítulo, pelos seus extremos, inferior e superior, aos perfis guia, formando painéis estruturais. Estes estarão sujeitos a cargas horizontais, provenientes da acção dos ventos ou de abalos sísmicos, e a cargas verticais, oriundas do peso próprio da estrutura e da sobrecarga devido à utilização.

Relativamente às cargas verticais está exposto na figura 4.7. o modo como os montantes transmitem as cargas provenientes dos pisos superiores à fundação, e na figura 4.8. também está demonstrada a forma como essas mesmas cargas são transmitidas à fundação no caso de aberturas, onde se chama a atenção para a existência da verga posicionada superiormente à abertura e que irá distribuir as tensões pelas ombreiras adjacentes à abertura.

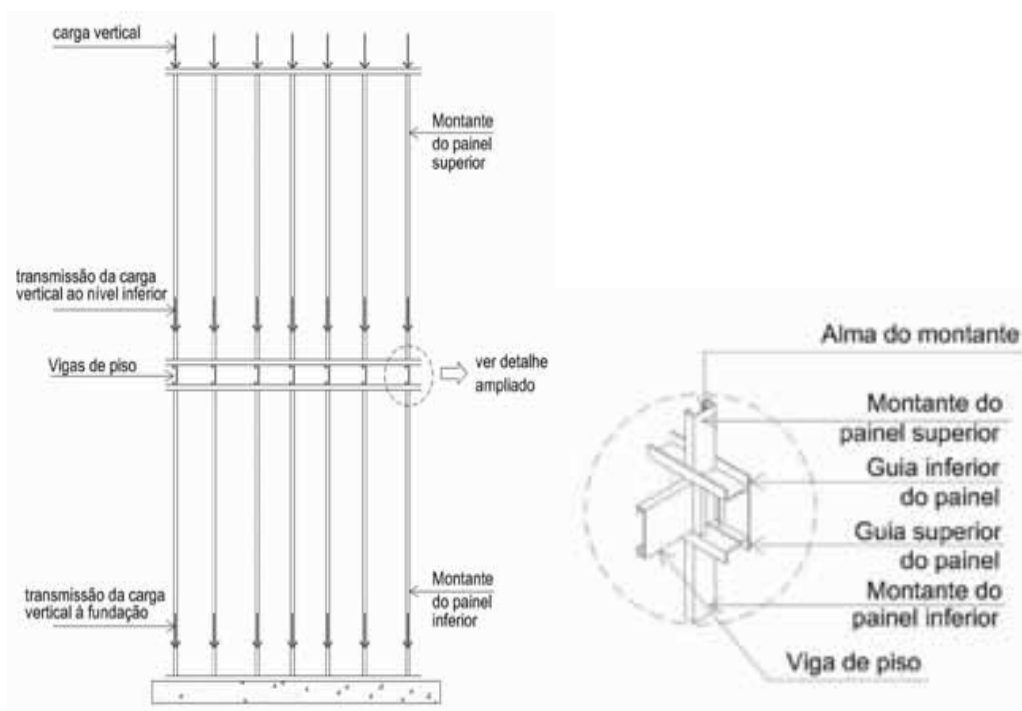


Figura 4.7. - Esquema da transmissão das cargas verticais à fundação. [12]

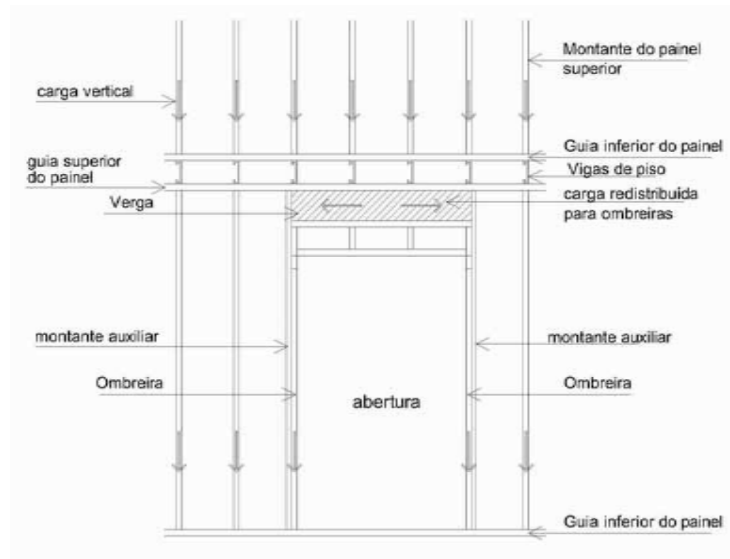


Figura 4.8. - Esquema da transmissão das cargas verticais à fundação numa zona com abertura. [12]

Os painéis estruturais devem também ser travados horizontalmente, através de fitas metálicas, a fim de aumentar a resistência do painel, ver figura 4.9. Este travamento horizontal tem como objectivo prevenir a rotação dos montantes quando sujeitos a cargas verticais de compressão, contribuindo para a diminuição da sua esbelteza e consequentemente do seu bambeamento, resultando em maior resistência para o painel estrutural.



Figura 4.9. - Travamento horizontal dos painéis estruturais. [12]

No que se refere às cargas horizontais existem elementos de contraventamento que têm como função a absorção destes esforços, a sua redistribuição pela estrutura e consequente transmissão à fundação. Esses elementos de contraventamento são normalmente compostos por fitas metálicas dispostas em “X”, no caso de não ser possível a instalação destas devido à existência de numerosas aberturas no painel, é possível efectuar o contraventamento através de perfis semelhantes aos montantes dispostos em forma de “K”. Na figura 4.10. estão representados ambos os modos de contraventamento.

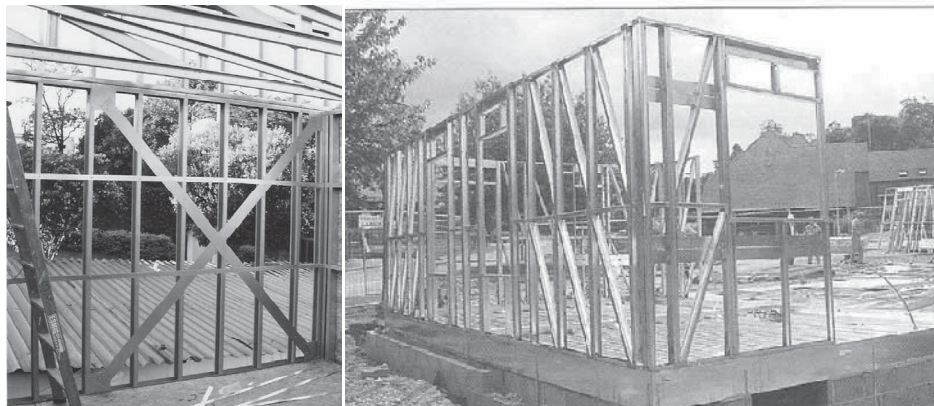


Figura 4.10. - Contraventamento em “X” (esq.) e contraventamento em “K” (dir.). [12]

A absorção das cargas horizontais também pode ser efectuada através de diafragma rígido, ou seja, através dos painéis estruturais de OSB, que irão fechar os espaços entre os montantes, ou outros com características semelhantes como painéis Viroc, que absorvem as tensões oriundas das cargas horizontais e depois têm comportamento muito semelhante aos contraventamentos acima mencionados, transmitindo as cargas à fundação.

Ao erigir qualquer parede existe sempre a necessidade de solucionar o problema do encontro entre painéis estruturais de diferentes paredes. Existe uma grande variedade de soluções construtivas para responder a este tipo de situações e que dependerão do número de painéis a encontrar, nos ângulos formados entre si e a resistência que é necessário conferir à solução. Na figura 4.11. está representado, em planta, o encontro entre dois painéis num canto, situação muito comum em qualquer edificação.

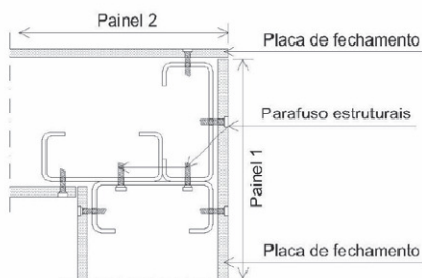


Figura 4.11. - Ligação entre painéis de canto (planta). [12]

4.2.3.2. Lajes

A execução das lajes de piso em LSF segue os mesmos princípios enunciados para as paredes, com vigamento em perfis de aço galvanizado com espaçamento constante e de acordo com as cargas a que cada perfil estará sujeito. As lajes serão constituídas por vários outros perfis para além das vigas, como descrito na figura 4.12.

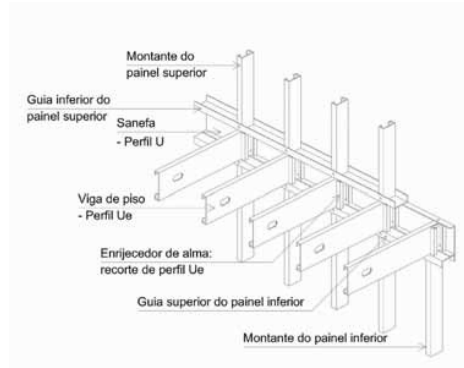


Figura 4.12. - Identificação dos elementos constituintes de uma laje de piso em LSF. [12]

Numa estrutura em LSF as lajes de piso podem ser materializadas de muitas formas consoante a natureza do contra piso, classificando-se como húmidas no caso de existir uma estrutura metálica ondulada e preenchida superiormente por betão, ou seca no caso de serem aplicados painéis OSB, Viroc, ou outros ao vigamento metálico da laje. Usualmente o tipo de laje mais utilizado em sistema LSF é a laje seca.

À semelhança do que acontece com as paredes, também as lajes carecem de travamento horizontal, a fim de reduzir ou eliminar os problemas de vibração que as estruturas leves por vezes padecem. Esse travamento horizontal poderá ser assegurado através de perfis com as mesmas características dos utilizados para as vigas, mas instalados entre estas, ou através da utilização de fitas metálicas por entre as vigas e em forma de “X”, tal como ilustra a figura 4.13. para o caso de uma laje seca e contra piso de OSB.



Figura 4.13. - Exemplo de laje LSF seca, revestida a painéis de OSB e com fita de travamento horizontal. [13]

4.2.3.3. Coberturas

No caso das coberturas existe dentro da filosofia do LSF uma grande variedade de soluções disponíveis, que vão desde coberturas planas a inclinadas, e nestas desde coberturas estruturadas em vigas a estruturas treliçadas.

As coberturas planas mais utilizadas em terraço, são normalmente resolvidas através do sistema de laje húmida já enunciado anteriormente, apenas com a diferença de agora a camada de betão ter uma ligeira pendente para escoamento das águas. Quando por motivos arquitectónicos não se prevê a utilização como terraço da cobertura plana, ficando oculta por platibanda, são normalmente utilizadas lajes estruturais idênticas às lajes de piso recobertas por painéis sandwich. Quando se pretenda obter vãos maiores e sem apoios intermédios em coberturas planas são utilizadas treliças planas, de que são

exemplo as treliças expostas na figura 4.14. Estas treliças também podem ser utilizadas nas lajes de piso que suportam grandes cargas e vencem grandes vãos.

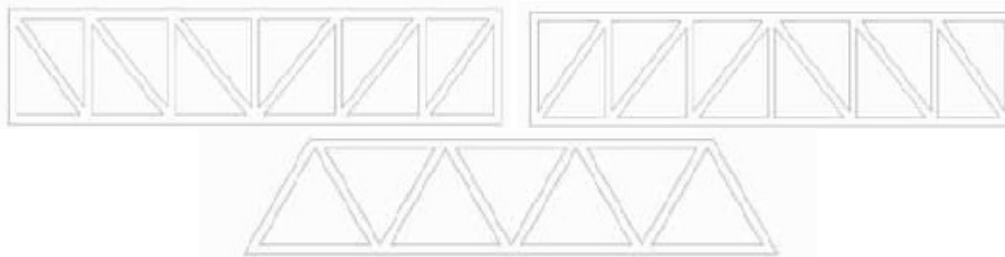


Figura 4.14. - Alguns tipos de treliças planas. [12]

No respeitante às coberturas inclinadas em LSF, estas seguem de perto as estruturas utilizadas para os telhados de madeira. As estruturas das coberturas em LSF podem ser concebidas de dois modos distintos, através de painéis inclinados semelhantes aos utilizados para as lajes ou através de estruturas treliçadas.

O método através de painéis inclinados é mais adequado para estruturas realizadas “in situ” e quando se pretende utilizar menor quantidade de aço do que nas treliças. Neste método as vigas dos painéis inclinados apoiam-se na estrutura da fachada e dada a inclinação pretendida estas encontram-se na cumeeira, zona mais elevada do telhado. A ligação das vigas dos painéis à estrutura da fachada é assegurada por enrijecedores de alma fixados às guias superiores da estrutura portante das fachadas, ver figura 4.15.

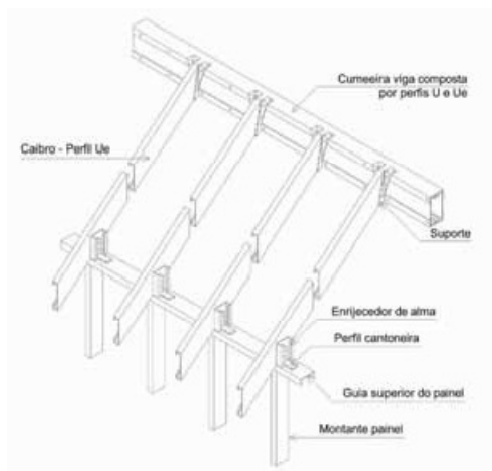


Figura 4.15. - Estrutura de uma cobertura inclinada em painéis. [12]

Neste tipo de estruturas para telhados, cargas laterais provocadas por ventos poderão causar instabilidade lateral quando as vigas constituintes dos painéis não estiverem contraventadas e a trabalhar em conjunto. À semelhança do que acontece para as lajes, os contraventamentos disponíveis nestes casos poderão ser desde perfis em “U”, fitas de aço galvanizado ou painéis estruturais em OSB, Viroc ou outros, que garantam a ligação entre as vigas conferindo maior rigidez e estabilidade ao conjunto.

As estruturas treliçadas apresentam como principais vantagens, face às anteriores, o facto de permitirem vencer vãos maiores se apoios intermédios e de poderem vir prontas de fábrica. Existem vários modelos de treliças disponíveis, ver figura 4.16., onde também está descrito os elementos constituintes de uma treliça.

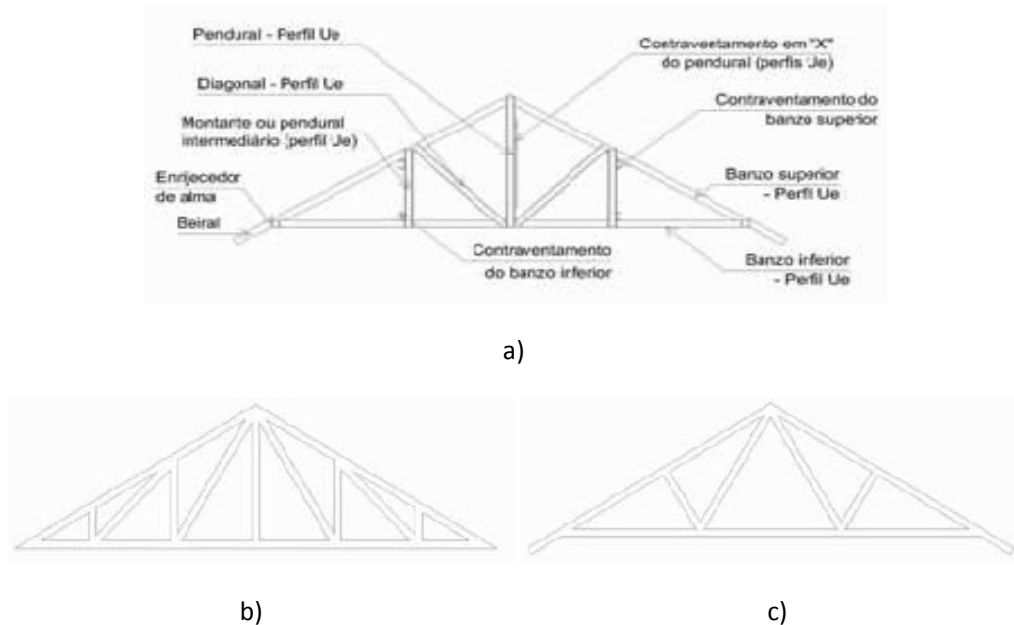


Figura 4.16. - Alguns tipos de treliças. a) Treliça Howe, b) Treliça Pratt e c) Treliça Fink. [12]

As estruturas treliçadas também apresentam instabilidade lateral devido ao vento, quando a trabalhar de forma individual, e como tal também necessitam de contraventamento a fim de apresentarem comportamento como um conjunto. Este contraventamento pode ser lateral, ver figura 4.17., quando composto por perfis metálicos fixados perpendicularmente às treliças, vertical ou em "X", quando for constituído por uma estrutura vertical plana formada por perfis metálicos cruzados instalados perpendicularmente ao plano das treliças, impedindo a sua rotação, ou materializado pelos próprios painéis OSB, Viroc ou outros com características semelhantes.

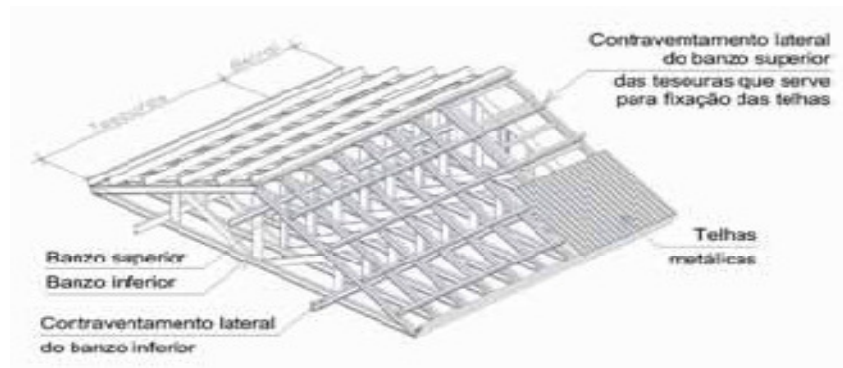


Figura 4.17. - Estrutura de telhado treliçada e contraventada lateralmente. [12]

O revestimento exterior dos telhados inclinados é normalmente em telha cerâmica, o que obriga à utilização de painéis OSB, Viroc ou outros, e à instalação de ripado adequado ao tipo de telha.

4.2.4. INSTALAÇÕES

Em qualquer edifício existe a necessidade de o dotar de instalações técnicas que permitam satisfazer as necessidades básicas dos seus utilizadores. Estas instalações são, essencialmente, de dois tipos, eléctricas e hidráulicas, e para o caso dos edifícios em LSF, não diferem das instalações mais comuns de qualquer outro tipo de edifício. Neste tipo de sistema construtivo, em LSF, é muito comum os perfis conterem furações apropriadas para a passagem deste tipo de instalações, no entanto existe a necessidade de salvaguardar alguns cuidados na colocação destas instalações, como o cuidado de proteger os orifícios nos perfis metálicos por onde passam as tubagens, a fim de prevenir ruídos de percussão, e o cuidado de no caso de fixação das tubagens directamente à estrutura metálica, interpor sempre entre as instalações e a estrutura materiais resilientes.

No caso de outras instalações diferentes das acima referidas, dever-se-á ter em consideração o que acabou de ser explicitado, contudo dever-se-á analisar a sua adequabilidade caso a caso.

4.2.4.1. Eléctricas

Como mencionado anteriormente não existe qualquer impedimento quanto à instalação de redes eléctricas, pelo sistema LSF, contudo existe a necessidade de assegurar que os cabos eléctricos estão devidamente isolados e nunca estarão em contacto com a estrutura metálica. Para isso é fundamental que se recorra à protecção dos orifícios dos perfis com material não condutor, de acordo com a figura 4.18., a fim de evitar qualquer possibilidade de contacto entre os fios e os perfis ou de estes danificarem os cabos que por sua vez electrificariam a estrutura metálica do edifício, representando sério risco para a segurança dos utilizadores. Na figura 4.18. é também apresentada uma solução para a instalação de uma caixa eléctrica numa estrutura LSF, que atesta a simplicidade e a similaridade de uma instalação eléctrica num edifício em LSF quando comparada com a de um edifício tradicional.

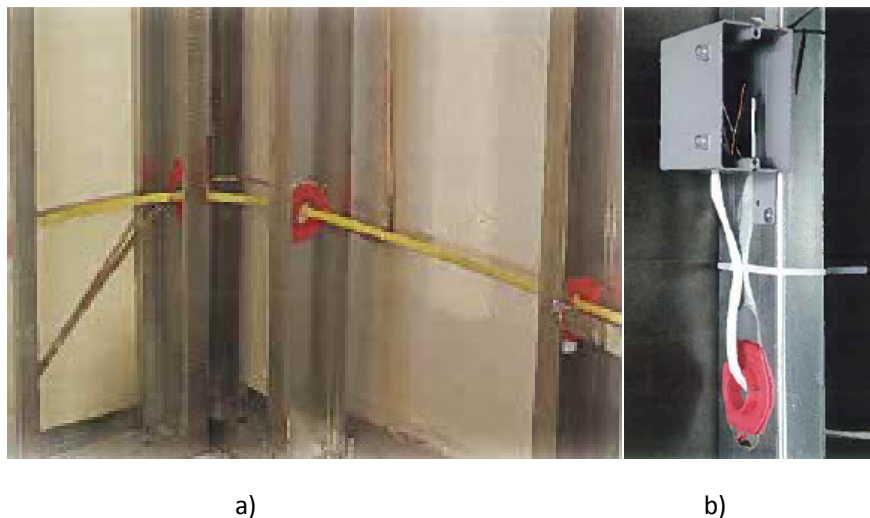


Figura 4.18. - a) Isolamento dos orifícios dos montantes com material não condutor. b) Exemplo de uma caixa de electricidade. [13]

4.2.4.2. Hidráulicas

No que às instalações hidráulicas diz respeito, estas poderão ser de dois tipos, abastecimento ou drenagem, ver figura 4.19., respectivamente, e irão circular interiormente às paredes e pavimentos, sendo neste caso de salientar os orifícios especialmente grandes existentes nas vigas de piso para permitirem a passagem de canalizações de drenagem que normalmente apresentam diâmetros superiores. Ambos os tipos de instalações hidráulicas estarão sujeitos ao referido em 5.5.4., tendo presente que o isolamento acústico será mais premente nas instalações de drenagem.



Figura 4.19. - Rede de drenagem de águas residuais (esq.) [13] e rede de abastecimento de água (dir.).
(Gestedi)

4.3. SOLUÇÕES VARIANTES EM LIGHT STEEL FRAMING

No capítulo 2 já foi feita uma apresentação e introdução histórica da construção em Light Steel Framing. Neste capítulo ir-se-á falar das soluções que têm por base este tipo de estruturas e das suas variantes.

Embora o sistema de construção em Light Steel Framing possa surgir no mercado sob a forma de variadíssimas soluções existe uma que se tem imposto comparativamente às restantes a nível nacional e também mundial, que é a solução que tem por base o preenchimento dos espaços entre os montantes de aço leve galvanizado por placas OSB, isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS, lã mineral pelo interior e revestimento interior por painéis de gesso cartonado. O quadro 4.2. expõe mais detalhes sobre a solução.

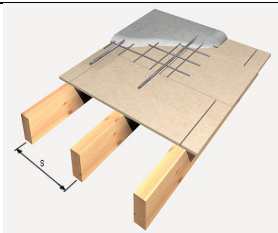
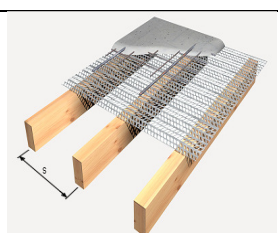
Quadro 4.2. – Solução construtiva mais frequente em Light Steel Framing. (ilustrações: Gestedi)

Elemento	Caracterização da solução	Ilustração
Fachadas		
Fachada	Estrutura metálica em aço leve galvanizado. Preenchimento das aberturas com painéis OSB. Isolamento térmico pelo exterior com poliestireno expandido. Reboco delgado sobre isolamento. Revestimento interior dos painéis OSB com lã mineral. Revestimento interior final com painéis de gesso cartonado.	
Pavimentos		
Pavimentos	Vigas ou treliças de aço leve galvanizado, com painéis de OSB a formar a estrutura de piso resistente e acabamento superficial variado. Acabamento inferior em tecto falso com painéis de gesso cartonado.	
Coberturas planas ou em terraço		
Cobertura	Estrutura treliçada de aço leve galvanizada, revestida superiormente por painéis OSB, com isolamento térmico em poliestireno expandido colocado exteriormente e revestimento exterior final variado.	
Paredes divisórias		
Parede divisória	Estrutura metálica simples em aço leve galvanizado, revestimento em painéis de gesso cartonado em ambas as faces e com isolamento acústico/térmico em lã mineral no interior.	

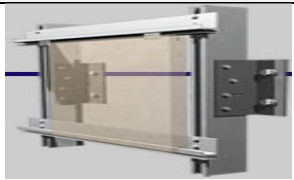
Em relação à execução das fundações ou à possibilidade de existência de pisos em cave, tal como em qualquer edifício pré-fabricado, é necessário que a realização desses elementos seja realizada através dos métodos construtivos tradicionais, para que depois sirvam de base de apoio para a estrutura leve à superfície.

Tal como mencionado anteriormente o sistema construtivo em aço leve galvanizado é um sistema bastante versátil e permite a sua conjugação com muitas outras soluções construtivas. Nos quadros 4.3. a 4.5. são expostas algumas das soluções possíveis mais conhecidas e empregues.

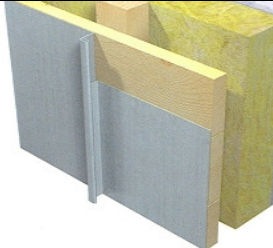
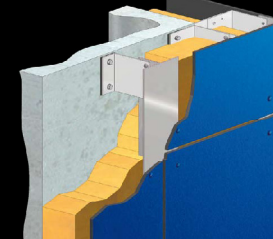
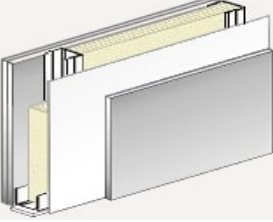
Quadro 4.3. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em lajes.

Lajes de Piso		
Solução	Caracterização	Ilustração
Laje mista de chapa colaborante	Laje mista de 10cm de altura em chapa colaborante de aço galvanizado Aço S400 NR com 1kg/m ² Rede electrossoldada AR42, aço A500 EL Betão de classe de resistência C25/30 Tudo fixado à estrutura metálica através de conectores	
Laje de painel OSB e camada de compressão em betão armado	Laje de vigotas de aço leve, mas também pode ser em madeira tratada Painel hidrofugado de aglomerados de madeira de 19mm de espessura Aço S400 NR com 1,1kg/m ² e malha electrossoldada AR42, aço S500 EL Camada de compressão em betão de classe de resistência C25/30 com 4cm de espessura Acabamento superficial variado	
Laje de cofragem metálica e camada de compressão em betão armado	Laje de vigotas de aço leve, mas também pode ser em madeira tratada Cofragem "Nervometal" de 0,5mm de espessura Aço S400 NR com 1,1kg/m ² Camada de compressão em betão de classe de resistência C25/30 com 4cm de espessura Acabamento superficial variado	
Laje alveolar pré-fabricada de betão pré-esforçado	Laje alveolar de betão pré-esforçado de 12cm de espessura e 35kN*m/m de momento flector resistente Aço S400 NR e betão da classe de resistência C25/30 Vão livre de piso até 3m Armadura de momentos negativos materializada por aço S400 NR com 4kg/m ² betonado com betão C25/30 - com ou sem camada de compressão - apoio directo ou indirecto	

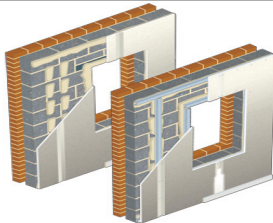
Quadro 4.4. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em fachadas.

Fachadas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Fachada Ventilada		
Pano exterior em pedra natural	Placas de pedra (coincidente com o espaçamento entre montantes das estruturas de aço galvanizado leve que é de 60cm) Fixadas com ancoragens pontuais reguláveis nas 3 direcções, de aço inoxidável tipo AISI 304, fixados ao paramento de suporte com calços especiais para estruturas de aço galvanizado leve Espaçamento entre a placa e o suporte de pelo menos 2cm	

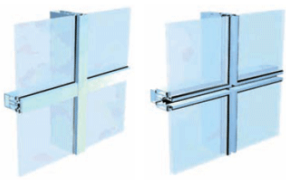
Quadro 4.4. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em fachadas. (Cont.)

Fachadas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Fachada Ventilada		
Placa cerâmica de grés porcelânico	Revestimento de grés porcelânico de grande formato (compatível com o espaçamento entre montantes das estruturas de aço galvanizado leve que é de 60cm) Junta contínua com grampo à vista, sistema FV Perfil em “T” e separador em “L” em alumínio, parafusos perfil-separador em aço inoxidável com bucha mecânica e parafusos auto-perfurantes perfil-grampo de aço inoxidável AISI 304	
Placa cerâmica extrudida	Placa cerâmica extrudida de 1,4cm de espessura e dimensões de 24x60cm (coincidente com o espaçamento entre montantes das estruturas de aço galvanizado leve que é de 60cm) Perfis de suporte verticais de alumínio tipo Omega, grampos de aço inoxidável para suporte das placas, consolas para sustentação e retenção dos perfis verticais fixas através de ancoragens e de parafusos de aço inoxidável	
Painel zincotitânio	Painel de chapa zincotitânio de 0,8mm de espessura e união longitudinal de chapas em sistema de junta elevada de 25mm de altura através de engate simples Fixação mediante ganchos zincados ou de aço inoxidável a base de apoio contínua de painel OSB de classe hidrófuga 3 e 22mm de espessura Apoios em madeira ou aço galvanizado e espaçados de 430mm (o que implica que neste sistema o espaçamento entre montantes tenha de ser menor) e que garantem a formação de caixa de ar de 30mm de altura sobre o isolamento térmico	
Placa de resinas termoendurecíveis	Placa de resinas termoendurecíveis (desde que as medidas sejam coincidentes com o espaçamento entre montantes das estruturas de aço galvanizado leve que é de 60cm) Fixação à vista com parafusos sobre estrutura de aço galvanizado	
Placa de cimento Portland	Estrutura de aço galvanizado de canais horizontais e verticais com uma modulação de 400mm. Isolamento térmico entre os perfis em lã mineral Colocação de barreira impermeável entre os perfis e a placa de cimento Portland Placa de cimento Portland de 12,5mm de espessura aparafusada à estrutura metálica e recobrimento de juntas com argamassa e fita de juntas Revestimento exterior variado	

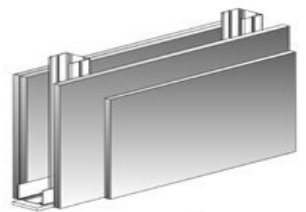
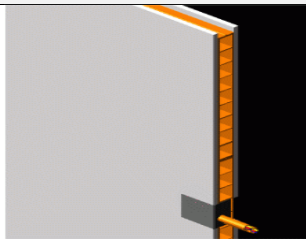
Quadro 4.4. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em fachadas. (Cont.)

Fachadas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Alvenarias e revestimentos interiores de fachadas exteriores		
Pano interior composto, de tijolo e isolamento integrado	Alvenaria de tijolo cerâmico com furação simples e isolamento de poliestireno expandido incorporado e com ligação macho-fêmea Assente com argamassa pré doseada Acabamento superficial variado	
Blocos de vidro moldado	Blocos furados de vidro Assentamento com cimento cola branco e varões de aço S500 NR de 6mm Juntas entre peças de 1cm de espessura e perimetrais de 3,5cm, sendo as laterais e superior preenchidas com material elástico e cartão asfáltico e a inferior com banda de neopreno	
Revestimento interior de placas de gesso cartonado, com ou sem estrutura portante metálica	Painéis de gesso cartonado de 15mm de espessura aparafusados directamente a perfis metálicos tipo Omega de aço galvanizado previamente ancorados à fachada a cada 600mm com parafusos de aço	
Revestimento interior de placas de resinas termoendurecíveis	Placas de resinas termoendurecíveis Fixação à estrutura metálica através de fixação oculta sobre mestras de aço galvanizado de 60mm de largura e separadas entre si de 400mm Fixação das mestras à estrutura de suporte de aço galvanizado leve por parafusos de aço	
Ligeiras		
Fachada simples de painel de chapa perfilada de aço	Fachada formada por painéis de chapa perfilada simples nervurada de aço galvanizado de 0,6mm de espessura e 30mm de altura de onda Fixação a estrutura de suporte de aço galvanizado leve através de parafusos de aço autoperfurantes	

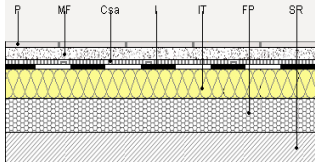
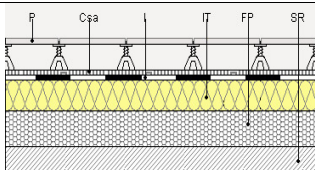
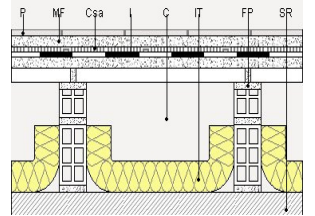
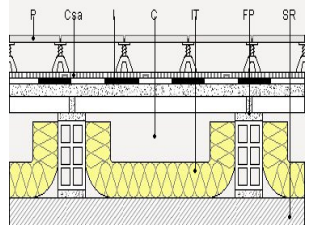
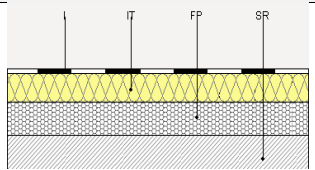
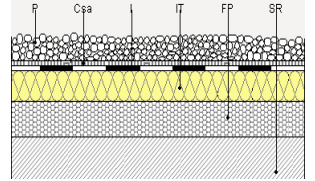
Quadro 4.4. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em fachadas. (Cont.)

Fachadas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Ligeiras		
Fachada de dois panos de painel de chapa perfilada de aço com isolamento intermédio	Fachada formada por dois panos de chapa perfilada nervurada de aço galvanizado de 0,6mm de espessura e 30mm altura de onda com isolamento térmico intermédio em bandeja de suporte de 0,6mm de espessura Isolamento térmico através de lã de vidro não higroscópica, revestida numa das faces por um véu de vidro reforçado com 60mm de espessura Tudo fixado a estrutura de suporte de aço galvanizado leve através de parafusos de aço autoperfurantes	
Fachada de painel sandwich, isolante, de aço ou alumínio	Painel sandwich isolante para fachada, de 35mm de espessura, formado por dois paramentos de chapa lisa de aço galvanizado de espessuras 0,5mm cada, com junta preparada para fixação com parafusos ocultos Isolamento intermédio em poliuretano de densidade média 40kg/m2	
Sistema de placas de cimento Portland	Placa de cimento Portland de 12,5mm de espessura aparafusada a estrutura dupla de aço galvanizado leve composto por canais horizontais e montantes verticais paralelos com uma modulação de 400mm Entre os perfis e a placa exterior deve-se colocar uma barreira impermeável Entre os perfis deve ser colocada outra placa de cimento Portland de 12,5mm de espessura Isolamento térmico posicionado entre os perfis e materializado por lã mineral Fechamento da estrutura pelo interior com novo painel de cimento Portland Revestimento final variado	
Fachadas cortina		
Alumínio	Janelas realizadas com perfis ocultos desde o exterior da fachada cortina. Ancoragens de aço zincadas. Perfil de união entre elementos de divisão e montantes Corte da ponte térmica Fachada composta por 60% de superfície opaca. Superfície transparente fixa realizada com vidro reflectante de 6 mm pelo exterior, caixa de ar de 12 mm e vidro incolor de 6 mm pelo interior.	

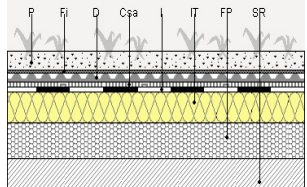
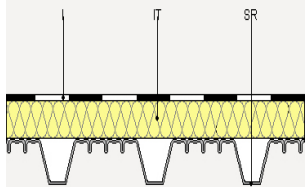
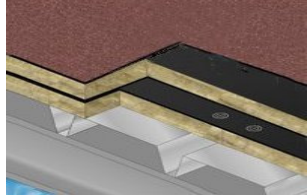
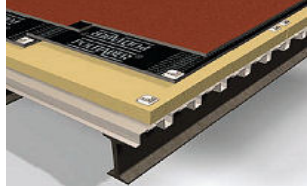
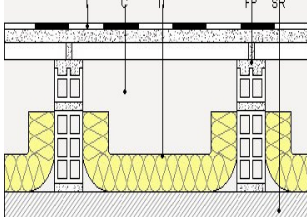
Quadro 4.5. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em divisórias.

Divisórias		
Solução	Caracterização	Ilustração
Estruturas autoportantes		
Placas de gesso cartonado	Estrutura autoportante simples de perfis de aço galvanizado de 48mm de largura, formada por montantes verticais e canais horizontais num módulo de 400mm Fixação aparafusada de dois painéis de gesso cartonado de 15mm de espessura de ambas as faces da estrutura Tratamento das juntas com argamassa e fita para juntas Acabamento superficial variado	
Placas de fibrocimento	Estrutura autoportante simples de perfis de aço galvanizado de 50mm de largura, formada por montantes verticais e canais horizontais num módulo de 400mm Fixação aparafusamento de dois painéis de cimento Portland de 12,5mm de espessura de ambas as faces da estrutura Tratamento das juntas com argamassa e fita para juntas Acabamento superficial variado	
Placas de resinas termoendurecidas	Estrutura autoportante simples de perfis de aço galvanizado de 70mm de largura, formada por montantes verticais e canais horizontais num módulo de 400mm Sistema de fixação oculta Painéis de resinas termoendurecidas	
Paredes divisórias		
Cerâmica e placas autoportante	Pano de tijolo cerâmico com furação simples de grande formato assente com argamassa Revestimento em ambas as faces por painéis de gesso cartonado fixados por colagem com argamassa estendida por toda a parede	

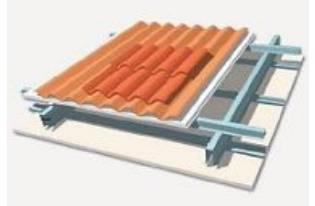
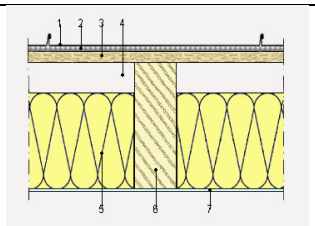
Quadro 4.5. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em Coberturas.

Coberturas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Planas		
Acessíveis não ventiladas		
Pavimento fixo	P – Protecção MF – Material de fixação ou nivelção Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente	
Pavimento flutuante	P – Protecção Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente	
Acessíveis ventiladas*		
Pavimento fixo	P – Protecção MF – Material de fixação ou nivelção Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas C – Caixa de ar ventilada IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente	
Pavimento flutuante	P – Protecção Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas C – Caixa de ar ventilada IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente	
Não acessíveis não ventiladas		
Autoprotégida*	I – Impermeabilização IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente	
Godo	P – Protecção Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentes SR – Suporte resistente Também possível com impermeabilização através de geomembranas**, na versão de cobertura invertida	

Quadro 4.5. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em Coberturas.
(Cont.)

Coberturas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Planas		
Não acessíveis não ventiladas		
Ajardinada	P – Protecção Fi – Camada filtrante D – Camada drenante Csa – Camada separadora sob protecção I – Impermeabilização, através de lâminas asfálticas IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentos SR – Suporte resistente	
Deck*	I – Impermeabilização IT – Isolamento térmico SR – Suporte resistente em chapa nervurada autoportante em aço galvanizado	
Altas prestações acústicas*	Suporte em chapa nervurada autoportante em aço galvanizado Isolamento térmico e acústico em painel multicamada de 85mm de espessura Impermeabilização em mono ou bi camada em betume modificado com elastómero SBS, de superfície autoprottegida e colada com maçarico. Fixação ao suporte através de fixadores mecânicos	
Deck com fixação mecânica*	Suporte em chapa nervurada autoportante em aço galvanizado Isolamento térmico em painel de lã de rocha hidrofugada de 40mm de espessura Impermeabilização em mono ou bi camada em betume modificado com elastómero SBS Fixação ao suporte por meio de 3 parafusos de aço de 65mm de comprimento por cada m² de cobertura	
Não acessíveis ventiladas		
Autoprottegida*	I – Impermeabilização C – Caixa de ar ventilada IT – Isolamento térmico FP – Formação de pendentos SR – Suporte resistente	

Quadro 4.5. – Soluções de elementos construtivos compatíveis com sistema Steel Frame, em Coberturas.
(Cont.)

Coberturas		
Solução	Caracterização	Ilustração
Inclinadas		
Chapas de aço	Chapas de aço galvanizado, pré-lacado ou painel sandwich, autoportantes e fixadas directamente à estrutura por meio de fixadores metálicos.	
Telhas	Estrutura de suporte metálica em aço galvanizado Isolamento térmico em painel rígido de poliestireno extrudido de 30mm de espessura Impermeabilização através de placas sob telha de fibrocimento Revestimento superior de telha canudo	
Ardósia	Vigamento estrutural em madeira ou aço galvanizado Painel multicamada sobre travejamento, com isolamento térmico incorporado Impermeabilização através de monocamada de tela asfáltica colada Recobrimento em peças de ardósia de forma e qualidade diversificada	
Telhas asfálticas	Vigamento estrutural em madeira ou aço galvanizado Painel multicamada sobre travejamento, com isolamento térmico incorporado Impermeabilização através de mono ou bi camada em primário asfáltico e fixada mecânicamente Recobrimento em telha asfáltica rectangular	
Zincotitânio	1 – Recobrimento em chapa de zincotitânio 2 – Lâmina de separação estruturada 3 – Painel OSB 4 – Camada ventilada 5 – Isolamento térmico 6 – Vigamento de madeira (mas também pode ser metálico) 7 – Barreira pára-vapor	

* Só tradicional.

** Só invertida.

5.

EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO E DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES DE PAREDES DE FACHADA

5.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo inicia-se com a exposição das exigências de desempenho que qualquer solução de parede de fachada, bem concebida, deve satisfazer a fim de desempenhar correctamente as suas funções.

Posteriormente são desenvolvidas soluções de fachada leves para edifícios de pequeno porte onde se procurou, sempre que possível, utilizar ao máximo os painéis Viroc e onde se procede à respectiva caracterização de cada solução. Este capítulo culmina na pormenorização das ligações entre a fachada e as várias singularidades de um edifício.

Devido à limitação do presente trabalho a cem páginas escritas, alguns dos desenhos de pormenor das ligações da fachada com os restantes elementos construtivos terá de seguir em anexo.

5.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DE PAREDES DE FACHADA LEVES EM EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE

5.2.1. ESTABILIDADE/DURABILIDADE

A estabilidade estrutural de uma parede deve ser assegurada pela estrutura que lhe dá sustentação e deve ser capaz de responder com eficácia a todas as solicitações a que esteja sujeita ao longo do seu tempo de vida útil, como cargas, sismos, ventos, entre outras. Contudo também ao nível dos revestimentos estes deverão ser capazes de proporcionar resistência suficiente de modo a poderem resistir a acções normais de uso, como o peso próprio, os factores climáticos (vento, chuva e variações térmicas) e choques decorrentes do seu normal funcionamento. Só assim as paredes poderão corresponder às suas funções sem colocar em perigo os utilizadores do edifício.

Para averiguar se uma parede ou revestimento é ou não seguro ao uso existem testes de corpo duro e de corpo mole que se podem realizar. Como no caso do presente trabalho a estrutura das paredes é materializada por montantes, guias e travessões, metodologia construtiva que permite espaços significativos entre os mesmos, competindo ao revestimento das paredes, neste caso aos painéis de Viroc, assegurar que perante solicitações de ocorrência accidental o atravessamento da parede não se verifica, podendo no entanto sofrer danos como uma rotura superficial ou uma

deformação permanente. Os ensaios apropriados para essa verificação são especificados segundo o Avis Technique [14] e correspondem para a parte opaca das paredes até 1,5m acima do nível do piso de circulação de pessoas a 1000J de energia de choque de grande corpo mole e 10J de energia de choque para corpo duro [15 e 16].

Os painéis de Viroc estão preparados para resistir ao impacto de corpo duro de 10J sem apresentarem problemas, contudo no caso do choque de grande corpo mole convém ter em atenção a espessura do painel, procurando soluções onde se empreguem painéis de espessuras superiores ou sobreposições de painéis.

A estabilidade/durabilidade dos painéis Viroc, como elementos de revestimento interior e exterior de paredes, deve assegurar a boa manutenção das suas principais características, como a resistência, a rigidez, a massa e a variação dimensional, ao longo do tempo. Com esse objectivo a empresa Viroc Portugal encomendou um estudo que foi desenvolvido pelo BRE, ver capítulo 3.

Segundo esse estudo, consegue-se portanto perceber que devido às folgadas características dos painéis Viroc, no que respeita à manutenção das suas características que, a estabilidade/durabilidade destes está assegurada, existindo inclusivamente um certo potencial para desenvolver novos produtos, provavelmente com menores densidades, painéis mais finos ou até com percentagens de madeira mais elevadas, sem colocar em causa o compromisso de satisfazer as necessidades de estabilidade ou de durabilidade.

No respeitante à durabilidade pode-se dizer que a parede deve manter o seu desempenho sem alterações significativas ao longo do seu período de vida útil, em condições normais de uso e manutenção. A durabilidade da parede é influenciada pelos resultados acima evidenciados para o revestimento em Viroc. Pois uma vez que a estrutura metálica se encontra protegida devido ao processo de galvanização a que o aço foi sujeito e aos revestimentos interior e exterior que também ajudam a protegê-la, a durabilidade da parede passa a estar muito correlacionada com a durabilidade do revestimento.

Tendo presente a posição dos painéis Viroc na parede, possivelmente como revestimento de fachada, é imperioso que este seja capaz de resistir de forma satisfatória aos agentes climáticos, como as variações de temperatura, radiações solares, variações do seu teor em água, aos produtos químicos do ar, quer sejam produtos constituintes da própria atmosfera ou contaminantes nela contidos, e à fixação e ao desenvolvimento de bolores.

Embora seja difícil estabelecer um ensaio tipificado para a avaliação do comportamento do revestimento face aos variados agentes climáticos é possível aplicar em Portugal a metodologia presente no “Guide des Performances du Bâtiment” [15], podendo no entanto conter algumas adaptações para se ajustar melhor ao panorama nacional.

Em relação aos produtos químicos presentes no ar constituintes da atmosfera, entre os quais se encontram o oxigénio, o ozono, o dióxido de carbono em relação ao qual já foi acima visto o comportamento dos painéis Viroc, ou a outros contaminantes como o amoníaco, o dióxido e trióxido de enxofre, entre outros, também existem ensaios presentes no “Guide des Performances du Bâtiment” [15] que poderão ser utilizados para avaliação do comportamento do revestimento em Viroc.

Quanto à fixação e desenvolvimento de bolores, devido às condições de acabamento dos painéis Viroc, que são bastante lisas e podendo ainda receber tratamentos variados como a lixagem, o envernizamento ou a pintura, associados também ao facto de estes painéis não constituírem eles próprios alimento para os bolores, torna muito difícil a reunião das condições necessárias para a fixação ou desenvolvimento de bolores.

Através de informações prestadas pela empresa Viroc Portugal S.A., não são conhecidos problemas no que diz respeito a nenhuma das exigências de durabilidade com o revestimento Viroc, afirmando esta que os painéis possuem uma durabilidade esperada de 30 anos.

5.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO

Tal como foi referido no capítulo 2, desde os anos 80 que se tem verificado um aumento das preocupações com o comportamento térmico dos edifícios por parte da sociedade. Inicialmente devido à crise do petróleo e dos custos que isso acarretava para o orçamento das famílias em termos de esforço financeiro para obter uma temperatura ambiente confortável dentro dos edifícios, e agora mais recentemente, por questões ambientais relacionadas com a sustentabilidade do nosso planeta, pois a climatização dos edifícios exige a mobilização de recursos energéticos muitas das vezes com elevado grau de poluição e um custo pesado para o ambiente, daí a necessidade de melhorar a eficiência energética dos nossos edifícios. Constituindo as paredes de fachada a envolvente do edifício, sendo responsáveis pela separação entre o ambiente interior e o exterior, torna-se fundamental assegurar um bom comportamento térmico destas como forma de minimizar a necessidade de climatização dos edifícios, tornando-os mais amigos do ambiente e ao mesmo tempo mais económicos também.

Entre as características térmicas fundamentais de uma fachada destacam-se a inércia térmica e o seu nível de isolamento térmico. Mais uma vez, tal como foi referido no capítulo 2, em relação à inércia térmica, não existe a possibilidade de obter o comportamento considerado adequado para o nosso clima temperado ameno, dado exigir paredes de inércia térmica forte, que se caracterizam por ser pesadas, e o objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de soluções de fachadas leves. Contudo, também convém dizer, que a inércia térmica adequada a um edifício não depende apenas do tipo de clima do local, mas também do modo de utilização desse edifício, sazonal ou permanente, e da forma como o edifício é climatizado, se continuamente ou de forma intermitente. Por exemplo, para o caso de um edifício localizado em Portugal, utilizado sazonalmente ou climatizado de forma intermitente (algumas horas por dia), a inércia térmica mais apropriada já não será a forte mas sim a fraca. Demonstra-se portanto que não é desadequado o desenvolvimento de soluções de fachadas leves para um país como Portugal. No caso do isolamento térmico das fachadas leves este deve estar de acordo com a zona climática onde o edifício está inserido, de forma a satisfazer o estipulado no RCCTE.

Para efeitos de satisfação dos requisitos presentes no RCCTE para o grau de isolamento térmico nos edifícios, importa definir o coeficiente de transmissão térmica superficial das paredes de fachada a desenvolver no presente trabalho.

O RCCTE divide o país em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e em três zonas climáticas de Verão (V1, V2, e V3), consoante a severidade climática de cada região. No entanto considera-se que se um edifício cumpre com o regulamento em termos de isolamento térmico da zona opaca das fachadas durante a estação de aquecimento, implicitamente também cumpre na estação de arrefecimento, dado a primeira ser mais severa para efeitos da necessidade de isolar termicamente os edifícios, motivo pelo qual só se referirá a situação da estação de aquecimento para efeitos de dimensionamento do grau de isolamento térmico das paredes de fachada. Na figura 5.1., estão indicadas as zonas climáticas de Inverno para Portugal Continental.

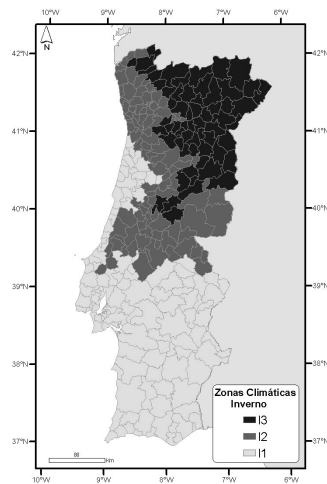


Figura 5.1. – Portugal Continental. Zonas climáticas de Inverno. [3]

Este zonamento climático de Inverno, para Portugal Continental, pode sofrer alterações em função de altitude dos locais, de acordo com o quadro 5.1.

Quadro 5.1. – Zonamento climático de Inverno, alterações em função da altitude dos locais. [3]

Zona climática de Inverno do Concelho (segundo a figura 5.1.)	Altitude (z), do local (m)					
	z > 400 e z ≤ 600		z > 600 e z ≤ 1000		z > 1000	
	Zona climática a considerar na altitude z indicada acima	Graus-dias (°C.dias) - Duração na estação de aquecimento (meses)	Zona climática a considerar na altitude z indicada acima	Graus-dias (°C.dias) - Duração na estação de aquecimento (meses)	Zona climática a considerar na altitude z indicada acima	Graus-dias (°C.dias) - Duração na estação de aquecimento (meses)
I1	I2	z + 1500 - 6,7	I3	z + 1700 - 7,3	I3	z + 1900 - 8
I2	I2	Fig. 5.1.	I3	z + 1700 - 7,3	I3	z + 1900 - 8
I3	I3	Fig. 5.1.	I3	Fig. 5.1.	I3	z + 1900 - 8

Para o caso das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira os respectivos zonamentos climáticos de Inverno são feitos de acordo com a altitude (z) dos locais, segundo o quadro 5.2.

Quadro 5.2. – Zonas climáticas de Inverno para as Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Altitude (z), do local (m)					
Região Autónoma dos Açores			Região Autónoma da Madeira		
$z \leq 600$	$z > 600$ e $z \leq 1000$	$z > 1000$	$z \leq 800$	$z > 800$ e $z \leq 1100$	$z > 1100$
I1	I2	I3	I1	I2	I3

Através das zonas climáticas de Inverno o RCCTE estabelece determinados valores como coeficientes de transmissão térmica superficiais (U em $W/m^2\text{°C}$) máximos admissíveis de elementos opacos, esses valores são os indicados no quadro 5.3.

Quadro 5.3. – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (U em $W/m^2\text{°C}$). [3]

Elemento da envolvente	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elementos exteriores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1	0,90
Elementos interiores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	2	2	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

No entanto o RCCTE estipula um limite mínimo para os coeficientes de transmissão térmica, de acordo com o quadro 5.4.

Quadro 5.4. – Coeficientes de transmissão térmica de referência (U em $W/m^2\text{°C}$). [3]

Elemento da envolvente	Zona climática			
	I1	I2	I3	RA
Elementos exteriores em zona corrente				
Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40
Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,40	0,80
Elementos interiores em zona corrente				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1	2
Zonas opacas horizontais	1	0,90	0,80	1,25
Envidraçados	4,30	3,30	3,30	4,30

Contudo mesmo respeitando os limites acima expostos o RCCTE obriga a que no caso de existirem pontes térmicas o valor do respectivo coeficiente de transmissão térmica não ultrapasse o dobro do valor do mesmo coeficiente no elemento opaco que lhe é adjacente.

A fórmula matemática para o cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica de uma parede, de um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, estabelecida pelo RCCTE é (5.1.)

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (5.1.)$$

5.2.3. ISOLAMENTO ACÚSTICO

Outra das exigências fundamentais num edifício é o seu comportamento acústico, dado que o ruído é susceptível de causar incomodidade, diminuição do rendimento do trabalho e até perturbações psico-fisiológicas, logo torna-se fundamental ter em conta o comportamento acústico das paredes de fachada num edifício.

Antes de mais convém fazer a clarificação do conceito de ruído, utilizado anteriormente, através da distinção entre som e ruído. O som define-se como sendo uma percepção auditiva provocada pela vibração do tímpano do ouvido humano, normalmente provocada por uma vibração propagada através do ar, denominada de vibração acústica. O ruído distingue-se do som pela percepção no cérebro do auditor que atribui uma conotação desagradável a este. O ruído devido à conotação desagradável, ou traumatizante, que causa no auditor, é actualmente considerado como um importante factor da degradação da qualidade de vida a considerar no contexto da saúde ambiente e ocupacional das populações.

Actualmente a qualidade das edificações, quer para uso habitacional ou outra actividade, é muito afectada pelo do seu desempenho sob o ponto de vista acústico. Por esse motivo torna-se importante considerar o nível de isolamento sonoro na concepção de elementos construtivos em edifícios, sejam eles pavimentos, lajes, portas e janelas, ou outros, procurando soluções que reduzam o nível excessivo de pressão sonora actuante, de um ruído, para valores mais confortáveis.

O som pode ser transmitido entre dois locais, um emissor e um receptor, por duas vias fundamentais, a via directa (ruído aéreo), quando resultam de fluxos de energia sonora oriundas de simples transmissões directas, e a via marginal (ruído de percussão), quando resultam de acções de choque, ver figura 5.2.

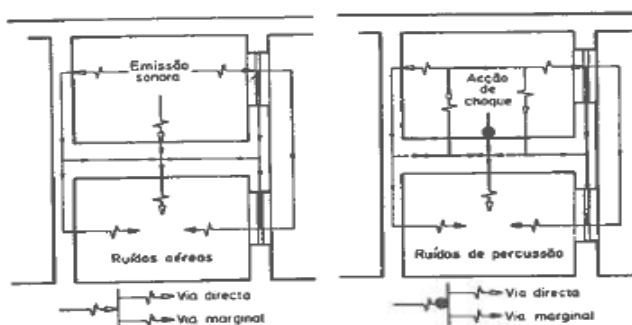


Figura 5.2. – Esquema de transmissão de ruídos aéreos e de percussão. [17]

Esta distinção é importante dado que o isolamento sonoro no elemento da construção, a forma como este se descreve e qualifica, irão ser influenciados pela natureza do ruído. No caso das

paredes o isolamento em relação aos sons aéreos adquire particular relevo, dado os sons aéreos serem abundantes no meio exterior e ao passar para o interior das habitações são os que costumam provocar maior desconforto, já no caso dos pavimentos ambos os tipos de isolamento, para ruídos aéreos e de percussão, são importantes dada a necessidade existente de isolar os sons aéreos entre pavimentos, no caso, por exemplo, de pessoas a falar, ou por exemplo, no caso de pessoas a caminhar provocando ruídos de percussão. Como no presente trabalho se procura desenvolver soluções de fachadas, ir-se-á dar maior importância aos sons aéreos.

O som ao incidir numa superfície, por exemplo uma parede, parte dele será reflectido, outra parte será absorvido pelo material, ou materiais constituintes da parede, e uma outra será ainda transmitida através do elemento. É essa parcela do som que é transmitida através do elemento através da vibração deste, no caso do presente trabalho uma parede, que irá irradiar a energia acústica para o ambiente adjacente. Quanto menor for a radiação sonora proveniente da parede para o espaço adjacente, maior será a capacidade de isolamento desta, que dependerá da frequência do som, do sistema construtivo e dos tipos de materiais que a compõem. O isolamento a sons aéreos de uma parede, do exterior para o interior e vice-versa, pode ser classificado de acordo com o quadro 5.5.

Quadro 5.5. - Condições de audibilidade através de um elemento construtivo. [18]

Isolamento Sonoro (dB)	Condições de Audibilidade	Conclusão
<30	A voz normal pode ser compreendida com facilidade e de modo distinto.	Muito mau
30 a 35	A voz é percebida fracamente. A conversa pode ser ouvida mas não nitidamente compreendida.	Mau
36 a 40	A voz pode ser ouvida mas não compreendidas as palavras com facilidade. A voz normal só será ouvida debilmente.	Sofrível
41 a 45	A voz pode ser ouvida fracamente mas sem ser compreendida. A conversação normal não é audível.	Suficiente
46 a 50	Voz alta pode ser ouvida com pouca dificuldade.	Bom
51 a 55	Só sons muito intensos (TV, canto, etc.) podem ser ouvidos.	Muito bom
55 a 60	Difícil ouvir até sons muito intensos. Só sons do tipo “discoteca” serão audíveis.	Excelente

Em Portugal as regras de isolamento sonoro a observar constam no “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios” [19]. De acordo com a classificação dos locais, presente neste regulamento existem três zonas para a implantação de edifícios, a saber:

- Zona mista: a área definida em plano director municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afecta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;
- Zona sensível: a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de

serviços, destinadas a servir a população local, nomeadamente cafés, e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno;

- Zona urbana consolidada: a zona sensível, ou mista, com ocupação estável em termos de edificação.

Consoante o uso e a zona em que se insere o edifício, irá variar o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, $D_{2m, n, w}$, ver quadro 5.6., que o edifício terá de respeitar para estar em conformidade com o regulamento.

Quadro 5.6. – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, $D_{2m, n, w}$. [20]

Tipo de compartimento	Valor de $D_{2m, n, w}$
Edifícios habitacionais mistos	
Em zonas mistas	≥ 33 dB
Em zonas sensíveis	≥ 28 dB
Edifícios comerciais, industriais ou de serviços (entre o exterior e refeitórios, recintos públicos de restauração ou escritórios)	≥ 30 dB (o valor obtido para $D_{2m, n, w}$ deverá ser acrescido do factor $I = 3$ dB)
Edifícios escolares	
Em zonas mistas	≥ 33 dB
Em zonas sensíveis	≥ 28 dB
Edifícios hospitalares	
Em zonas mistas	≥ 33 dB
Em zonas sensíveis	≥ 28 dB

No caso particular dos edifícios habitacionais, objectivo do presente trabalho, existem diferentes índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizada, $D_{n, w}$, distintos consoante os locais de emissão desses ruídos e os quartos ou zonas de estar de outra habitação, de acordo com o quadro 5.7.

Quadro 5.7. – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{n, w}$, em edifícios habitacionais e mistos. [20]

Locais	$D_{n, w} \geq$ (dB)	R_w (dB)
Entre quartos e/ou zonas de estar de fogos diferentes	47	50
Entre quartos e/ou zonas de estar de zonas comuns e circulação	45	48
	37 (com ascensores)	40
	47 (com garagens)	50
Entre fogos e locais destinados a indústria, comércio e serviços	55	58

Com vista à obtenção dos níveis de isolamento sonoro desejáveis é necessário recorrer frequentemente a materiais de elevada absorção acústica, como a lã mineral. Este tipo de materiais são geralmente porosos e/ou fibrosos onde parte da energia sonora que os atravessa é transformada em energia térmica que é dissipada do material absorvente por convecção, fazendo com que o ruído que passa para o ambiente adjacente diminua. No presente trabalho o material fundamentalmente responsável pela redução sonora é a lã de vidro. De acordo com o fabricante o índice de redução sonora, R_w , da lã de vidro em manta e painéis combinados com placas de gesso cartonado, é representado no quadro 5.8.

Quadro 5.8. - Índice de redução sonora da lã de vidro. [21]

	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla
Espessura da lã de vidro (mm)	50	50	75	75	100	100
R_w (dB)	43	50	47	55	52	58

5.2.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

Durante o seu ciclo de vida útil, um edifício irá com certeza estar sujeito a alguns acidentes, mais ou menos graves em termos de consequências para o edifício ou para os seus ocupantes. Um dos acidentes mais graves e que maiores consequências pode acarretar em termos de danos num edifício e em termos de perda de vidas humanas é a ocorrência de um incêndio, motivo pelo qual é sempre necessário analisar o comportamento face ao fogo de um edifício, através do comportamento dos seus elementos construtivos, como fachadas, pavimentos, escadas, etc. Neste trabalho não se pretende avaliar o comportamento ao fogo de um edifício completo, mas apenas dos elementos da envolvente dos edifícios, mais concretamente das fachadas.

Para o desenvolvimento e avaliação de paredes de fachada ir-se-á recorrer ao SCIE – “*Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios*”. De acordo em este regulamento é possível definir o comportamento em caso de incêndio dos elementos e materiais da construção, de acordo com dois parâmetros fundamentais, a reacção ao fogo e a resistência ao fogo.

A reacção ao fogo caracteriza a forma de como o material contribui para o início e desenvolvimento de um incêndio de acordo com as seguintes sete classes, classificação segundo o SCIE:

- **A 1** – Nenhuma contribuição para o fogo
- **A2** – Contribuição para o fogo quase nula
- **B** – Contribuição para o fogo muito limitada
- **C** – Contribuição para o fogo limitada
- **D** – Contribuição para o fogo aceitável
- **E** – Reacção ao fogo aceitável
- **F** – Comportamento não determinado

Os factores de classificação que estão por base das especificações presentes no Sistema Europeu, são os que estão apresentados no quadro 5.10., e como se pode observar os factores de classificação das especificações do Sistema Europeu são bastante mais minuciosos do que as especificações da classificação do LNEC.

Quadro 5.10. – Classes da reacção ao fogo para produtos da construção, excluindo pavimentos. [22]

Classe	Factores de classificação	Classificação complementar
A1	ΔT , Δm , t_f e PCS	-
A2	ΔT , Δm , t_f , PCS, FIGRA, LFS e THR600s	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
B	FIGRA, LFS, THR600s e F_s	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
C	FIGRA, LFS, THR600s e F_s	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
D	FIGRA e F_s	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
E	F_s	Gotículas ou partículas incandescentes «aprovação ou reprovação».
F	Desempenho não determinado	

ΔT – aumento de temperatura em [$^{\circ}\text{C}$]; Δm – perda de massa [%]; t_f – tempo de presença da chama «duração das chamas persistentes» [s]; PCS – poder calorífico superior [MJ kg^{-1} , MJ kg^{-2} ou MJ m^{-2} , consoante os casos]; FIGRA – taxa de propagação do fogo [W s^{-1}]; THR_{600s} – calor total libertado em 600 s [MJ]; LFS – propagação lateral das chamas «comparando com o bordo da amostra» [m]; SMOGRA – taxa de propagação do fumo [$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$]; TSP_{600s} – produção total de fumo num período definido de 600 s [m^2]; F_s – propagação das chamas [mm].

A classificação referente à produção de fumo no Sistema Europeu advém da EN 13823 [16], através dos ensaios aí especificados, e através da determinação dos índices SMOGRA e TSP600s, sendo a classificação atribuída da seguinte forma:

- S1: $\text{SMOGRA} \leq 30 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 50 \text{ m}^2$;
- S2: $\text{SMOGRA} \leq 180 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 200 \text{ m}^2$;
- S3: nem S1 nem S2.

No caso da classificação referente à queda de gotas / partículas inflamadas esta é efectuada de acordo com a EN ISO 11925-2 [17], que avalia a facilidade de ignição de um produto na presença de uma chama, sendo utilizado durante o ensaio uma folha de papel, as exigências são definidas seguidamente:

- d0: não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas em 600 s;
- d1: não se verifica a libertação de gota /partículas inflamadas com duração superior a 10 s em 600 s;
- d2: nem d0 nem d1. A ignição do papel no ensaio determina a classificação d2;
- Ausência de classificação: ausência de ignição do papel no ensaio.

A resistência ao fogo avalia o comportamento na presença do fogo dos elementos construtivos, determinando-se o tempo decorrido entre o momento em que um dado elemento construtivo é colocado em contacto com uma chama normalizada e o momento em que este deixa de corresponder de forma satisfatória às suas funções. De acordo com os resultados do ensaio os elementos classificam-se como R – capacidade de suporte de cargas (caso não apresentem problemas estruturais), E – estanquidade a chamas e gases quentes (caso impeçam a passagem através do seu corpo de chamas ou fumos) e I – isolamento térmico (caso além das anteriores, ainda garantam um grau de isolamento aceitável), além da atribuição de um índice por escalões de tempo de acordo com os minutos durante os quais o elemento manteve a sua função. Existem

nove classes, correspondentes aos escalões de tempo, em minutos, a atribuição de cada classe é efectuada de pelo limite inferior de cada classe. A apresentação das classes é efectuada seguidamente:

15 20 30 45 60 90 120 180 240 360

No quadro 5.11. apresenta-se a resistência ao fogo padrão de produtos de construção de acordo com as classificações do LNEC e do sistema Europeu, dependendo da função do elemento.

Quadro 5.11. – Resistência ao fogo de produtos de construção. [22]

Função do elemento	Classificação de acordo com as especificações do LNEC	Classificação segundo o Sistema Europeu *
Suporte de cargas	EF	R
Suporte de cargas e estanquidade a chamas e gases quentes	PC	RE
Suporte de cargas, estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	REI
Estanquidade a chamas e gases quentes	PC	E
Estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	EI

* R – capacidade de suporte de carga; E – estanquidade a chamas e gases quentes; I – isolamento térmico. Para efeitos deste trabalho só serão necessários os índices indicados anteriormente, para consulta da lista completa sugere-se a consulta de “Classes de resistência ao fogo padrão de produtos de construção”, Anexo II de [22].

Tendo por base esta classificação é agora possível estabelecer as exigências para paredes exteriores de qualquer tipo de edifício.

No caso das paredes exteriores dos edifícios em confronto com outros, estas devem garantir, pelo menos, a classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou REI 60, sempre que a distância entre os edifícios for inferior à indicada no quadro 5.12., quando nenhum dos edifícios possuir espaços afectos à utilização-tipo XII sem comunicações interiores comuns com outra utilização-tipo. Para o conhecimento das actividades afectas a cada uma das doze utilizações-tipo, sugere-se a consulta do n.º 1 do artigo 8.º de [22].

Quadro 5.12. – Condições de protecção de vãos de fachada em confronto. [23]

Altura do edifício «H»	Distância mínima entre as fachadas «L»
$H \leq 9m$	$L < 4m$
$H > 9m$	$L > 8m$

Nos edifícios com mais de um piso de elevação, a classe de reacção ao fogo dos revestimentos exteriores aplicados directamente sobre as fachadas, deve ser, de acordo com a altura do edifício, igual ou superior à indicada no quadro 5.13.

Quadro 5.13. – Reacção ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas, caixilharias e estores. [23]

Altura «H»	Fachadas sem aberturas	Fachadas com aberturas	
	Revestimentos	Revestimentos e elementos transparentes	Caixilharia e estores ou persianas
$H \leq 28\text{m}$	D-s3 d1	C-s2 d0	D-s3 d0
$H > 28\text{m}$	C-s3 d1	B-s2 d0	C-s3 d0

Nos edifícios com mais de um piso de elevação, a classe de reacção ao fogo dos elementos de revestimento descontínuos, fixados mecanicamente ao suporte e afastados das fachadas deixando uma caixa de ar, deve respeitar os valores indicados no quadro 5.14.

Quadro 5.14. – Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa de ar. [23]

Elemento	Edifícios com $H \leq 9\text{m}$	Edifícios com $9 < H \leq 28\text{m}$	Edifícios com $H > 28\text{m}$
Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C-s2 d0	B-s2 d0	A-s2 d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-s2 d0	B-s2 d0	A-s2 d0
Isolamento térmico	D-s3 d0	B-s2 d0	A-s2 d0

Nos edifícios com mais de um piso em elevação, a classe de reacção ao fogo dos sistemas compósitos para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolamento (ETICS) e do material de isolamento térmico que integra esses sistemas deve ser, pelo menos, a indicada no quadro 5.15.

Quadro 5.15. – Reacção ao fogo dos sistemas compósitos para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolante «ETICS» e o material de isolamento térmico. [23]

Elemento	Edifícios com $H \leq 9\text{m}$	Edifícios com $9 < H \leq 28\text{m}$	Edifícios com $H > 28\text{m}$
Sistema completo	C-s3 d0	B-s3 d0	B-s2 d0
Isolante térmico	E-d2	E-d2	B-s2 d0

No caso das paredes exteriores de empena deve garantir-se uma resistência ao fogo padrão da classe EI 60 para edifícios de altura inferior ou igual a 28m, ou da classe EI 90 nas restantes situações, excepto se for exigível uma classe mais gravosa devido às utilizações-tipo do edifício.

As utilizações-tipo dos edifícios e recintos em matéria de risco de incêndio podem ser da 1.^a, 2.^a, 3.^a e 4.^a categorias, e são consideradas respectivamente de risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado.

Quadro 5.16. – Categorias de risco da utilização-tipo I «Habitacionais». [22]

Categoria	Critérios referentes à utilização-tipo I	
	Altura da UT I	Número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência
1. ^a	≤ 9m	≤ 1
2. ^a	≤ 28m	≤ 3
3. ^a	≤ 50m	≤ 5
4. ^a	> 50m	> 5

No que diz respeito à resistência ao fogo de elementos estruturais de edifícios, consoante o seu tipo, estes devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo, ou, em alternativa, devem possuir a resistência ao fogo padrão mínima indicada no quadro 5.17.

Quadro 5.17. – Resistência ao fogo padrão mínima de elementos estruturais de edifícios. [23]

Utilizações-tipo	Categorias de risco				Função do elemento estrutural
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	
I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX e X	R 30	R 60	R 90	R 120	Apenas suporte.
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	Suporte e compartimentação.
II, XI e XII	R 60	R 90	R 120	R 180	Apenas suporte.
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	Suporte e compartimentação.

5.2.5. ESTANQUIDADE

Uma parede de fachada deve ser estanque à água e ao ar e no caso das paredes desenvolvidas no contexto do presente trabalho essa estanquidade irá ser assegurada pelos painéis Viroc. Uma parede de fachada deve ser estanque à água da chuva, de acordo com as condições de exposição das paredes, mas ao mesmo tempo deve assegurar um certo compromisso com a permeabilidade ao vapor de água que se deverá procurar que seja tão elevado quanto possível. No caso do Viroc a permeabilidade ao vapor de água, segundo a Avis Technique [14], é de 197x10⁻⁵ g/m.h.mm.Hg.

5.2.6. CONFORTO VISUAL

O conforto visual de uma parede está bastante relacionado com o seu revestimento, que por sua vez depende da sua estrutura de suporte, pois caso esta apresente deformações significativas, essas deformações irão influenciar o revestimento da parede e levantar problemas estéticos. No caso das soluções desenvolvidas no presente trabalho é conveniente que os elementos que compõem a estrutura metálica de suporte tenham uma espessura adequada de forma a garantir as condições de estabilidade necessárias ao revestimento, a fim de que este possa responder positivamente às exigências de conforto visual.

Para que uma parede se possa considerar esteticamente confortável deve satisfazer condições mínimas de planeza, verticalidade (quando desejável), rectidão das arestas, regularidade e perfeição da superfície, e homogeneidade de cor e de brilho.

Os revestimentos de parede em relação às condições de planeza, devem garantir a ausência de ondulações geral e localizada excessivas, flechas $< 10\text{mm}$ no caso da planeza geral e $\leq 2\text{mm}$ no caso da planeza localizada. Existem alguns métodos para análise da planeza presentes no “*Travaux d’enduits de mortiers*” [24], no “*Guide des Performances du Bâtiment*” [15] e no “*Matériaux et constructions n°73*” [25].

No que diz respeito à verticalidade esta é avaliada, com recurso a um fio-de-prumo, de 3m de comprimento que percorre a parede e os desvios desta deverão ser $\leq 10\text{mm}$.

Já no caso da rectidão das arestas estas devem desenvolver-se segundo uma linha recta e os desvios em relação a esta devem estar limitados a 5mm, de maneira a não se tornarem perceptíveis [15].

As exigências de regularidade e perfeição da superfície obrigam a que as paredes se apresentem sem irregularidades ou defeitos, como saliências ou reentrâncias, textura irregular ou heterogénea, empolamentos localizados, ou fissuras que no caso dos painéis Viroc levariam à sua rotura.

A homogeneidade de cor e de brilho de uma parede é determinado pelo seu revestimento e é um fenómeno inevitável em qualquer material. Este deve portanto ter variações de cor e brilho tão reduzidas quanto possível e uniformes ao longo do paramento. Devem também apresentar boa resistência ao desgaste provocado pela acção da água a fim de não se notarem diferenças demasiado acentuadas entre zonas abrigadas e zonas expostas à chuva.

Também neste tipo de exigências os painéis Viroc não têm apresentado problemas, segundo informações da empresa Viroc Portugal S.A., no entanto é necessário fazer a ressalva de que para evitar problemas de alinhamento entre painéis, saliências, reentrâncias ou outros defeitos de montagem que influenciam no conforto visual é aconselhável o recurso a mão-de-obra especializada.

5.2.7. HIGIENE

Uma parede deve ser constituída por materiais, e de tal forma, que não gere ou cause patologias na própria parede, como condensações superficiais, ou noutros elementos construtivos, nem na saúde dos utilizadores do edifício e devem ser revestidas por materiais que não dificultem exageradamente as operações de limpeza. No caso do presente trabalho não existem problemas

de maior no que diz respeito a este ponto, dado que nenhum dos materiais constituintes da parede possui compostos prejudiciais à saúde, ou alérgicos, à excepção da lã mineral que é susceptível de provocar alergias, mas que na presente situação não irá causar problemas por estar colocada no interior da parede. Relativamente ao desenvolvimento de parasitas como térmitas, algo relativamente frequente nos edifícios leves em madeira, isso não é possível neste caso graças à estrutura metálica e à ausência de materiais em madeira. No que diz respeito ao posicionamento relativo dos diversos materiais que constituem a parede e a respectiva propensão desta para gerar patologias como condensações superficiais, essa análise não foi efectuada por limitações de tempo, contudo seguiu-se aproximadamente, e dentro do possível, um posicionamento semelhante ao largamente utilizado em paredes deste tipo.

Quanto ao revestimento exterior este deve possuir características tais que evitem a fixação de poeiras ou de microrganismos, não devendo portanto ser demasiado ásperos ou pegajosos, e ao mesmo tempo permitam eventuais operações de limpeza sem serem de algum modo afectados negativamente. No caso do revestimento exterior em painéis Viroc estes cumprem satisfatoriamente estes requisitos dado apresentarem superfície lisa, plana e não pegajosa.

5.2.8. ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO NORMAL

Para que uma parede se possa considerar apta a uma utilização normal, decorrente das acções expectáveis a que venha estar sujeita ao longo do seu período de vida útil tais como, a resistência a acções de choque e atrito, a resistência à acção da água e a resistência ao enodoamento pela poeira, esta não deve sofrer danos ou alterações significativas.

Durante a utilização de um edifício este estará sujeito a acções decorrentes da ocupação e mobilidade dos seus utilizadores e a operações de limpeza e manutenção, como tal uma parede exterior deve ser concebida de forma a poder apresentar boas prestações a este nível. De entre os vários elementos constituintes de uma parede os que estão mais sujeitos a gerar problemas devido às acções de choque e de atrito são os revestimentos (interior e exterior), sendo que entre estes a situação mais gravosa se localiza no revestimento exterior.

Para determinar a adaptabilidade de um revestimento, qualitativa ou quantitativamente, existem ensaios próprios para a aferição a respeito das características dos revestimentos, como o ensaio das energias mínimas de choque de corpos duros e moles, onde se observam os danos resultantes do choque desses corpos com o revestimento, ou o ensaio de resistência à riscagem por acção de uma série de minas com durezas crescentes, onde se determina qual a dureza máxima da mina que não vinca o revestimento.

Em complemento ao que foi já introduzido em 5.3.6., uma parede deve ser concebida de maneira que tenha condições de resistir à acção da água sem sofrer danos significativos, afim de não se tornarem demasiado evidentes as diferenças entre uma zona mais exposta à acção da chuva de outra zona mais abrigada. Mais uma vez o componente da parede que vai influenciar o desempenho da parede, relativamente a esta exigência, será o revestimento, em especial o exterior. Sendo assim este deve possuir características tais que lhe permitam resistir à água da chuva, à água proveniente de projecções acidentais e à água proveniente de acções de limpeza.

Os ensaios disponíveis para a avaliação do comportamento de um revestimento em relação à sua resistência à água são, os ensaios de erosão pela água e de escoamento de água, em que se

goteja o revestimento, no caso do primeiro, e se submete o revestimento à acção de um fio de água, de formas normalizadas, e se avaliam os resultados em relação à perda de espessura ou à alteração de aspecto em ambos os casos, e o ensaio de alteração das características mecânicas no estado líquido, em que se comparam as resistências à tracção por flexão e à compressão do revestimento, nos estados seco e saturado.

No caso do enodoamento pela poeira embora não existam ensaios para a determinação desta característica, os revestimentos das paredes exteriores, os elementos mais susceptíveis a este problema por motivos de conforto visual e de higiene, devem permitir a remoção do enodoamento, por limpeza apropriada, de forma a recuperarem o aspecto anterior ao enodoamento.

5.2.9. FACILIDADE DE LIMPEZA

Numa parede exterior os cuidados de limpeza a ter desenvolvem-se ao nível dos seus revestimentos (interior e exterior). A limpeza é altamente aconselhável como via para atingir as exigências de conforto visual e de higiene. As operações afectas à limpeza não devem ser muito dispendiosas, nem requerer meios fora do convencional e não podem causar incómodo excessivo aos utentes do edifício.

Devido ao facto de os painéis Viroc apresentarem acabamentos lisos e polidos, não são conhecidos problemas de limpeza e os intervalos entre operações de limpeza também são reduzidos.

5.2.10. ECONOMIA

Na opção por qualquer sistema construtivo o factor custo está sempre presente e as fachadas não são excepção. Na avaliação dos custos de qualquer sistema construtivo devem ser tidos em conta principalmente dois custos, o de investimento inicial e o de manutenção. Os painéis Viroc não apresentam um custo de aquisição dos painéis muito atractivo, quando comparados com outras soluções de revestimento exterior de fachadas, no entanto entrando também na equação com os custos de instalação, relativamente competitivos, devido à facilidade de montagem, e os custos de manutenção muito baixos quando comparados com outras soluções de revestimento exterior de fachadas, verifica-se que no final das contas os painéis Viroc se apresentam como uma solução competitiva.

Relativamente à solução de revestimento interior de fachadas denota-se uma significativa perda de competitividade face à solução de aplicação de Viroc no exterior.

5.2.11. SUSTENTABILIDADE

Os painéis Viroc não são tóxicos, não contêm compostos voláteis perigosos e são isentos de sílica, abestos (amiantos) e formaldeído, não sendo portanto perigosos para a saúde humana ou para o meio ambiente.

Após o final do seu ciclo de vida útil estes podem ser triturados e utilizados como inertes, ou podem ser moídos e reutilizados para o fabrico de novos painéis, embora até ao momento nenhuma destas possibilidades esteja a ser explorada neste momento em Portugal.

5.3. DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES EM LSF E PAINÉIS DE AGLOMERADO DE MADEIRA E CIMENTO

Tendo ainda presente a análise exigencial efectuada anteriormente, ir-se-á apresentar seguidamente as soluções construtivas de paredes de fachada leves desenvolvidas no contexto deste trabalho e que constituem o objectivo fundamental do mesmo. Foram quatro as soluções desenvolvidas e a caracterização sumária das semelhanças e diferenças entre cada uma delas pode ser facilmente consultada através do quadro 5.18., apresentado abaixo.

Quadro 5.18. – Resumo das soluções desenvolvidas.

Solução					Modo de Satisfação das Principais Exigências		
N.º	Descrição	Estrutura	Acabamento Exterior	Acabamento Interior	Isolamento Térmico	Isolamento Acústico	Estanquidade à Água
1	Fixação aparafusada dos painéis Viroc da fachada ventilada	Metálica	Fachada Ventilada com painéis Viroc e juntas recobertas por perfis “H”	Dupla camada de painéis Viroc	Poliestireno	Lã de Vidro	Cobre juntas metálico de perfil “H”
2	Fixação oculta dos painéis Viroc da fachada ventilada	Metálica	Fachada Ventilada com painéis Viroc	Dupla camada de painéis Viroc	Poliestireno	Lã de Vidro	Painéis Viroc com ligação macho-fêmea
3	Fixação à vista dos painéis Viroc da fachada ventilada	Metálica	Fachada Ventilada com painéis Viroc	Dupla camada de painéis Viroc	Poliestireno	Lã de Vidro	Painéis Viroc com ligação macho-fêmea

Quadro 5.18. – Resumo das soluções desenvolvidas. (Cont.)

Solução					Modo de Satisfação das Principais Exigências		
N.º	Descrição	Estrutura	Acabamento Exterior	Acabamento Interior	Isolamento Térmico	Isolamento Acústico	Estanquidade à Água
4	-	Metálica	Reboco delgado armado sobre isolamento térmico	Dupla camada de painéis Viroc	Poliestireno	Lã de Vidro	Painéis Viroc com ligação macho-fêmea

Para se poder afirmar que se desenvolveu uma solução de fachada, por melhor que esta seja, não basta conceber a zona corrente da parede, é necessário que essa solução leve em linha de conta também os chamados “pontos singulares”, locais onde pelos mais variados motivos existem descontinuidades na fachada. Nestes locais a fachada deverá manter as propriedades de zona corrente. Embora em todas as edificações existam variadíssimos pontos singulares, específicos de cada edifício e de tal forma que não é de todo possível enumerá-los todos no presente trabalho, no entanto existem alguns pontos que são comuns a praticamente todos os edifícios, como ligações da fachada com o pavimento, cobertura, portas e janelas, etc. As soluções desenvolvidas no presente trabalho, em zona corrente e nos pontos singulares, estão identificadas na figura 5.3.

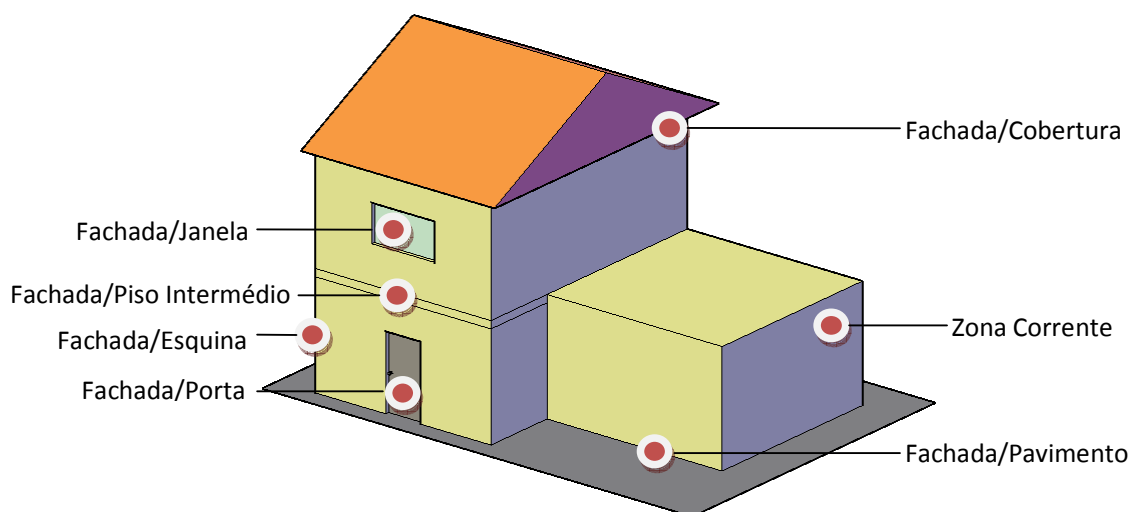


Figura 5.3. - Esquema dos pontos analisados.

5.3.1. Zona corrente

5.3.1.1. Solução 1

A primeira solução desenvolvida tem por base, tal como as restantes, uma estrutura metálica em aço leve galvanizado que lhe serve de suporte e ao mesmo tempo também permite a sustentação do edifício. Nesta solução a estrutura metálica de suporte está revestida pelo lado interior da parede por uma dupla camada formada por painéis Viroc de 12mm de espessura cada e aparafusados à estrutura metálica com parafusos autoperfurantes. As duas camadas de painéis são montadas de forma desencontrada nas juntas, e a camada interior apresenta os topos biselados para melhor tratamento da junta entre painéis, a fim de prevenir convenientemente, através de recobrimento das juntas com gesso e fita tapa juntas, possíveis fissuras típicas nestes locais.

O espaçamento entre os montantes da estrutura metálica portante da fachada é aproveitado para a instalação do isolamento térmico/acústico em lã de vidro. A espessura deste será variável, principalmente em função do grau de isolamento acústico pretendido mas não deverá ser inferior a 50mm, para um desempenho acústico mínimo “sofável”, e poderá ter uma espessura máxima até à largura dos montantes da estrutura. Embora à luz da legislação actualmente em vigor bastasse um painel de Viroc de 8mm de espessura, ao qual corresponderia um índice de redução acústica R_w de 31dB, para que fosse cumprido o requisito de isolamento acústico da parede.

O isolamento térmico será garantido pelo poliestireno com a contribuição da lã de vidro que terá de existir sempre devido à necessidade de isolar acusticamente a fachada do edifício. Este material desempenha duas funções em simultâneo na solução apresentada, pois além de melhorar o isolamento térmico da zona corrente da fachada, irá corrigir as pontes térmicas existentes nas zonas dos montantes e travessões da estrutura metálica portante e que não são devidamente acautelados pela lã de vidro. A espessura de poliestireno a aplicar será função da zona climática onde o edifício se irá localizar, da necessidade de correcção das pontes térmicas e deverá ser o mais penalizador entre ambos. No presente trabalho a espessura de poliestireno mínima recomendada para cada uma das zonas climáticas tem como objectivo aproximar o coeficiente de transmissão térmica da parede do coeficiente do recomendado no RCCTE [3] e não tem em consideração uma análise das pontes térmicas, dado que devido à geometria dos perfis dos montantes isso obrigaria à utilização de software adequado com recurso ao método dos elementos finitos e iria estender demasiado o presente trabalho.

A fachada utilizada nesta solução é ventilada, constituída por painéis Viroc de 16mm de espessura, previamente furados nos cantos para posterior fixação através de aparafusamento com parafusos autoperfurantes que fixam os painéis Viroc a suportes em “ômega”. Esta é uma solução de fachada ventilada impermeável devido à colocação de perfis metálicos “H” entre as juntas topo-a-topo dos painéis Viroc, que garantem a estanquidade da fachada, não sendo necessário o recurso a qualquer outro material para a obtenção deste efeito.

A figura 5.4. é ilustrativa da solução descrita.

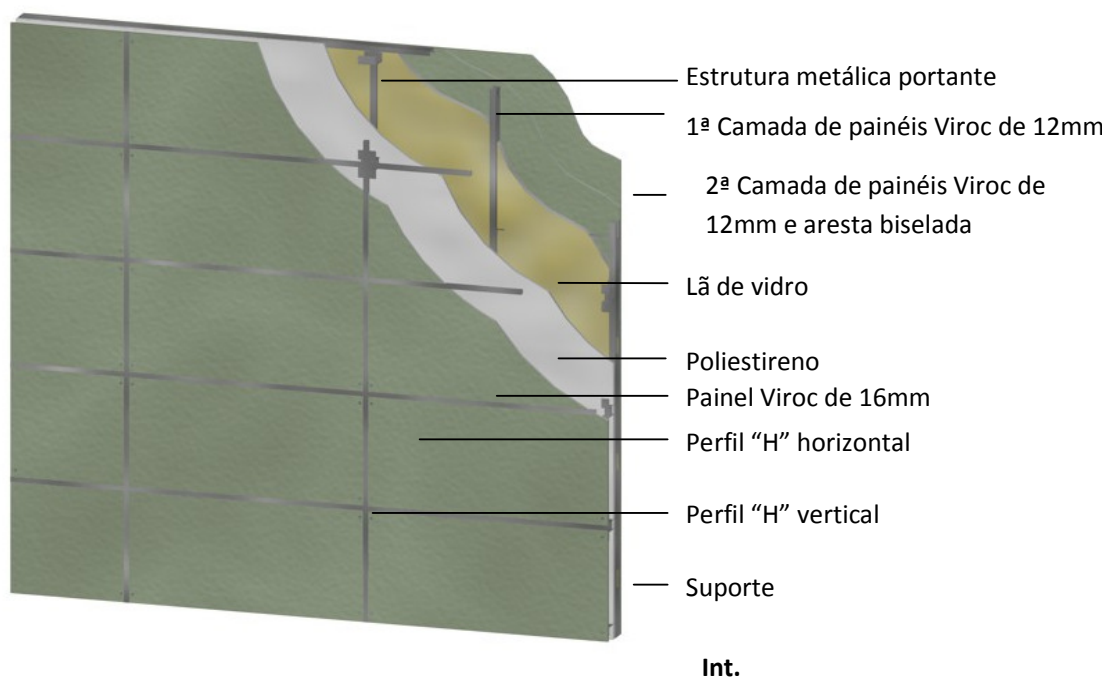


Figura 5.4. – Corte esquemático da solução 1.

Como foi dado a entender pelo exposto anteriormente os níveis de isolamento térmico/acústico proposto para as fachadas poderão variar de acordo com a localização do edifício ou as exigências dos utilizadores. Por esse motivo é apresentado de seguida o quadro 5.19. onde são sugeridas algumas espessuras de isolamento em função da localização do edifício ou da exigência dos utilizadores. É também indicado qual deverá ser o número mínimo de painéis Viroc a empregar interiormente à estrutura metálica de suporte de modo a obter um comportamento melhorado da fachada em caso de incêndio, caso este se propague do interior para o exterior.

Quadro 5.19. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 1.

Isolamento Térmico			Isolamento Acústico		Resistência ao Fogo	
Zona	Coef. de Transmissão Térmica da Solução (W./m2.°C)	*Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Grau	Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Tempo (min.)	**Nº de Painéis Viroc do Lado Interior
I1	0,70	10	Suficiente	50	30	2
I2	0.59	20	Bom	75	60	3
I3	0.51	30	Muito Bom	100	120	5

* Espessura de poliestireno para isolamento térmico composto por 50mm de lã de vidro + poliestireno.

** Painéis Viroc de 12mm de espessura.

Para a correcta instalação da solução em análise deve-se proceder da forma a seguir enumerada:

- 1 – Verificar se estão reunidas as condições para a instalação da parede, como por exemplo verificar se o suporte onde se vai fixar a estrutura metálica portante da parede se apresenta com uma superfície regular e limpa, se todos os materiais, ferramentas e equipamentos necessários se encontram disponíveis, entre outras coisas;
- 2 – Montar a estrutura de aço galvanizado leve que irá servir de suporte à parede;
- 3 – Tendo a estrutura de suporte montada, efectuar todas as instalações necessárias, eléctricas, hidráulicas, ou outras eventualmente, tendo sempre o cuidado de no caso das instalações eléctricas proteger as furações dos montantes, de forma apropriada, afim de estas não danificarem cabos eléctricos o que poderia colocar em causa a segurança dos utilizadores;
- 4 – Colocar os painéis Viroc interiores, em dupla camada e desencontrados nas juntas, e finalizar as instalações no seu encontro com os painéis;
- 5 – Fixar o isolamento térmico/acústico em lã de vidro, através do exterior, aos painéis Viroc interiores;
- 6 – Colocar os suportes em “ómega” dos painéis Viroc da fachada ventilada, prendendo-os por ligações aparafusadas, recorrendo a parafusos auto perfurantes, directamente aos montantes da estrutura em aço leve galvanizado;
- 7 – Montar os suportes adequados ao isolamento térmico em poliestireno e fixar o mesmo aos seus respectivos suportes;
- 8 – Efectuar as furações necessárias nos painéis Viroc de revestimento exterior da fachada, a fim de estes poderem receber as ligações aparafusadas a que estarão sujeitos;
- 9 – Fixar os painéis Viroc de revestimento exterior da fachada através de ligações aparafusadas aos suportes em “ómega”, ao mesmo tempo que se vão colocando os perfis metálicos “H” entre as juntas dos painéis, tanto as verticais como as horizontais, de forma a garantir a necessária impermeabilização da fachada;
- 10 – Tratamento das juntas dos painéis interiores com gesso e fita tapa juntas;
- 11 – Efectuar os acabamentos interiores e exteriores, de forma a dar à parede um aspecto acabado.

5.3.1.2. Solução 2

A segunda solução proposta distingue-se da anterior por apresentar uma solução de fachada ventilada com revestimento exterior por painéis Viroc, fixados mecanicamente por fixadores ocultos, sem recurso a parafusos visíveis pelos utentes e pelo facto de as juntas entre os painéis que compõem o revestimento exterior se encontrarem abertas, tornando a solução permeável e obrigando ao recurso a uma camada extra, colocada interiormente na fachada, a fim de garantir a estanquidade da mesma.

A solução proposta segue portanto, no geral, a solução 1, contudo evita o desconforto estético que os perfis “H” e os parafusos fixadores dos painéis Viroc de revestimento exterior poderiam causar. Sendo que os problemas de estanquidade derivados da ausência dos perfis “H” serão resolvidos pela introdução de uma camada adicional posicionada exteriormente à estrutura metálica de aço leve galvanizado, constituída por painéis Viroc com ligação maquinada macho-fêmea nos quadro bordos dos painéis. Esta camada ficará aparafusada à estrutura metálica portante da parede através de parafusos auto perfurantes.

Na figura 5.5. está representado um esquema da solução desenvolvida.

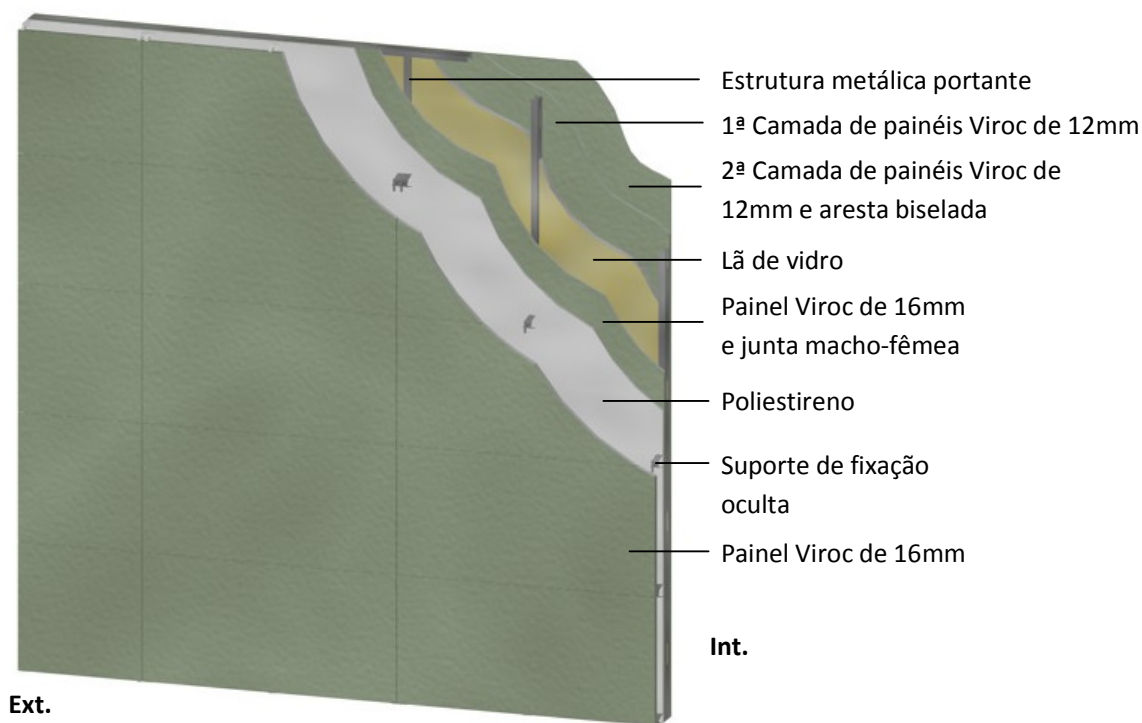


Figura 5.5. – Corte esquemático da solução 2.

Esta solução de fachada devido à existência da camada de impermeabilização em painéis Viroc, vai apresentar um coeficiente de condutibilidade térmica ligeiramente diferente e vai permitir uma significativa melhoria da segurança contra incêndio da parede, principalmente na propagação de um incêndio do exterior para o interior do edifício, dado que na solução 1 a estrutura metálica de suporte da parede não dispunha de qualquer protecção no caso da propagação de um incêndio do exterior para o interior. Para um correcto desempenho em caso de incêndio é necessário impedir que o fogo atravessa a parede e ao mesmo tempo impedir que este atinja a estrutura metálica portante da parede, dado as estruturas metálicas apresentarem, no geral, mau comportamento quando confrontadas com situações de incêndio. A fim de atingir este objectivo é crucial que se aumentem as espessuras dos painéis Viroc de ambos os lados da estrutura metálica, interior e exterior, através da sobreposição de painéis. O tempo de resistência da parede ao fogo será função do lado que apresentar a menor espessura, resultante da sobreposição dos painéis Viroc.

O quadro 5.20. especifica algumas das principais características desta solução, à semelhança do quadro 5.19. apresentado para a solução 1.

Quadro 5.20. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 2.

Isolamento Térmico			Isolamento Acústico		Resistência ao Fogo	
Zona	Coef. de Transmissão Térmica da Solução (W./m2.°C)	*Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Grau	Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Tempo (min.)	Espessura mínima dos Painéis Viroc (mm)
I1	0.67	10	Suficiente	50	30	15
I2	0.56	20	Bom	75	60	30
I3	0.49	30	Muito Bom	100	120	60

* Espessura de poliestireno para isolamento térmico composto por 50mm de lã de vidro + poliestireno.

Dadas as características desta solução é possível que para a sua instalação exista mais do que um método que se possa seguir, contudo apresenta-se de seguida uma proposta de montagem da parede, que se julga ser a mais adequada a esta solução.

O procedimento recomendado para a instalação da solução 2 é o seguinte:

- 1 – Verificar se estão reunidas todas as condições para a instalação da parede, tal como referido para a solução 1;
- 2 – Montar a estrutura aço galvanizado leve que irá servir de suporte à parede;
- 3 – Tendo a estrutura de suporte montada, instalar exteriormente os painéis Viroc com os bordos maquinados, macho-fêmea, à estrutura metálica de suporte através de parafusos auto perfurantes;
- 4 – Após a colocação dos painéis Viroc com ligação macho-fêmea, efectuar todas as instalações necessárias, eléctricas, hidráulicas, ou outras eventualmente, tendo sempre o cuidado de no caso das instalações eléctricas proteger as furações dos montantes, de forma apropriada, afim de estas não danificarem cabos eléctricos o que poderia colocar em causa a segurança dos utilizadores;
- 5 – Fixar o isolamento térmico/acústico em lã de vidro, através do interior, aos painéis Viroc com ligação macho-fêmea;
- 6 – Colocar os painéis Viroc interiores, em dupla camada e desencontrados nas juntas, e finalizar as instalações no seu encontro com os painéis;
- 7 – Colocar os suportes de fixação oculta dos painéis Viroc da fachada ventilada, prendendo-os por ligações aparafusadas, recorrendo a parafusos auto perfurantes, aos montantes da estrutura em aço leve galvanizado, atravessando os parafusos de fixação dos suportes os painéis Viroc com ligação macho-fêmea;
- 8 – Montar os suportes adequados ao isolamento térmico em poliestireno e fixar o mesmo aos seus respectivos suportes;
- 9 – Fixar os painéis Viroc de revestimento exterior da fachada aos suportes de fixação oculta;
- 10 – Tratamento das juntas dos painéis interiores com gesso e fita tapa juntas;

11 – Efectuar os acabamentos interiores e exteriores, de forma a dar à parede um aspecto acabado.

5.3.1.3. Solução 3

Esta terceira proposta de solução segue de perto a solução 2, apresentando como argumento principal para a sua justificação um custo mais económico. Esta solução é igual à anterior em termos de comportamento, visto que as camadas compostas pelos diferentes materiais, que mais intervêm no comportamento, apresentarem as mesmas espessuras e a mesma posição na parede.

O que acaba por tornar esta solução mais económica é o facto de o sistema de suporte dos painéis Viroc da fachada ventilada ser concebido por cliques à vista, que são mais económicos do que os ocultos, mais fáceis de montar e ainda permitem que a espessura dos painéis Viroc que compõem a fachada ventilada deixe de ser de 30mm e passe a ser de 16mm, logo mais económicos. Este último facto apresentado permite ainda diminuir o momento de força a que os montantes da estrutura metálica portante da parede estarão sujeitos, contribuindo para o aligeiramento destes e para a redução dos custos da solução.

Esta solução apresenta como desvantagem face à anterior o facto de ao ter os cliques fixadores dos painéis Viroc de revestimento da fachada à vista, o que para algumas pessoas poderá ser considerado inestético.

A figura 5.6. representa um esquema da solução.

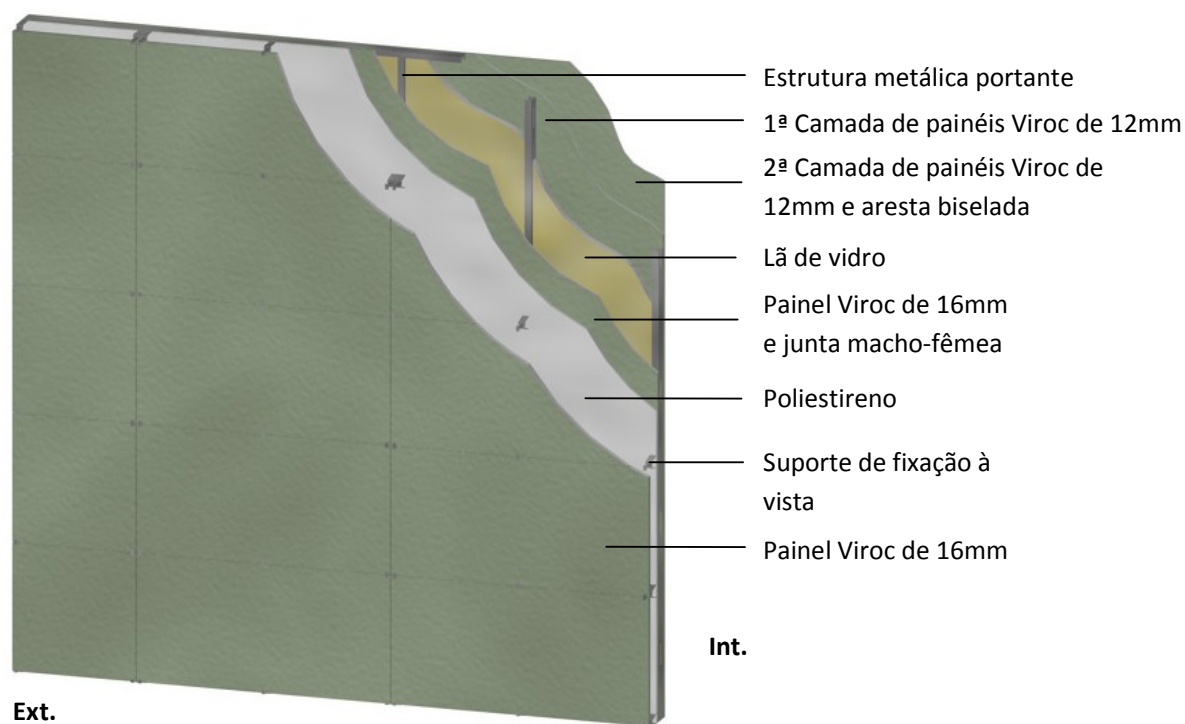


Figura 5.6. – Corte esquemático da solução 3.

Como se pode observar através do quadro 5.21. a solução 3 apresenta um comportamento em tudo semelhante ao da solução 2.

Quadro 5.21. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 3.

Isolamento Térmico			Isolamento Acústico		Resistência ao Fogo	
Zona	Coef. de Transmissão Térmica da Solução (W./m2.°C)	*Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Grau	Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Tempo (min.)	Espessura mínima dos Painéis Viroc (mm)
I1	0.67	10	Suficiente	50	30	15
I2	0.56	20	Bom	75	60	30
I3	0.49	30	Muito Bom	100	120	60

* Espessura de poliestireno para isolamento térmico composto por 50mm de lã de vidro + poliestireno.

Em relação ao processo de montagem, este seguirá o modelo da solução 2, com a diferença que no ponto 7 em vez da aplicação dos suportes de fixação oculta se irá aplicar cliques de fixação à vista.

5.3.1.4. Solução 4

A solução 4 é substancialmente diferente das anteriores por não ser revestida exteriormente por painéis Viroc. Nesta solução substituiu-se a fachada ventilada e os painéis Viroc por reboco delgado armado sobre isolamento térmico. Esta solução surgiu do facto de os painéis Viroc serem relativamente dispendiosos, de já estarem a ser largamente utilizados nas soluções anteriores e da necessidade de se desenvolver uma solução de fachada que fosse mais económica. A solução apresentada ao evitar a solução em fachada ventilada e o revestimento exterior em painéis Viroc, embora mantendo os painéis Viroc com ligação macho-fêmea aplicados exteriormente à estrutura metálica portante, elimina os custos associados aos painéis, aos suportes e ao reforço estrutural dos montantes que uma solução em fachada ventilada implicaria dados os momentos induzidos à estrutura portante pelos painéis Viroc de revestimento da fachada.

A solução desenvolvida, e expressa na figura 5.7., é então composta pela estrutura metálica portante da parede, pelo isolamento térmico/acústico em lã de vidro colocado entre os montantes da estrutura, por uma dupla camada de painéis Viroc com 12mm cada instalados interiormente com juntas desencontradas e arestas biseladas na camada mais interior. Exteriormente à estrutura metálica está instalada a camada de painéis Viroc com ligação macho-fêmea que garante a impermeabilização da parede, que por sua vez é revestida pelo isolamento térmico em poliestireno e que é envolvida pela camada de reboco delgado armado sobre isolamento, que finaliza exteriormente a solução.

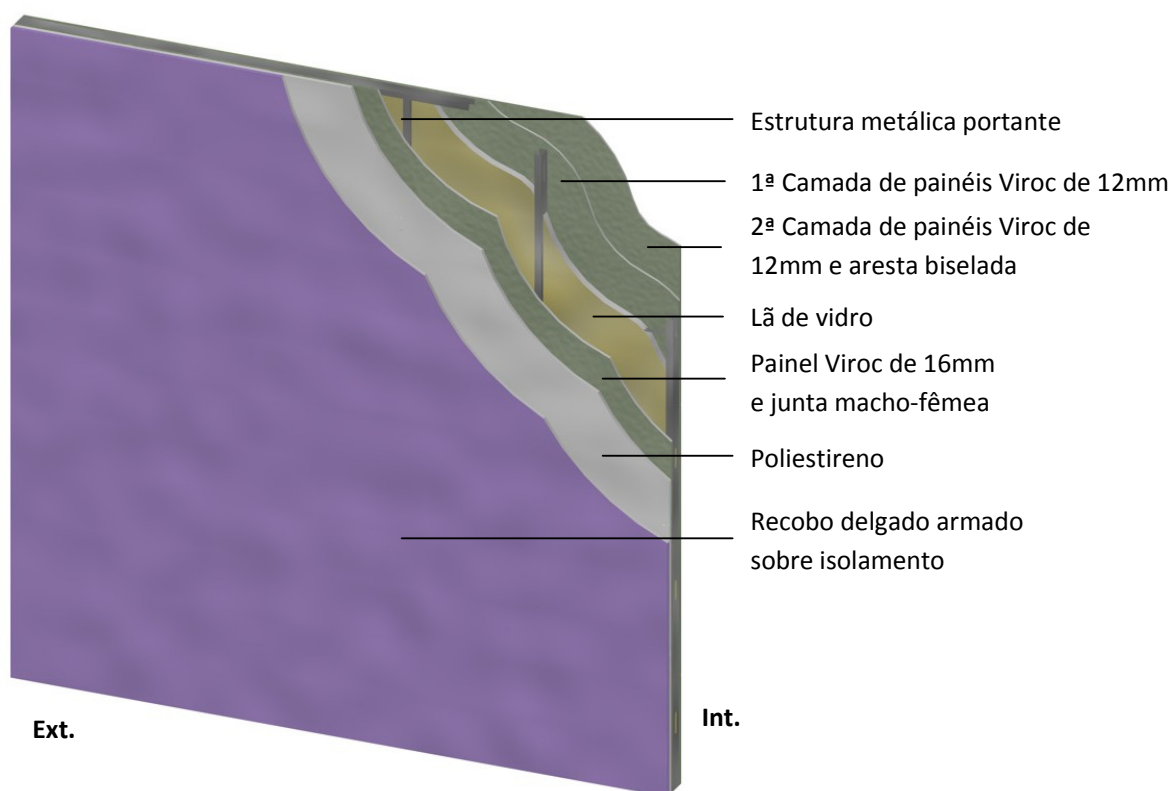


Figura 5.7. – Corte esquemático da solução 4.

Nesta solução o reboco armado delgado vai prestar algum contributo para o isolamento térmico e o comportamento ao fogo continuará a ser assegurado pelas camadas de painéis Viroc posicionadas, interiormente e exteriormente, à estrutura metálica portante. Esta solução poderá ter algumas variantes, tal como indicado no quadro 5.22.

Quadro 5.22. – Quantidade de material a empregar para melhor satisfação das principais exigências, para a solução 4.

Isolamento Térmico			Isolamento Acústico		Resistência ao Fogo	
Zona	Coef. de Transmissão Térmica da Solução (W./m2.°C)	*Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Grau	Espessura Recomendada do Isolamento (mm)	Tempo (min.)	Espessura mínima dos Painéis Viroc (mm)
I1	0.71	10	Suficiente	50	30	15
I2	0.59	20	Bom	75	60	30
I3	0.51	30	Muito Bom	100	120	60

* Espessura de poliestireno para isolamento térmico composto por 50mm de lã de vidro + poliestireno.

A instalação desta solução segue os passos 1 a 6 da solução 2, estando o restante procedimento listado abaixo.

7 – Fixação aos painéis Viroc com ligação macho-fêmea dos elementos de suporte do isolamento térmico em poliestireno e aplicação do mesmo;

8 – Aplicação do reboco armado delgado sobre o isolamento térmico;

9 – Tratamento das juntas dos painéis interiores com gesso e fita tapa juntas;

10 – Efectuar os acabamentos interiores e exteriores, de forma a dar à parede um aspecto acabado.

Embora as soluções apresentadas satisfaçam as principais exigências de uma parede de fachada devido à opção tomada de empregar painéis Viroc sempre que possível, dado o tema do trabalho envolver a utilização de painéis Viroc para o desenvolvimento de fachadas, admite-se que as soluções desenvolvidas nem sempre possam corresponder à solução economicamente mais vantajosa. Por esse motivo e a fim de tornar as soluções mais competitivas pode-se sugerir a substituição de alguns dos painéis Viroc por outros materiais, como a dupla camada interior de painéis Viroc de 12mm cada que poderá ser substituída por dupla camada de painéis em gesso cartonado de 12,5mm de espessura cada e sem prejuízo de maior para o desempenho da solução.

5.3.2. Pontos singulares

Como foi dito em 5.2 não basta a caracterização da zona corrente para se poder afirmar que se desenvolveu com sucesso uma boa solução de fachada. Para se obter uma solução de fachada é necessária a pormenorização e concepção da solução nas singularidades de uma fachada. Nesse sentido será apresentada seguidamente uma possível sugestão de resolução para cada um dos mais comuns pontos singulares de fachadas. Essa sugestão será apresentada fundamentalmente de forma ilustrada, dado se entender que neste tipo de situações ser mais proveitosa a visualização das sugestões do que uma descrição escrita das mesmas.

5.3.2.1. Ligação Fachada/Pavimento

Na figura 5.8. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com o pavimento da solução 1.

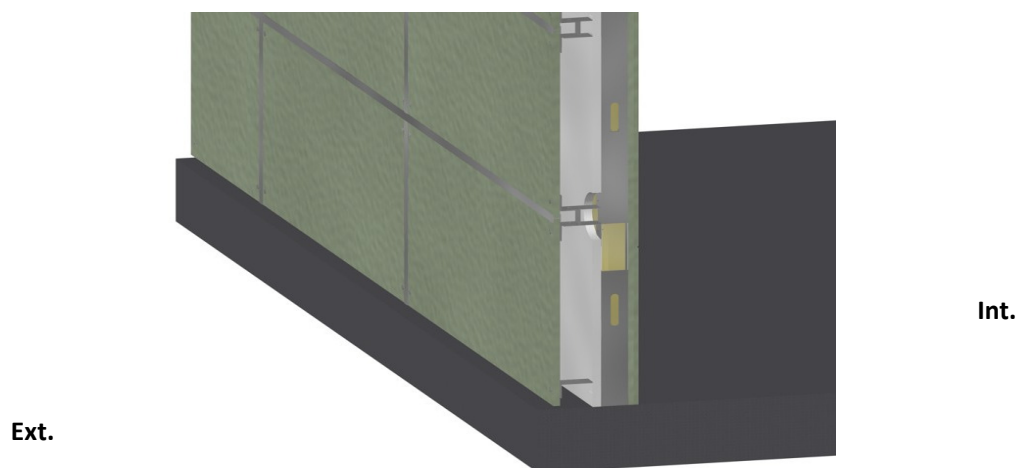


Figura 5.8. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/pavimento da solução 1.

5.3.2.2. Ligação Fachada/Piso Intermédio

Na figura 5.9. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com o piso intermédio da solução 1.

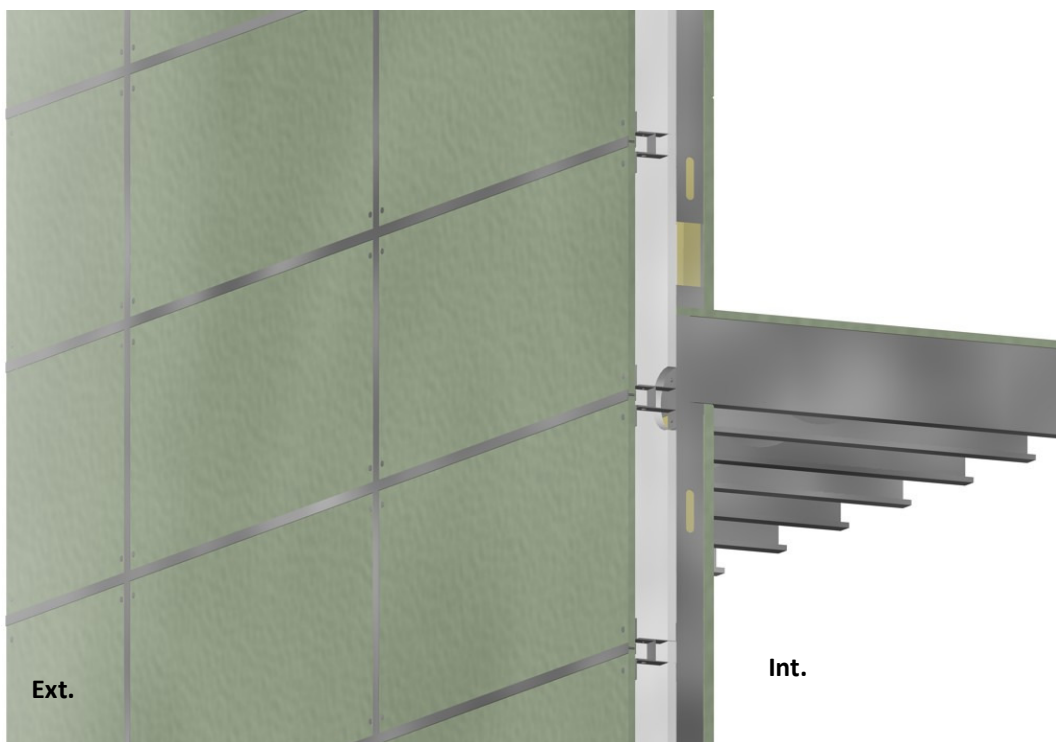


Figura 5.9. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/piso intermédio da solução 1.

5.3.2.3. Ligação Fachada/Cobertura

Na figura 5.10. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com o piso intermédio da solução 1.

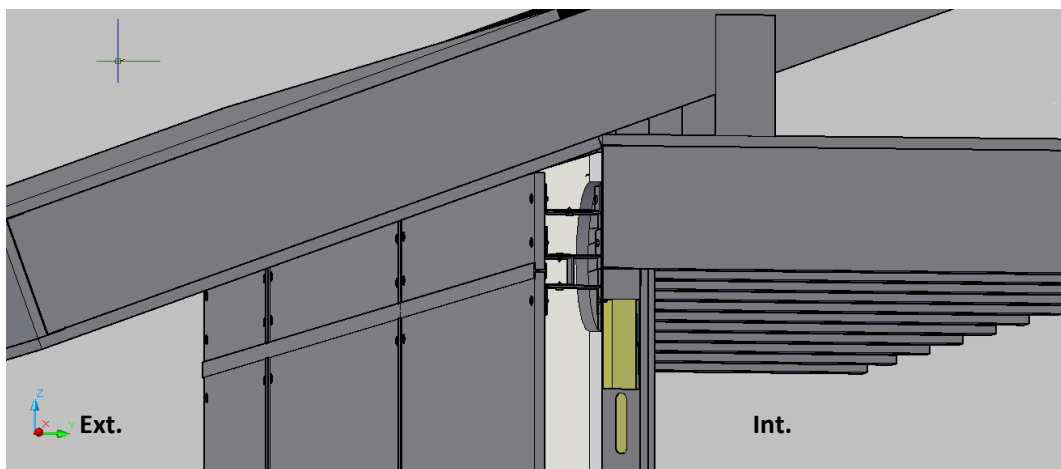


Figura 5.10. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/porta da solução 1.

5.3.2.4. Ligação de Esquina Fachada/Fachada

Na figura 5.11. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com o piso intermédio da solução 1.

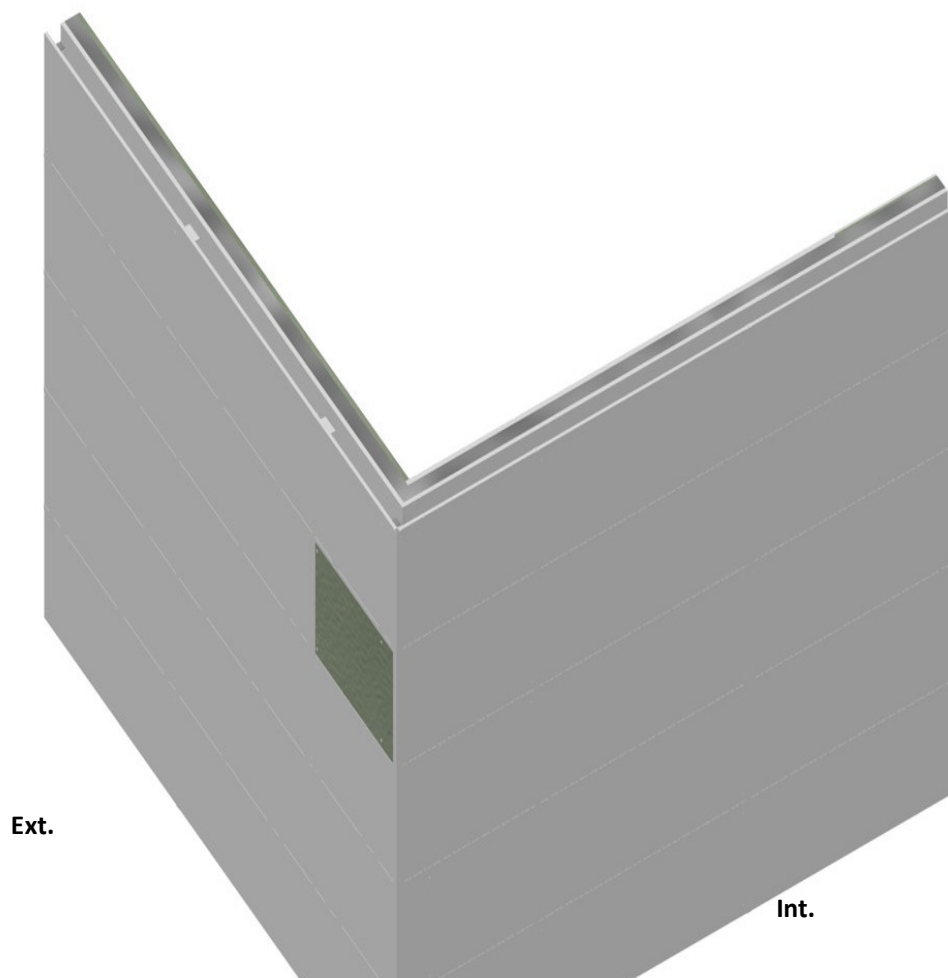


Figura 5.11. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/fachada da solução 1.

5.3.2.5. Ligação Fachada/Porta

Na figura 5.12. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com a porta da solução 1.

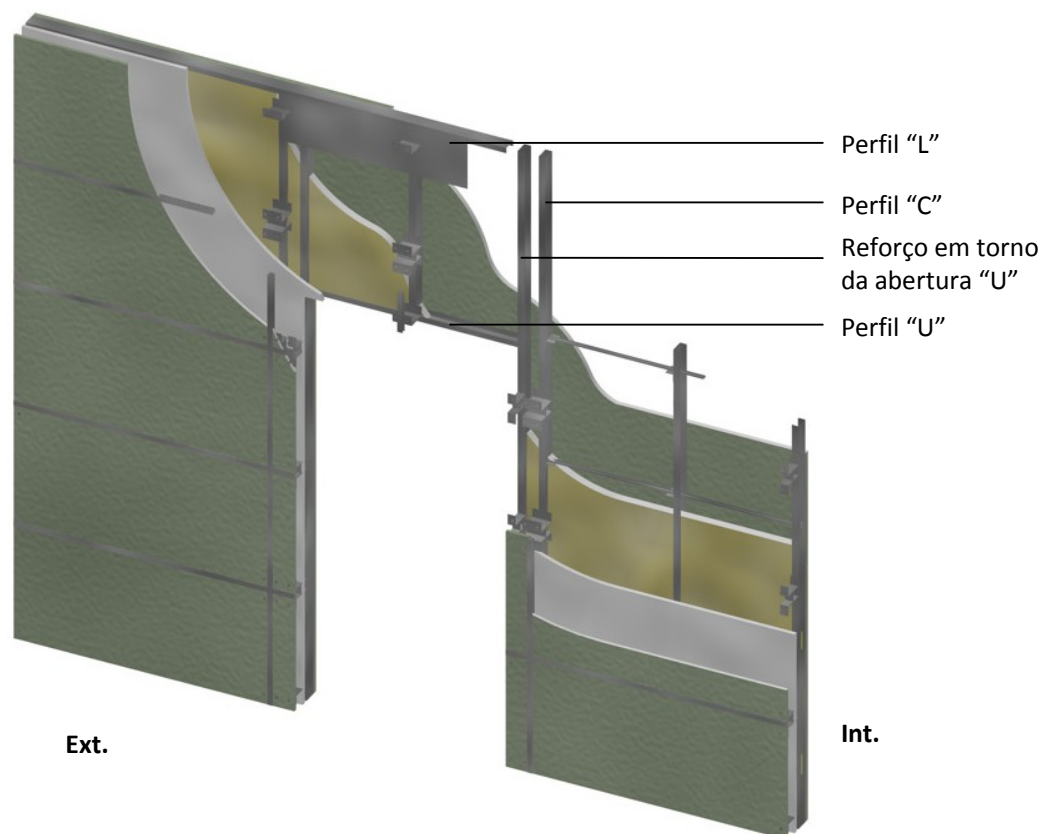


Figura 5.12. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/porta da solução 1.

Pode-se observar na figura 5.12. a forma como está resolvido o encontro da fachada com a abertura para a porta e os vários reforços e adaptações daí resultantes. Junto da abertura é visível na imagem acima o reforço dos montantes com perfis “C” que proporcionam à parede na zona da abertura maior capacidade para resistir a forças que se possam gerar perpendicularmente à parede, por terem maior inércia, dada a sua geometria. Também se pode observar a colocação de montantes de reforço em torno da abertura que têm como principais funções servir de apoio à porta e respectivas guarnições, resolver problemas de adaptação das dimensões da porta com a estrutura portante da fachada, além de contribuírem para receber o acréscimo de tensão proveniente da distribuição de tensões da zona superior à padeeira da porta. O perfil “U” tem como objectivos complementar o caixilho estrutural para a colocação da porta e ao mesmo tempo contribuir para a transmissão das tensões provenientes do montante interrompido pela abertura para os montantes laterais à mesma. Nos casos em que se trate de fachadas com função resistente é necessário a aplicação de um ou dois perfis “L”, no caso de serem dois um de cada lado da parede consoante a carga a que a parede estiver sujeita, a fim de permitirem uma melhor distribuição das tensões pelos montantes adjacentes.

5.3.2.6. Ligação Fachada Janela

Na figura 5.13. é apresentado um desenho tridimensional do pormenor da ligação da fachada com a janela da solução 1.

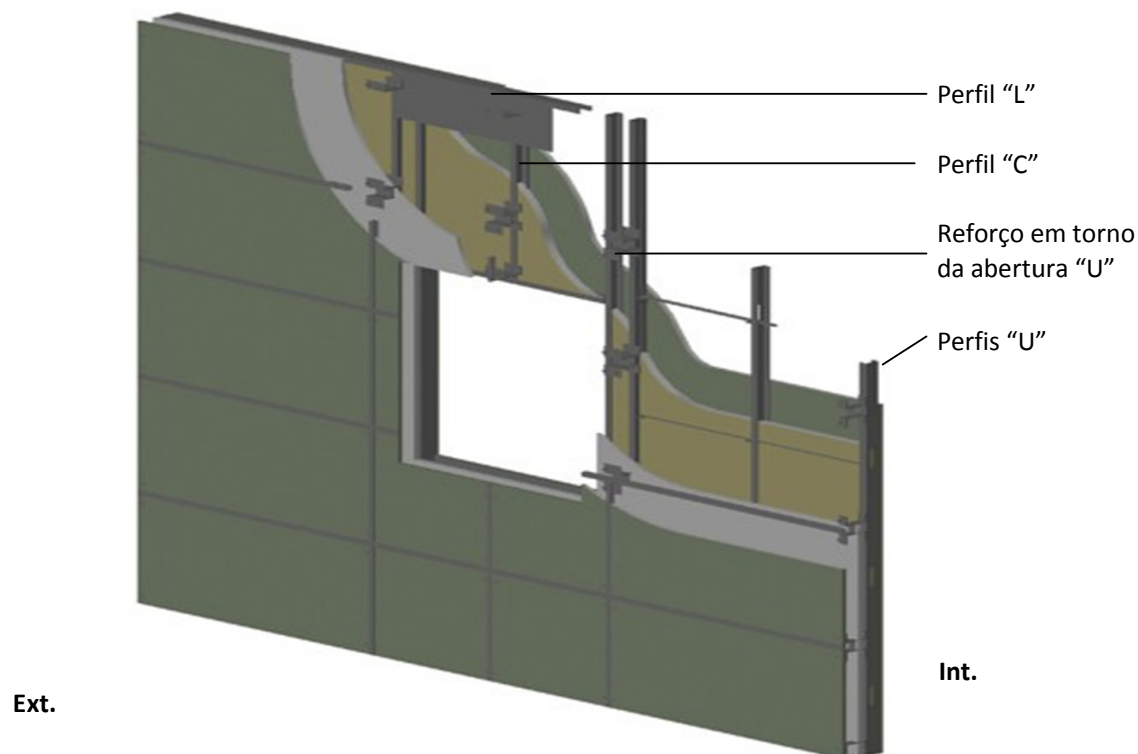


Figura 5.13. – Visualização 3D detalhada da ligação fachada/janela da solução 1.

Nesta situação os pormenores do encontro da fachada com a janela são muito semelhantes aos já descritos para a situação do encontro da fachada com a porta, com a diferença de que agora na parte inferior da janela existirá um perfil "U" que servirá de apoio e peitoril para a janela que estará por sua vez apoiado aos montantes "U" laterais e no montante central, visível em cima, interrompido pela abertura.

6. CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

Neste capítulo apresenta-se uma síntese dos principais assuntos abordados e desenvolvidos ao longo do presente trabalho e procura-se responder sob a forma como se respondeu aos objectivos deliniados no capítulo 1.

Em relação à potencialidade de expansão de paredes de fachada leves, ou até mesmo de edifícios leves no mercado português, de acordo com o estudo efectuado, pode-se concluir que existe um elevado desequilíbrio em Portugal em termos de soluções construtivas com um forte predomínio das soluções à base de estrutura de betão armado. Este facto indica que provavelmente existe um excessivo recurso a soluções de construção pesada em detrimento de outras formas construtivas, nomeadamente a construção leve, logo existe espaço para a proliferação de soluções construtivas do tipo das abordadas neste trabalho, como aliás indicam os sinais económicos auscultados junto das empresas que se dedicam na sua actividade à comercialização deste tipo de sistemas construtivos.

No que respeita às características de comportamento dos edifícios leves sob o ponto de vista das suas vantagens e desvantagens, percebeu-se que embora os edifícios leves, e consequentemente as fachadas leves, possam apresentar variadíssimas e importantes vantagens, desde os tempos de execução, segurança em caso de sismos, redução do peso das edificação de 7 a 8 vezes, menor quantidade dos trabalhos de fundação, entre muitas outras, também apresentam pontos fracos que não podem de forma alguma ser ignorados, como a baixa inércia térmica, o baixo nível de conhecimento das características de muitas das soluções, etc., não se podendo afirmar categoricamente a superioridade do sistema face aos métodos construtivos tradicionais, sendo contudo recomendável aos profissionais do sector um bom conhecimento em ambas as áreas, afim de poderem optar por aquela que apresentar mais vantagens aos seus projectos e não apenas as tradicionais.

Também em relação ao produto de nome comercial Viroc existem importantes conclusões a tirar, nomeadamente:

- o produto cumpre todas as exigências normativas exigidas para um revestimento exterior ou interior;
- o produto melhora as suas características com o desenrolar do tempo, pelo menos nos primeiros dois anos;
- apresenta-se sob diversos aspectos e tonalidades o que lhe confere boas condições de apresentação;
- está sujeito em fase de fabrico a um controlo de qualidade que assegura a constância de características;

- constitui uma solução alternativa a outros revestimentos já existentes no mercado.

Quanto à opção em LSF para estrutura portante resistente das paredes de fachada interessa dizer que embora seja em aço também é leve, fruto das espessuras utilizadas nos perfis, logo constitui uma estrutura leve como pretendido, além de representar uma mais valia para o mercado da construção de edifícios leves, visto que:

- é compatível com os métodos de pré-fabricação mais comuns, ao mesmo tempo que permite maior rigor geométrico do que a madeira, algo essencial quando se fala de pré-fabricação;
- o Sistema LSF apresenta-se bem estruturado e desenvolvido com inúmeras possibilidades para solucionar problemas que possam surgir nos pontos singulares dos edifícios;
- problemas oriundos de fluência e vibrações podem ser resolvidos ou mitigados e em todo o caso serão sempre inferiores aos das estruturas de madeira;
- o sistema tem capacidade para resolver praticamente na totalidade e por si só os problemas quanto à localização e passagem de tubos das instalações elétricas e hidráulicas;
- o sistema é bastante versátil, e se permite as variantes descritas em 4.3., também permite as soluções desenvolvidas no capítulo 5.

A avaliação das exigências de desempenho das soluções de fachada leve para edifícios de pequeno porte, efectuada de forma algo exaustiva e bastante abrangente, em 5.2., serviu de base para o desenvolvimento em 5.3. das soluções apresentadas.

As soluções de fachada leve resistentes empregando painéis de aglomerado madeira e cimento desenvolvidas no âmbito do presente trabalho, constituem um dos pilares fundamentais do mesmo, tendo sido desenvolvidos quatro soluções de paredes de fachada distintas. Embora no decorrer do presente trabalho se tenha procurado que estas fossem caracterizadas o mais pormenorizadamente possível, não foi possível a realização de ensaios laboratoriais nem a utilização de software específico, motivado por constrangimentos de tempo, algo que impossibilitou uma melhor caracterização de algumas características, como térmicas, acústicas, resistência ao fogo, etc. Sendo assim, e levando em consideração o tempo disponível para a realização da presente dissertação, restou fazer uma caracterização sumária do seu desempenho esperado. Ainda no âmbito das soluções propostas verifica-se que estas são exequíveis, algo que ficou plenamente demonstrado na proposta de montagem do sistema, onde mais uma vez se comprovou que este tipo de estruturas são de montagem rápida e simples.

Também no que aos pontos singulares diz respeito, como zonas de intersecção de paredes de fachada com portas, janelas, pavimento, outras paredes, entre outras, foram analisados no decorrer deste trabalho sete pontos críticos, o que equivale a dizer que foram desenvolvidas formas para as soluções propostas poderem ser aplicadas a casos práticos e sem comprometer o seu desempenho.

Por todos os motivos acima citados pode-se afirmar que todos os sub-objectivos do presente trabalho foram escrupulosamente cumpridos e que consequentemente o objectivo final de desenvolver soluções de fachadas leves para edifícios de pequeno porte empregando painéis de aglomerado de madeira e cimento também o foi.

Ainda em relação aos edifícios realizados com recurso a esta metodologia desenvolvida durante este trabalho, importa referir que por muito bem pensada que esteja uma determinada solução ela jamais será perfeita e como tal as soluções desenvolvidas carecem de algumas fragilidades para as quais importa chamar a atenção:

- derivado do facto de se tratarem de paredes leves, a inércia térmica dos edifícios será naturalmente fraca, algo que em países com amplitudes térmicas significativas se irá traduzir em custos acrescidos de aquecimento dos edifícios ou em desconforto para os ocupantes. Este facto não tem necessariamente de ser negativo se pensarmos por exemplo numa segunda habitação para férias em que o facto de o edifício apresentar uma inércia térmica fraca até se pode transformar numa vantagem, ou em divisões pouco frequentadas, ou ainda em edifícios construídos em zonas de climas tropicais, onde as amplitudes térmicas são mais amenas (países como o Brasil ou Angola). E se se tiver em consideração existência crescente de empresas portuguesas nestes países, facilmente se compreende que o conhecimento e desenvolvimento de tecnologias de fachadas leves para edifícios, mesmo em Portugal, poderá constituir uma mais valia concorrencial para essas empresas no estrangeiro;
- devido à estrutura portante em aço existem pontes térmicas significativas, algo que limita as soluções desenvolvidas, uma vez que praticamente obriga à existência de isolamento térmico pelo exterior da estrutura metálica;
- o custo deste tipo de soluções, embora até seja cerca de 30% mais barato noutros países em relação à construção dita corrente, o mesmo não se verifica em Portugal, estando ambas sensivelmente ao mesmo patamar (algo que se espera que venha a mudar com a proliferação deste tipo de soluções);
- e por fim a resistência à aceitação por parte de alguns consumidores, o que embora não constitua propriamente uma fragilidade intrínseca ao sistema, acaba por constituir uma dificuldade acrescida aquando da sua comercialização.

6.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Seguidamente são apresentados algumas possibilidades para desenvolvimentos futuros em torno do tema abordado nesta dissertação.

- utilização de software específico para estudar e melhorar as soluções desenvolvidas neste trabalho;
- realizar ensaios laboratoriais para comprovar os resultados esperados através da utilização de software;
- detalhar de forma mais pormenorizada nos pontos críticos as soluções desenvolvidas no presente trabalho e talvez analisar mais pontos críticos;
- realização de uma análise económica que possa quantificar a diferença real de custo entre o sistema em estudo e soluções correntes de fachada;
- comparar, a nível de desempenho, as diferentes soluções de fachada e propor novas soluções;
- propor uma forma de classificação dos edifícios em leves e pesados de uma forma quantitativa;
- atendendo aos resultados obtidos no comportamento dos painéis de nome comercial Viroc, continuar a propor painéis com outras características e talvez com maior percentagem de aparas de madeira ou menores espessuras.

BIBLIOGRAFIA

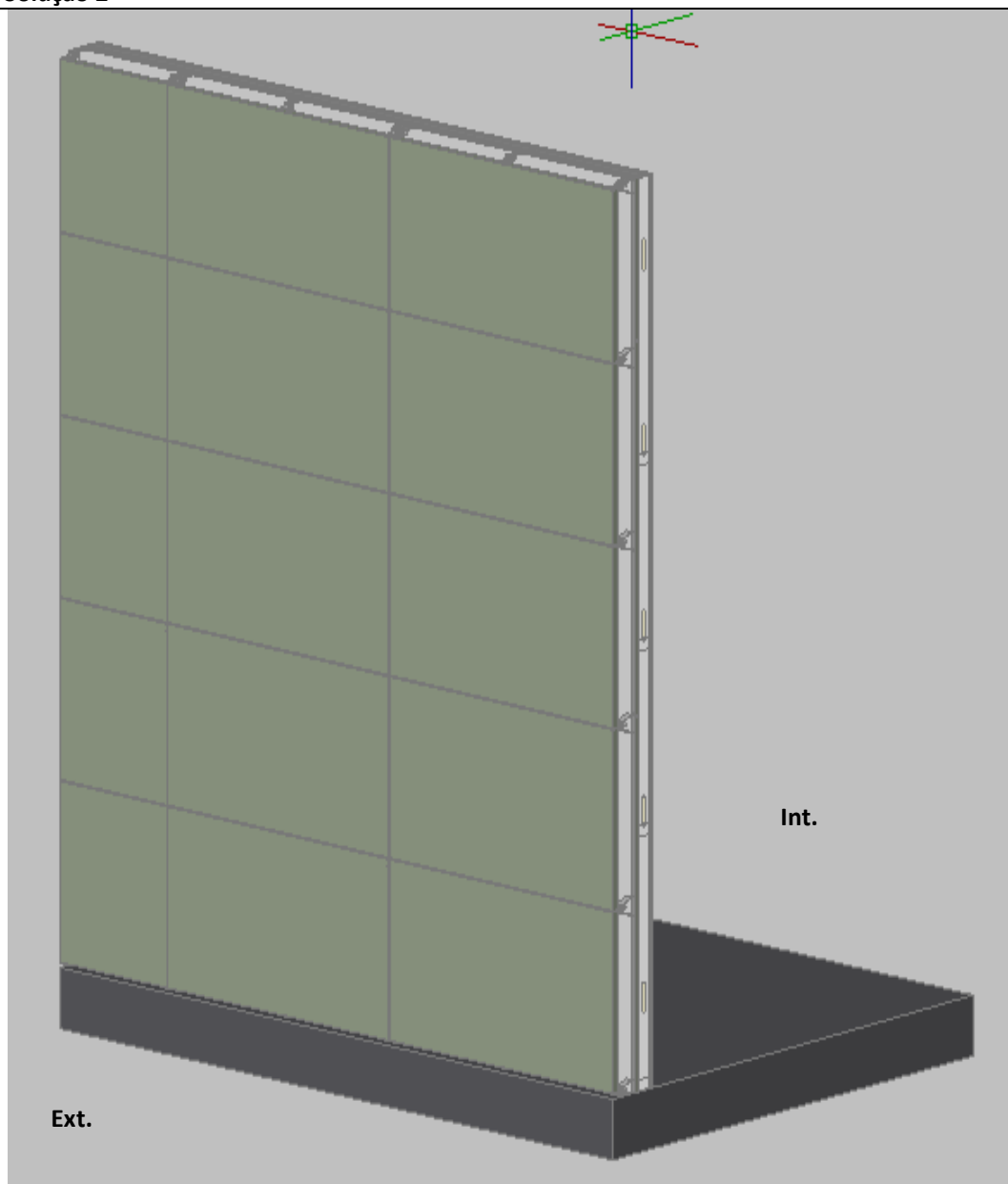
- [1] Santos, S. Pompeu – **Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide**, 2002
- [2] U. S. Census Bureau - **Principal Type of Exterior Wall Material of New One-Family Houses Completed**, <http://www.census.gov/const/www/newresconstindex.html> (10/04/10)
- [3] Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Lisboa. 2006.
- [4] Faria, J. Amorim - **7ª Jornadas Construções Cívicas** – FEUP:1999
- [5] Oliveri, G. Mario – **Prefabricación o metaproyecto constructivo**, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1972
- [6] Alves, Jorge Ricardo dos Santos – **Análise Exigencial de Revestimentos Exteriores de Edifícios Através de Placas de Aparas de Madeira e Cimento**, Dissertação de Mestrado. FEUP: 2009
- [7] COMMISSION CHARGÉE DE FORMULER DES AVIS TECHNIQUE – **Classement reVETIR des systèmes d’isolation thermique des façades par l’extérieur** – Cahiers du CSTB 2929. Décembre 1996
- [8] <http://www.viroc.pt/viroc/> – Catálogo Viroc 2010 (24/03/10)
- [9] http://www.europanel.be/download/Instructionsforuse_eng.pdf (15/04/10)
- direct Impingement of Flame.Part 2: Single-flame Source Test. ISO, Genève, 2002.
- Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item. CEN, 2002.
- [10] Fan, Mizi e Suttle, Ed - **Ageing effect and long term performance of cement bonded particleboard** – BRE – Março de 2008
- [11] EN634-2 Cement-bonded particle boards. Specification. Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and exterior conditions, 1996
- [12] Freitas, Arlene Maria Sarmanho e Castro, Renata Cristina Moraes – **Steel Framing: Arquitectura**. Rio de Janeiro. 2006. - <http://www.cbca-ibs.org.br/> (15/04/2010)
- [13] Dietrich Metal Framing – **The Metal Framing & Finishing Catalog**
- [14] Avis Technique (ATEC) – Viroc. n.º 2/97-597. Outubro de 1997
- [15] SYNDICAT D’ÉTUDES INTERINDUSTRIES – CONSTRUCTION; CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC); BUREAU DE CONTROLE POUR LA SÉCURITÉ DE LA CONSTRUCTION (SECO) – Bruxelles – **Guide des Performances du Bâtiment**. Janvier 1980.
- [16] UNION EUROPÉENNE POUR L’AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION (UEAtc) – Paris – **Directivas UEAtc relativas a choques em elementos de construção verticais opacos**. Lisboa. LNEC, 1982. Tradução n.º 769.
- [17] Farinha, J. P. Brazão, et al. – **Tabelas Técnicas 2010**, Edições Técnicas E. T. L., Lda., 2010
- [18] Carvalho, António Pedro Oliveira de - **Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios**, FEUP, 2006
- [19] Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro - Regulamento Geral do Ruído. Lisboa. 2007.

- [20] Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Lisboa. 2008.
- [21] <http://www.isover.net/portugues/index.htm> - Isover – Saint Gobain, 2005
- [22] Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios. Lisboa. 2008.
- [23] Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro - Regulamento Técnico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios. Lisboa. 2008.
- [24] GROUPE DE COORDINATION DES TEXTES TECHNIQUES – Paris – **Travaux d’enduits de mortiers. Document Technique Unifié (DTU) n°26.1.** Avril 2008.
- [25] RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D’ESSAIS ET DES RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS (RILEM) – Genève – **Matériaux et constructions n°73.** Janvier-Février 1980, p.55-66.
- [26] CMM – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista – revista ano 11 n°20, Março 2010
- [27] RODRIGUES, Adelino de Araújo – **Fachadas com Revestimentos Exteriores Descontínuos e Independentes: Caracterização e Selecção Exigencial.** Dissertação de Mestrado. FEUP: 2003
- [28] http://www.construlink.com/LogosCatalogos/viroc_coberturas.pdf - Catálogo Viroc 2004
- [29] CEN – EN 13823. Reaction to Fire Tests for Building Products. Building Products Excluding
- [30] ISO – EN ISO 11925-2. Reaction to Fire Tests. Ignitability of Building Products Subjected to
- [31] Santos, Carlos A. Pina dos – **A classificação europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção.** Informação técnica, Edifícios; ITE 55. Lisboa. LNEC. 2009.
- [32] Santos, Carlos A. Pina dos e Matias, Luís – **Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.** Informação técnica, Edifícios; ITE 50. Lisboa. LNEC. 2007.
- [33] North American Steel Framing Alliance – **Low-Rise Residential Construction – Details.** 2000. <http://www.steel framing.org/> - 27-04-2010
- [34] GIACOMINI, Eliana – **Caixilharias Exteriores para Edifícios Contributo para a Melhoria da sua Especificação.** Tese de Mestrado. FEUP: 2007
- [35] Freitas, Carlos de – **“Pré-Fabricação Leve em Edifícios: LSF – Light Steel Framing”** - 2006
- [36] <http://futureng.com/imagens/media/Construtec.jpg> (22/03/10)
- [37] http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Sub-paginas/ProcesConst_apoio_ficheiros/aulas/PC_Cap9_Paredes_web.pdf
- [38] <http://www.statemaster.com/encyclopedia/Balloon-framing> (27/03/10)

ANEXO 1.

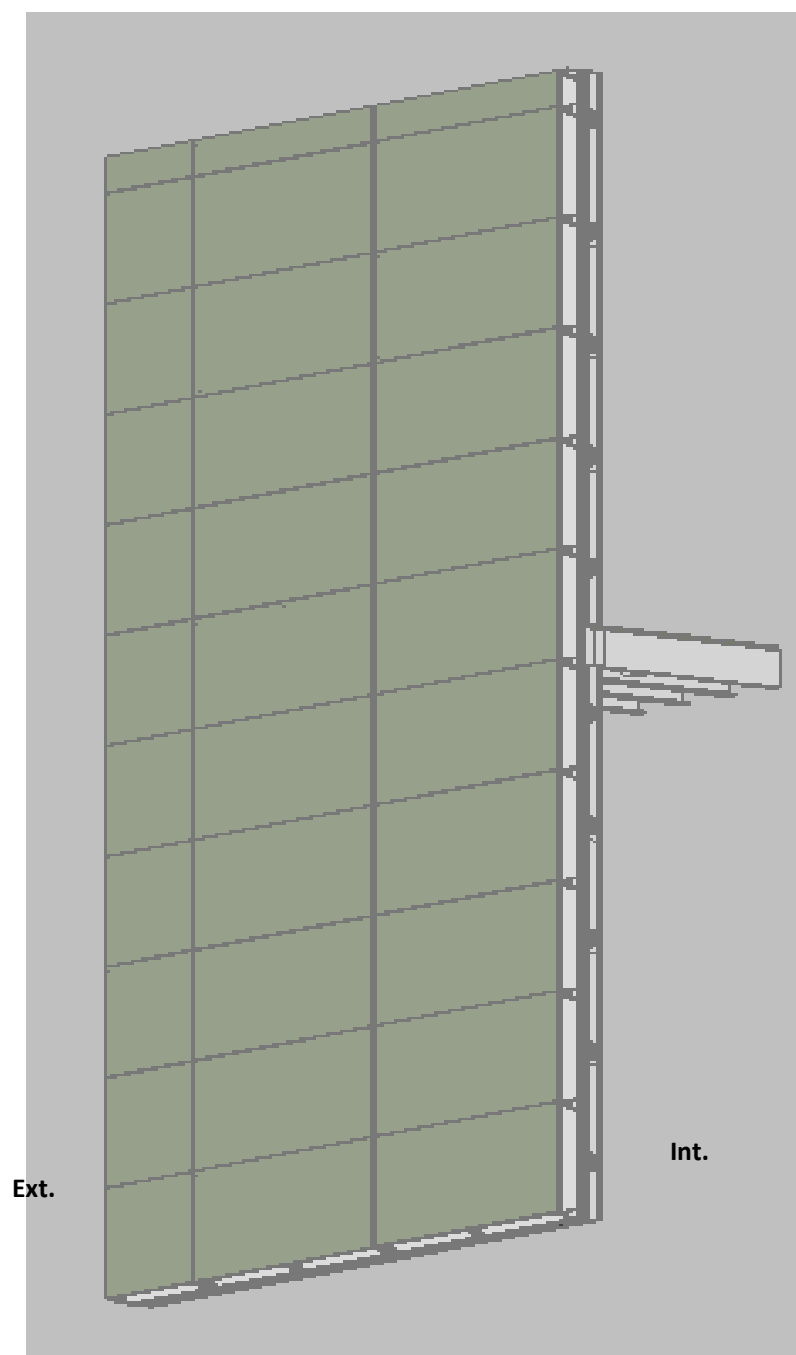
**DESENHOS DE PORMENOR DOS
PONTOS SINGULARES DAS SOLUÇÕES
2, 3 E 4**

Solução 2



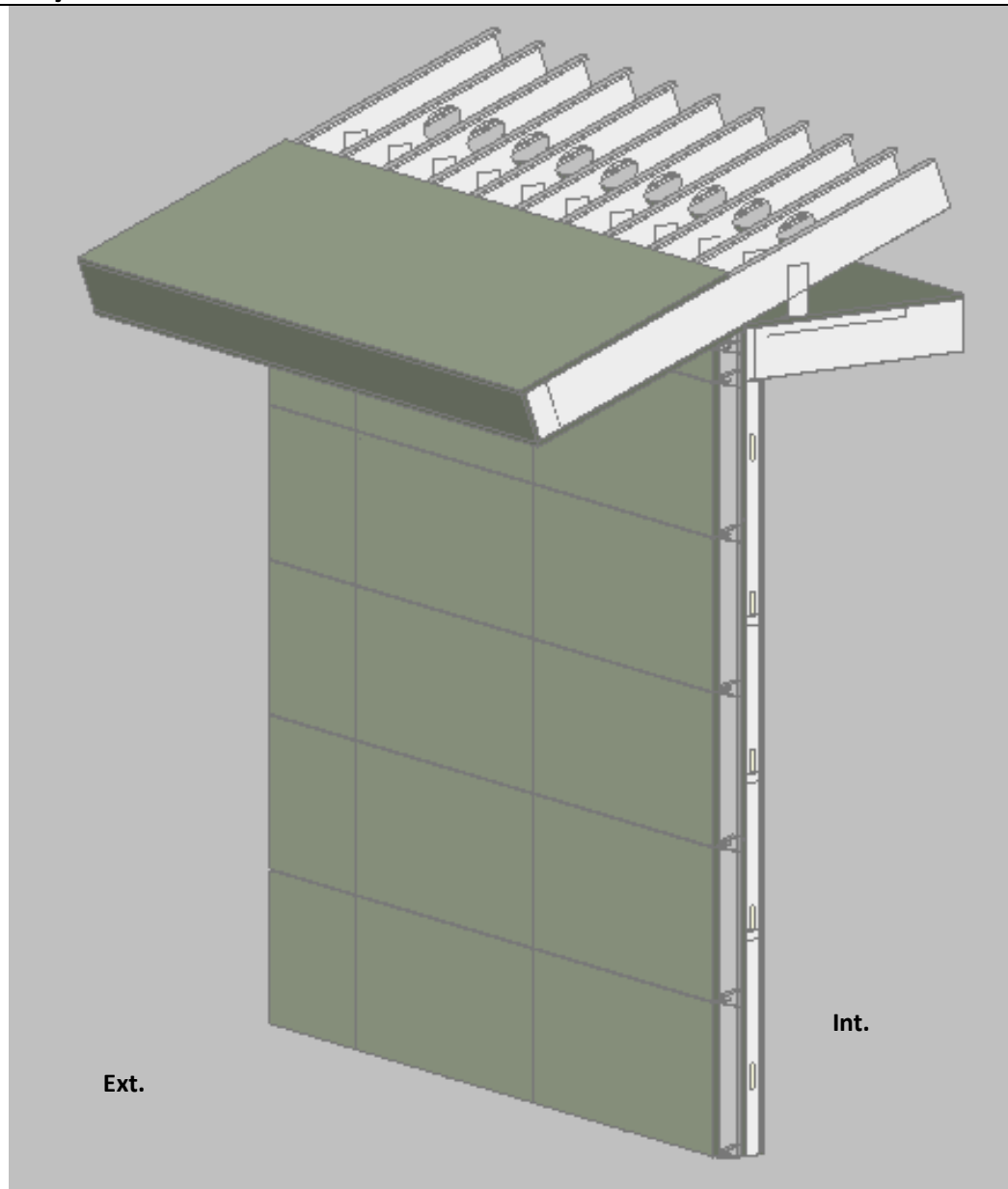
Pormenor:
Pavimento

Solução 2



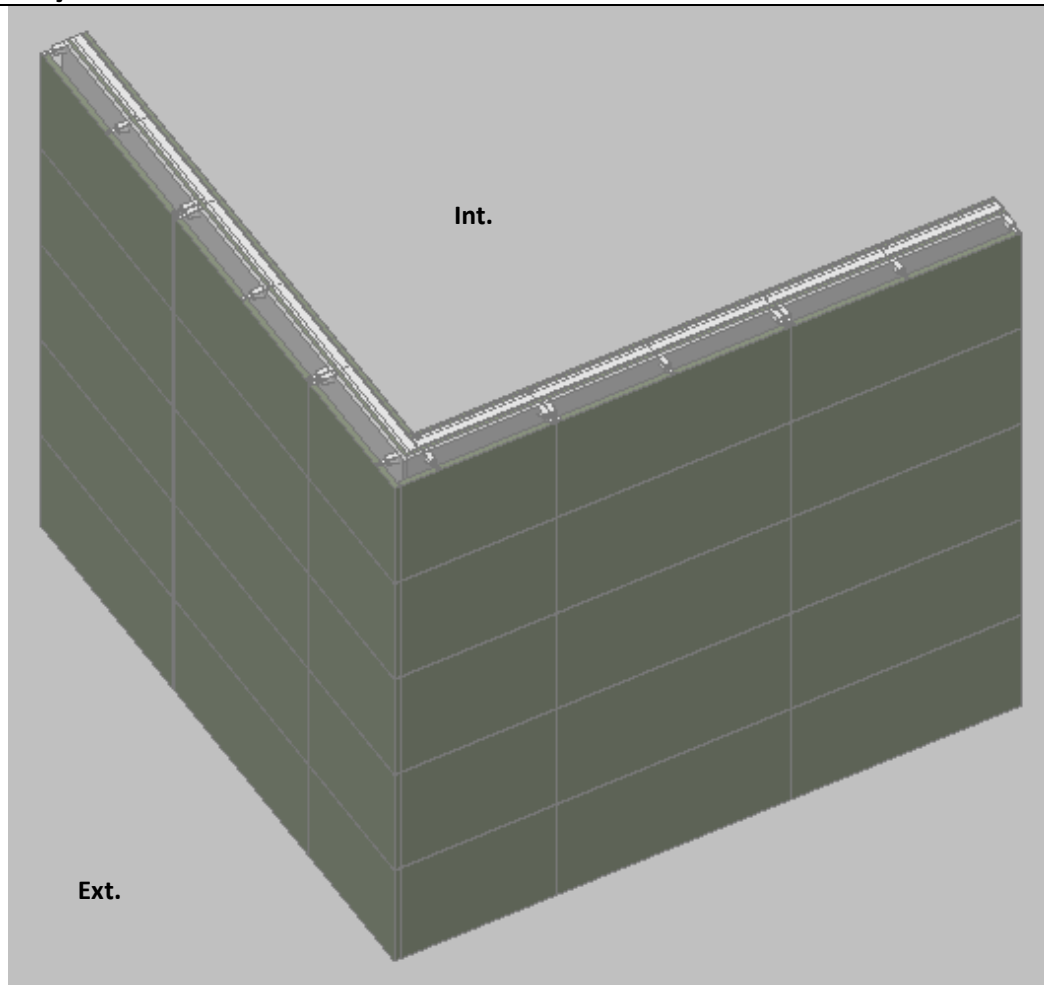
Pormenor:
Piso Intermédio

Solução 2



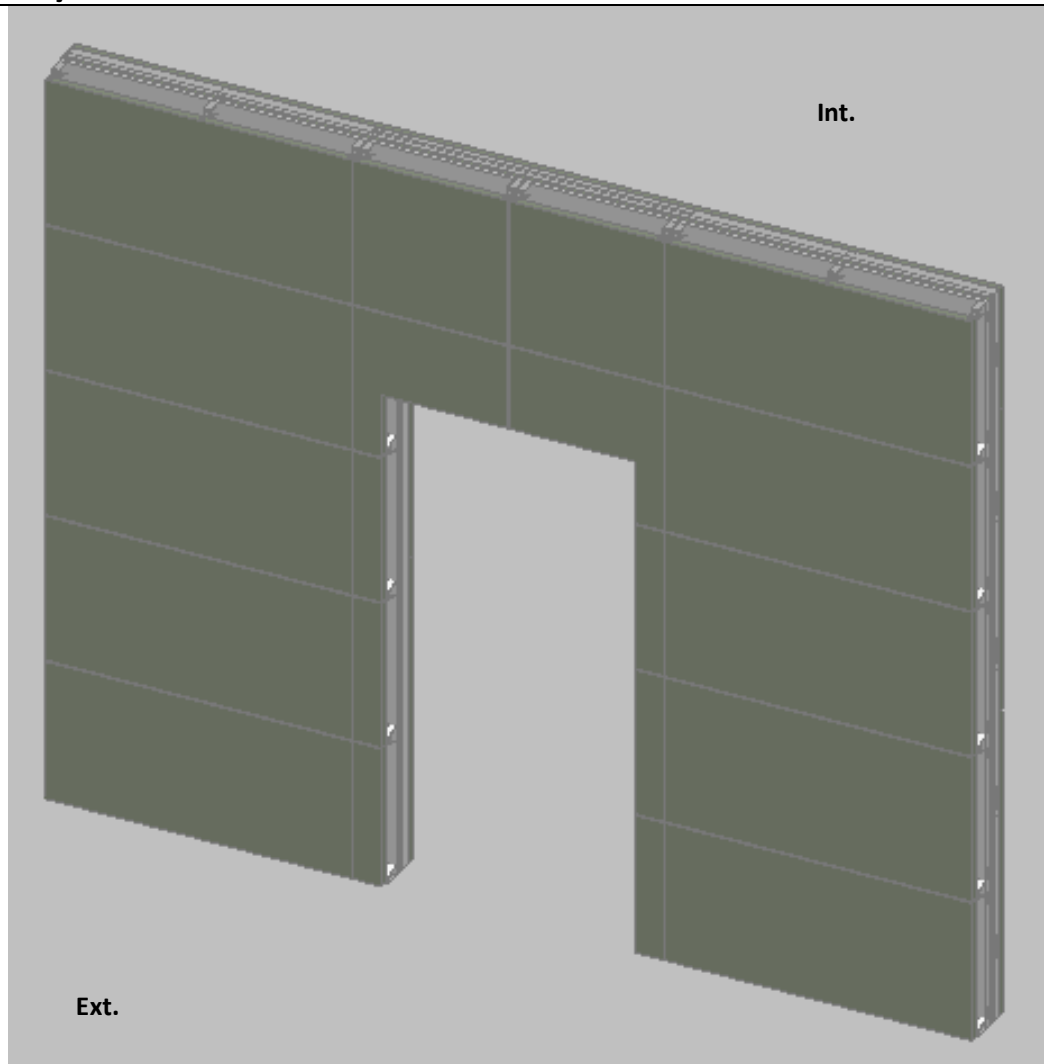
Pormenor:
Cobertura

Solução 2



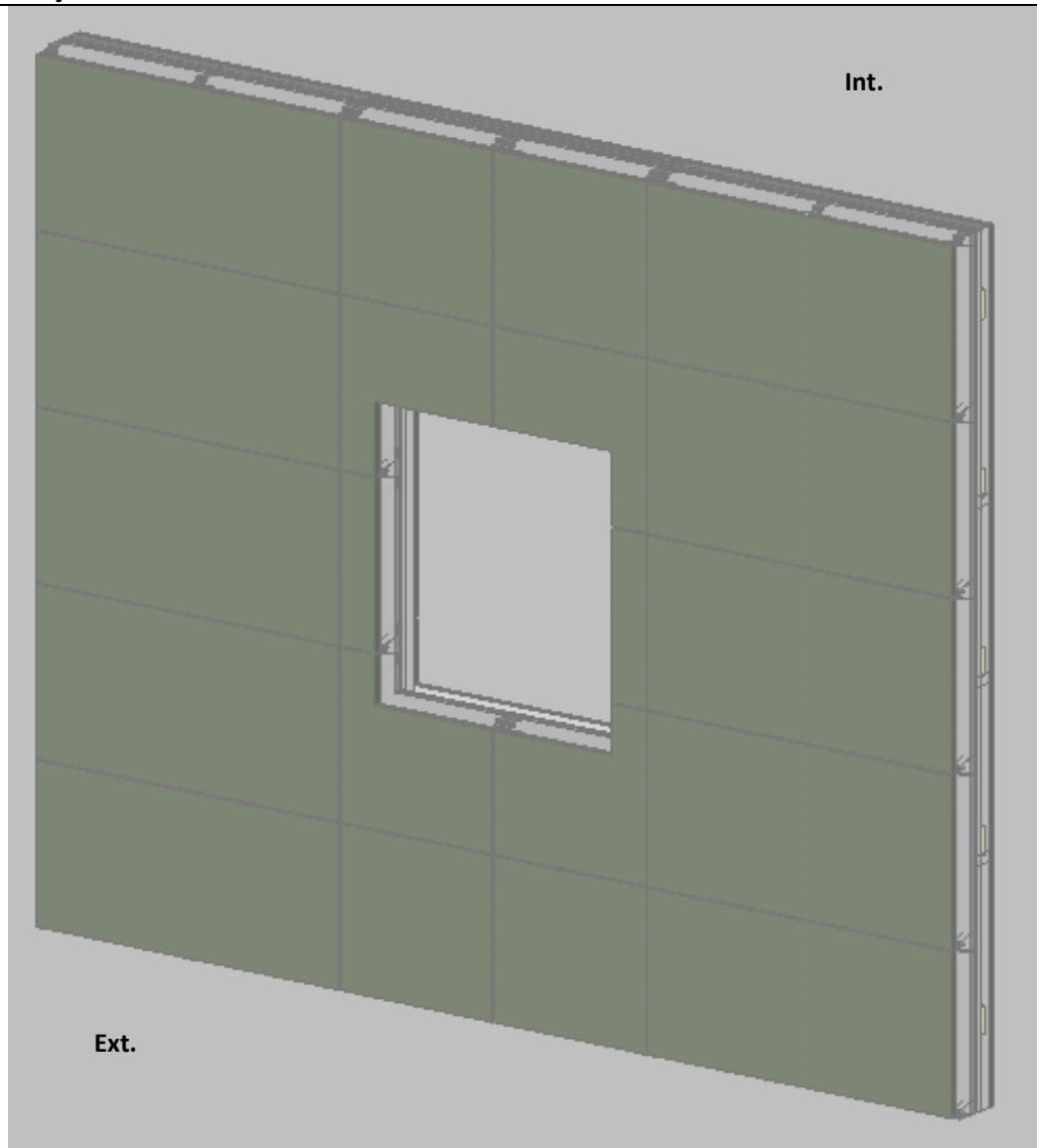
Pormenor:
Canto

Solução 2



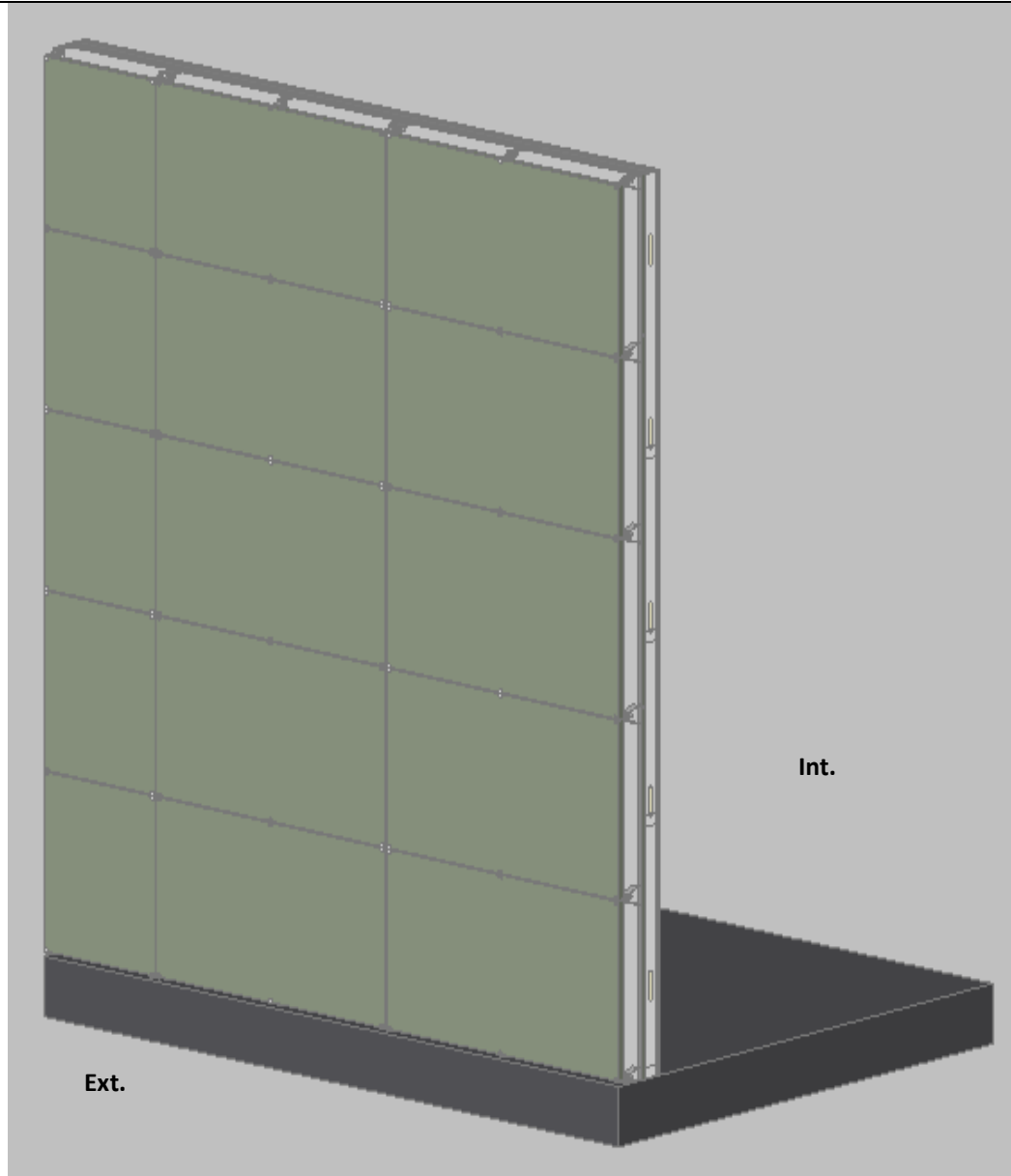
Pormenor:
Porta

Solução 2



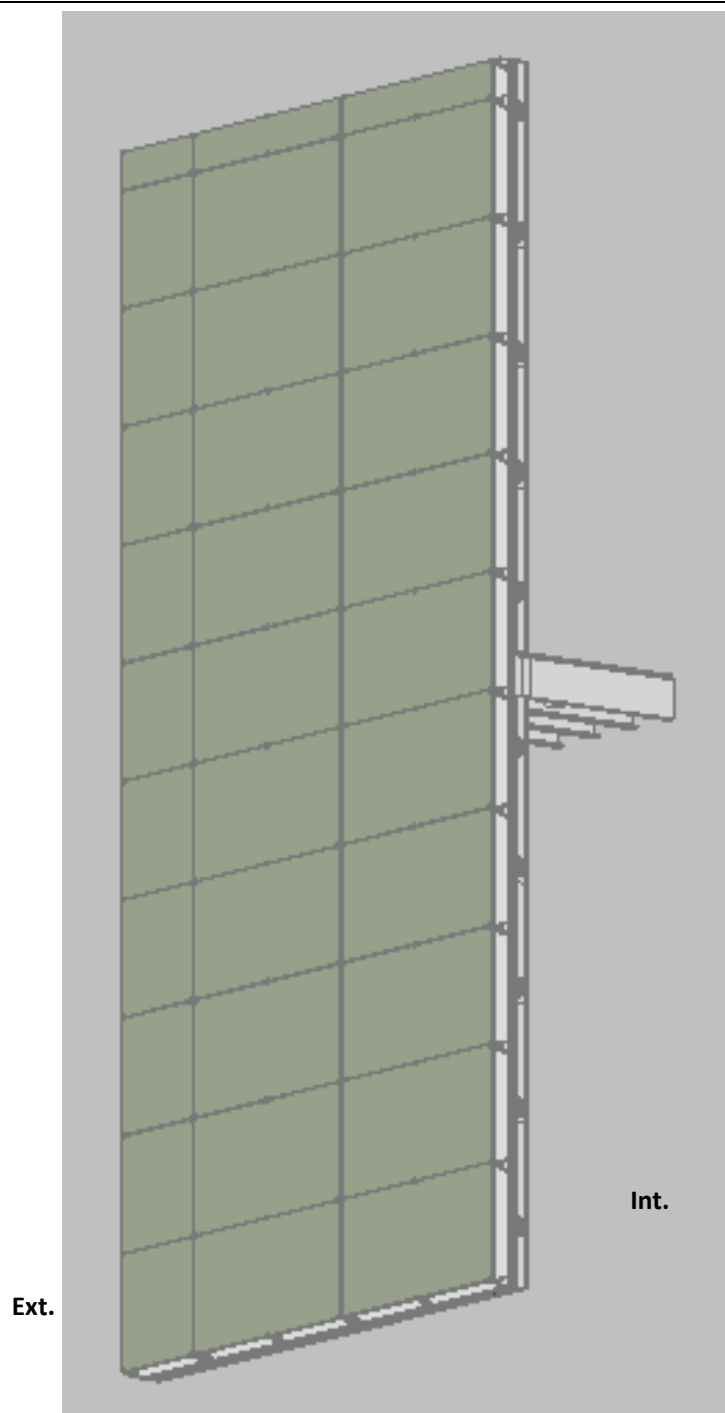
Pormenor:
Janela

Solução 3



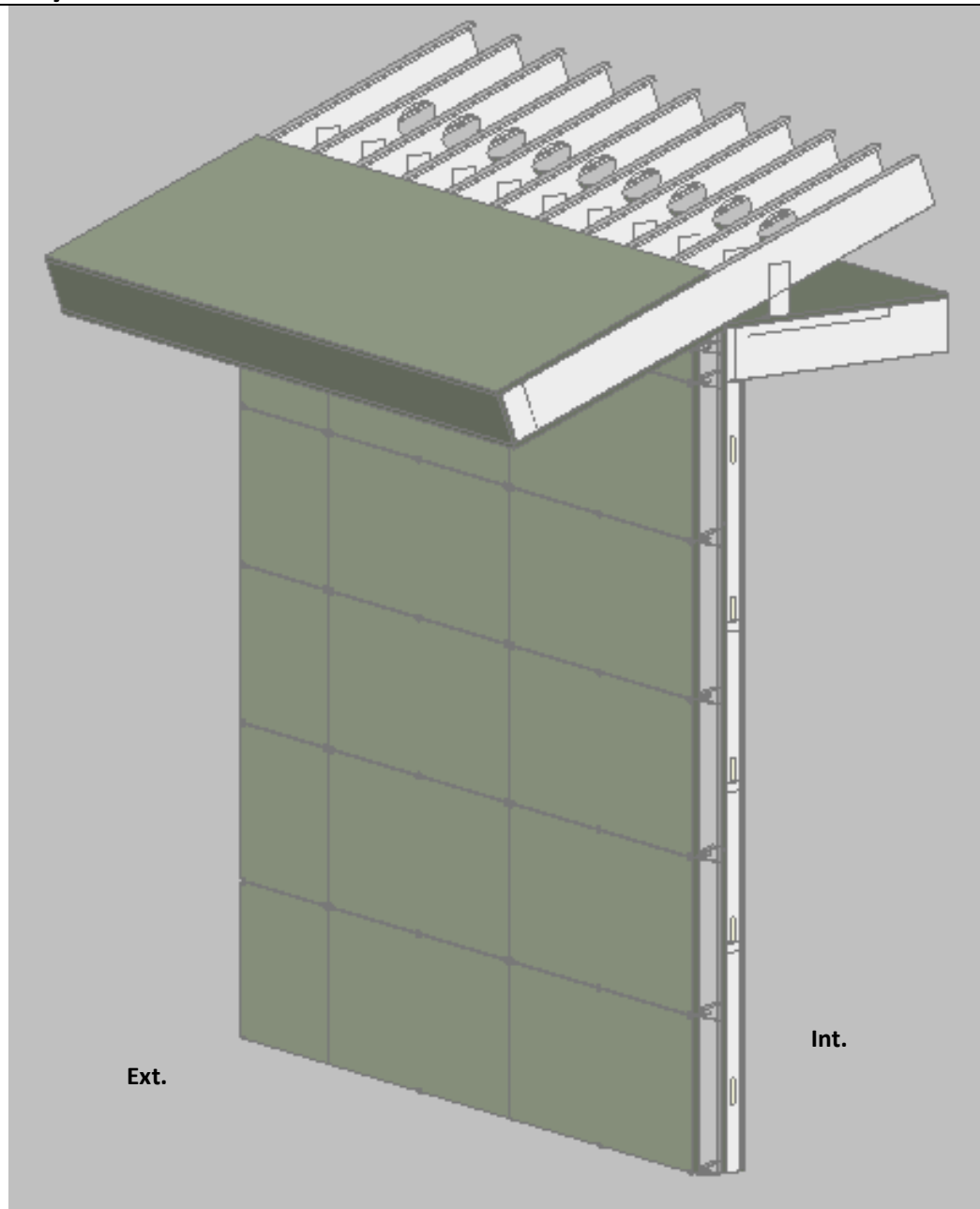
Pormenor:
Pavimento

Solução 3



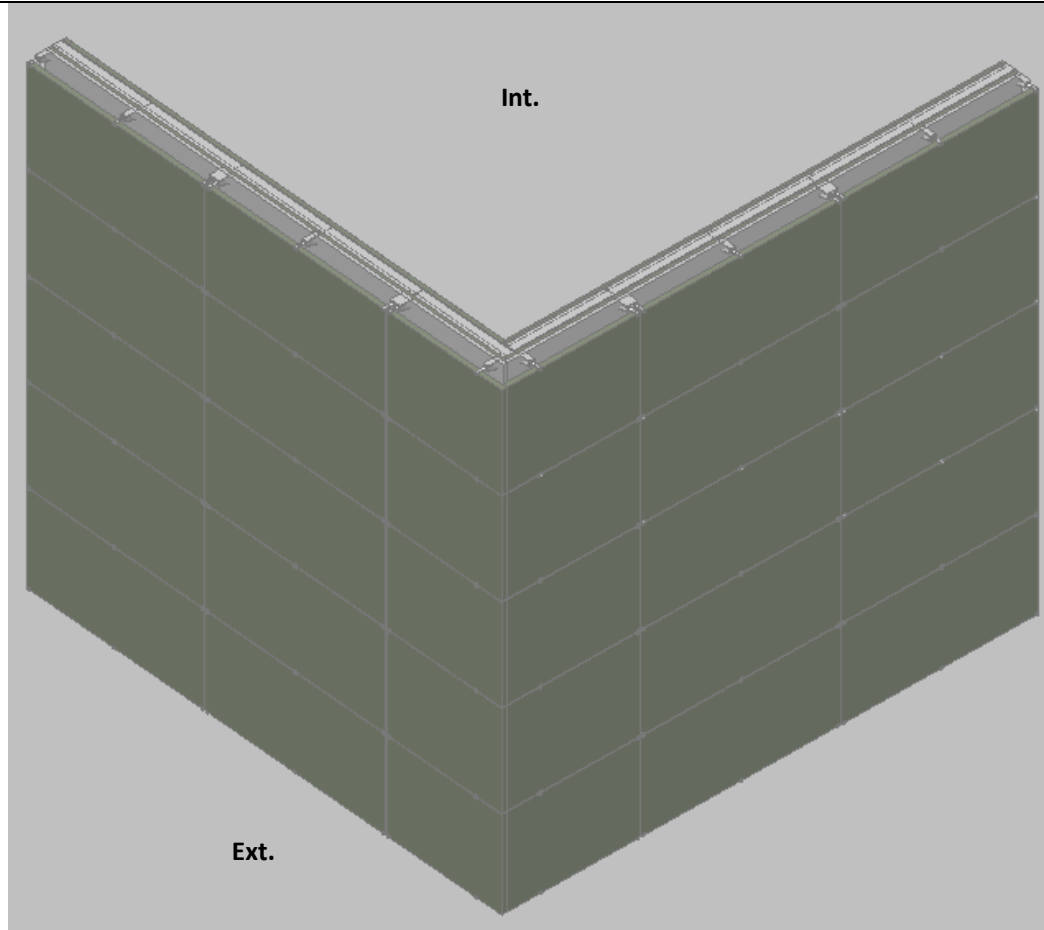
Pormenor:
Piso Intermédio

Solução 3



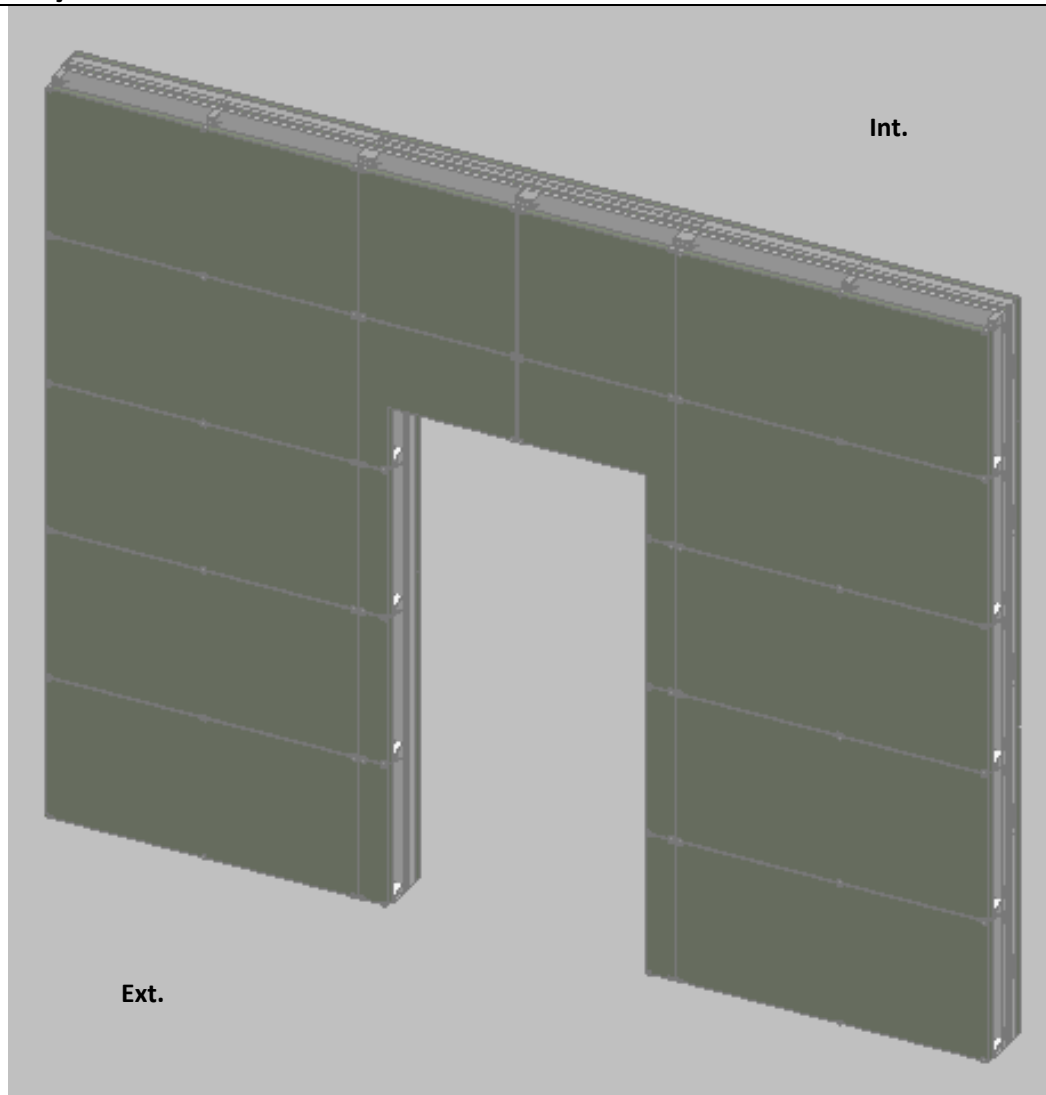
Pormenor:
Cobertura

Solução 3



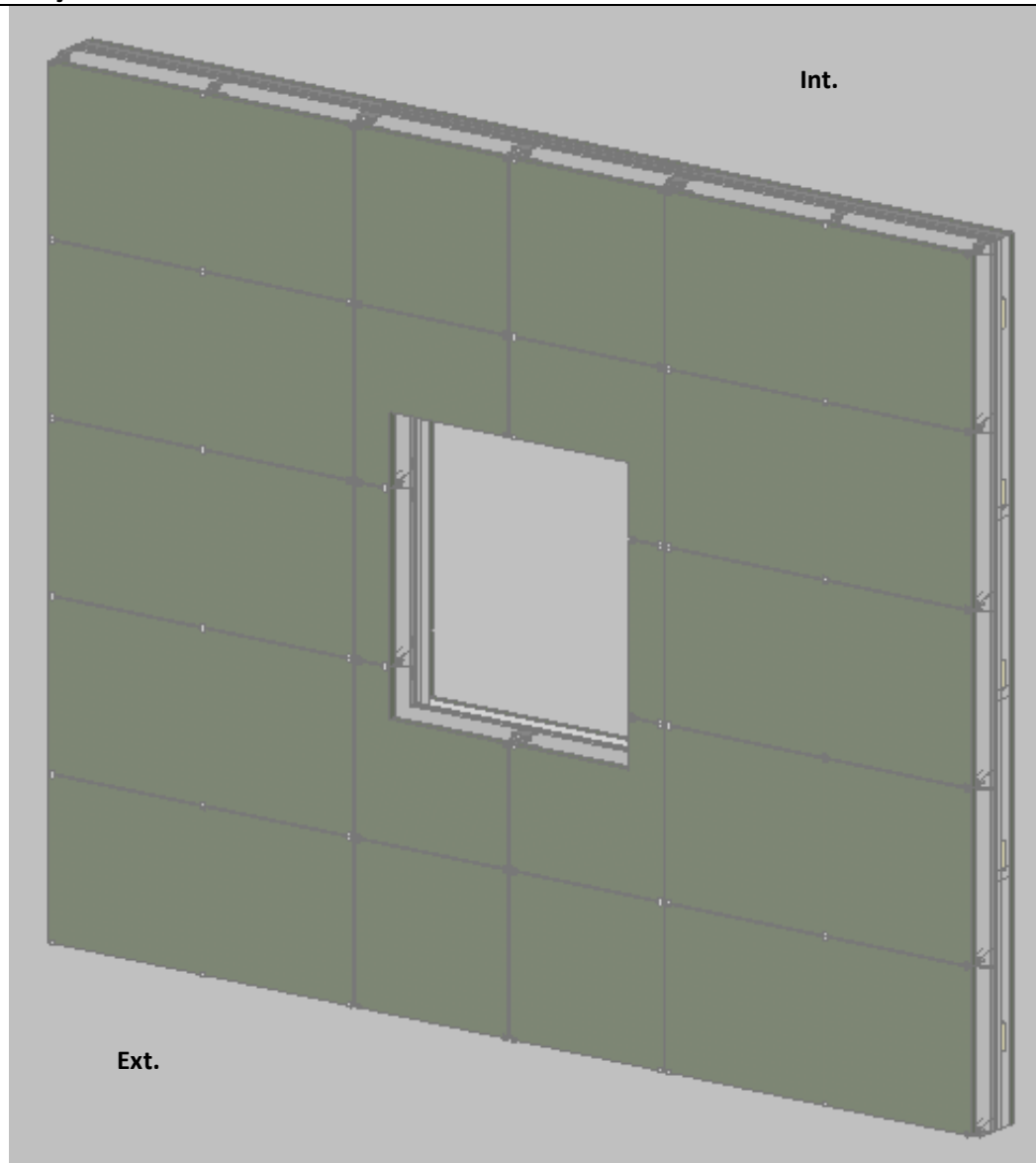
Pormenor:
Canto

Solução 3



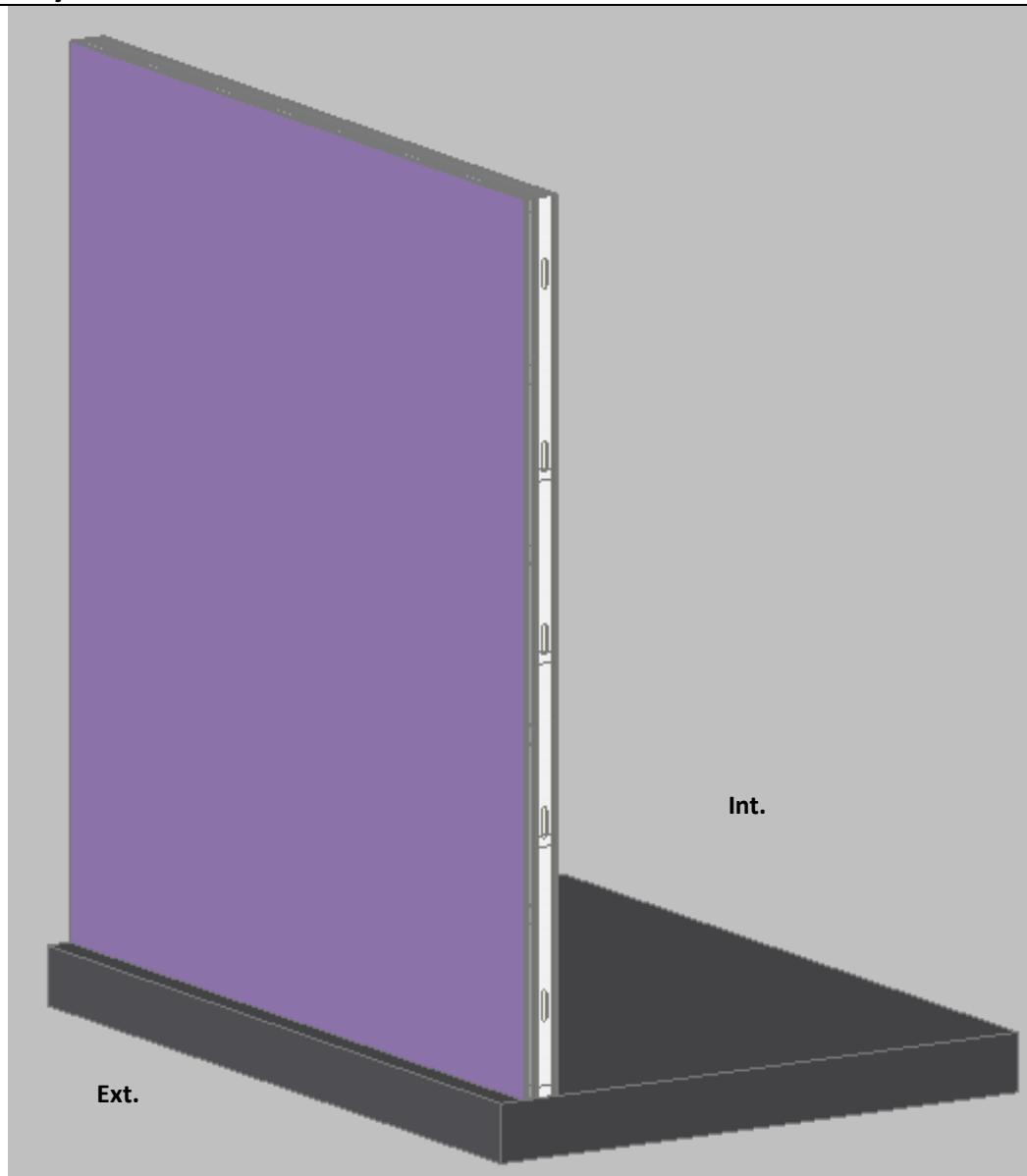
Pormenor:
Porta

Solução 3



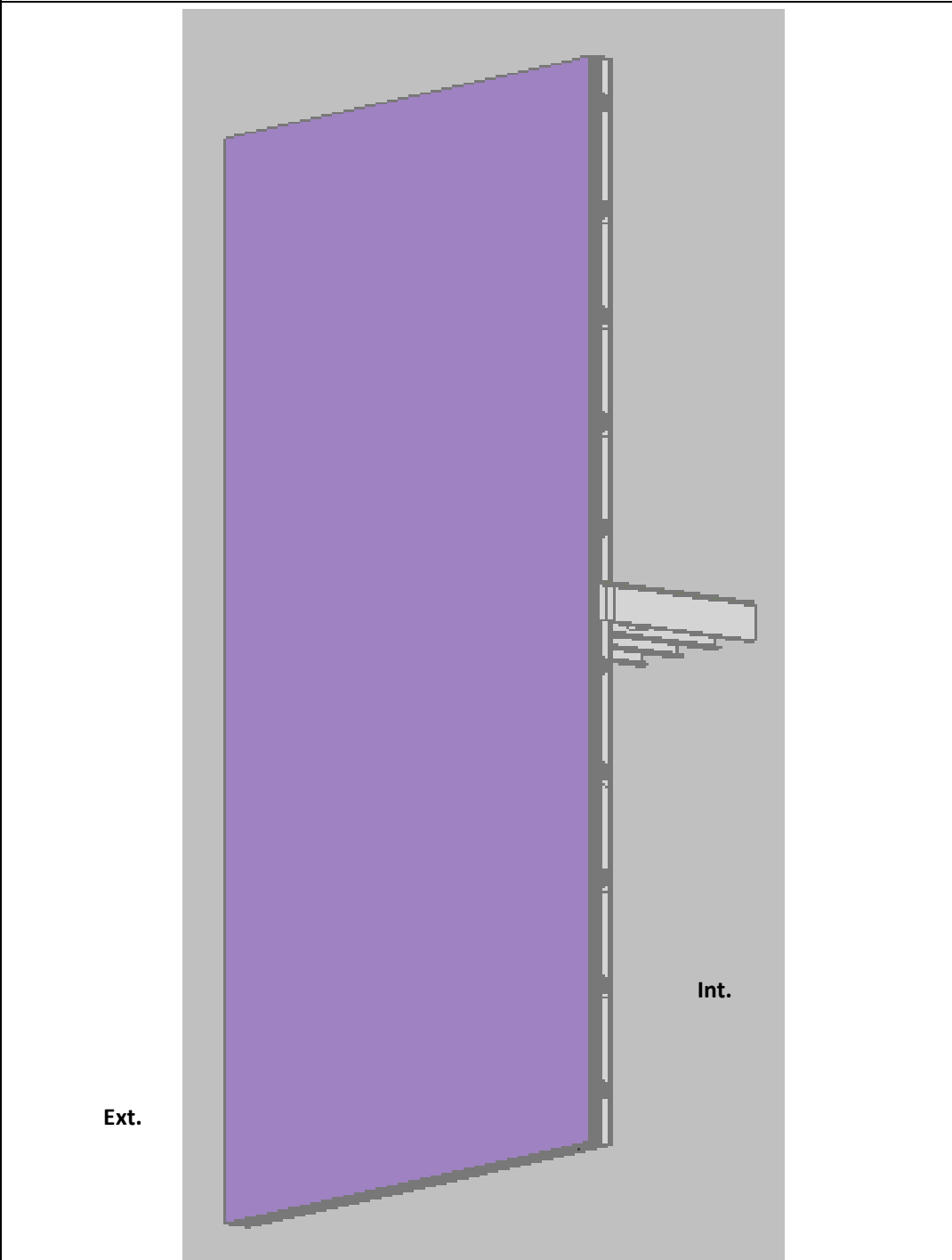
Pormenor:
Janela

Solução 4



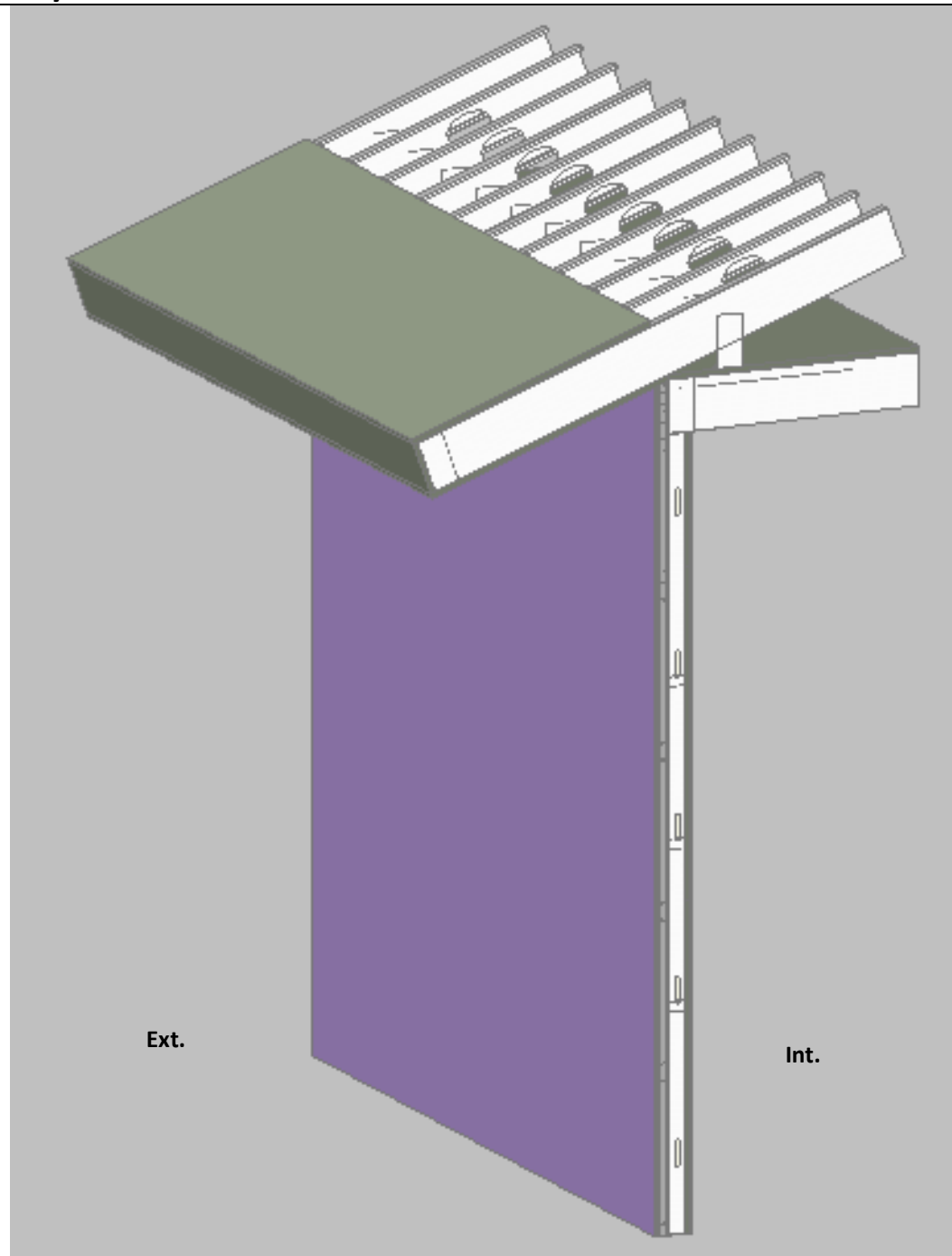
Pormenor:
Pavimento

Solução 4



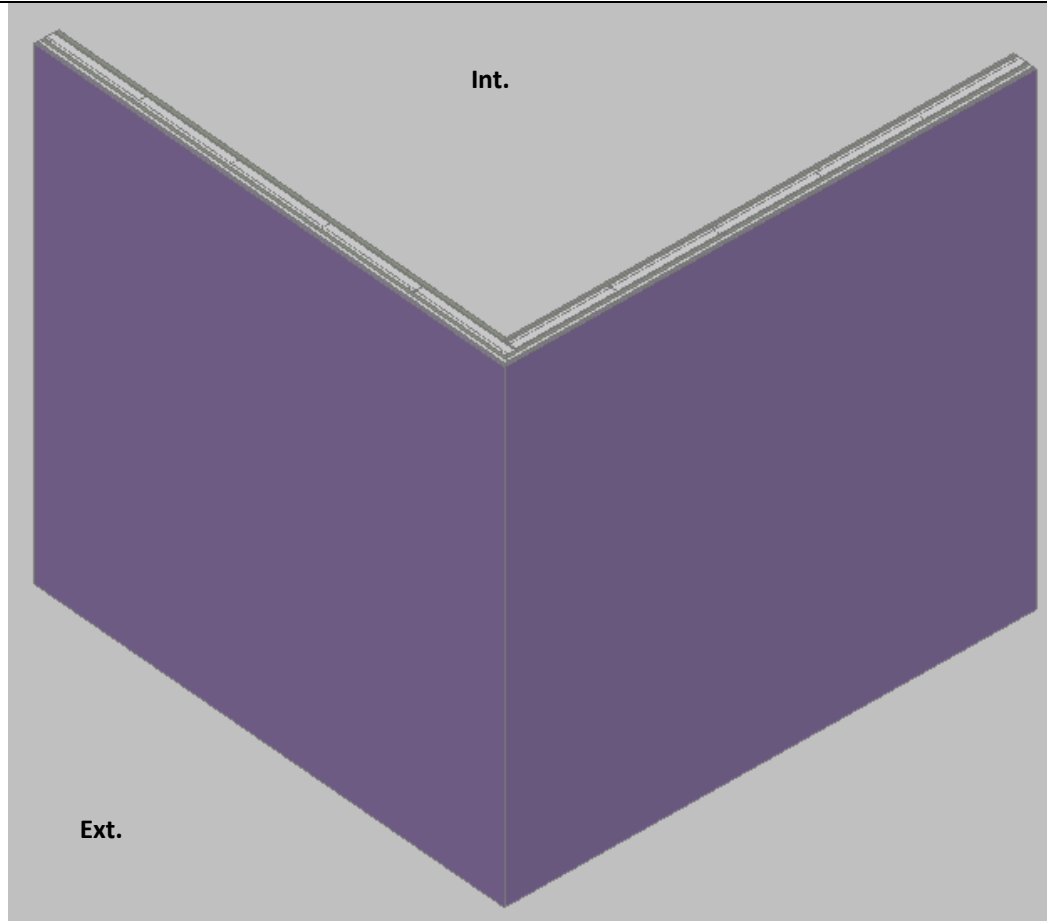
Pormenor:
Piso Intermédio

Solução 4



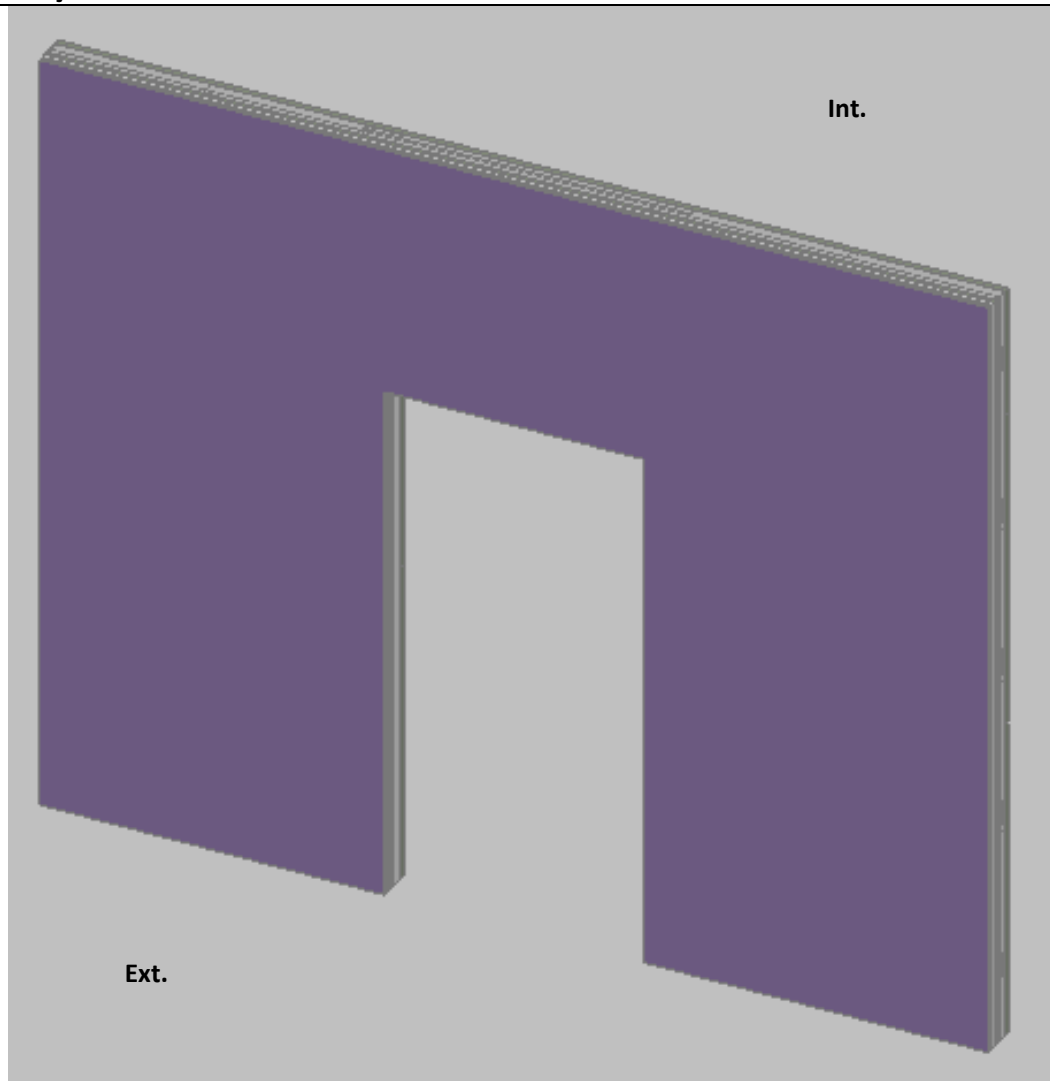
Pormenor:
Cobertura

Solução 4



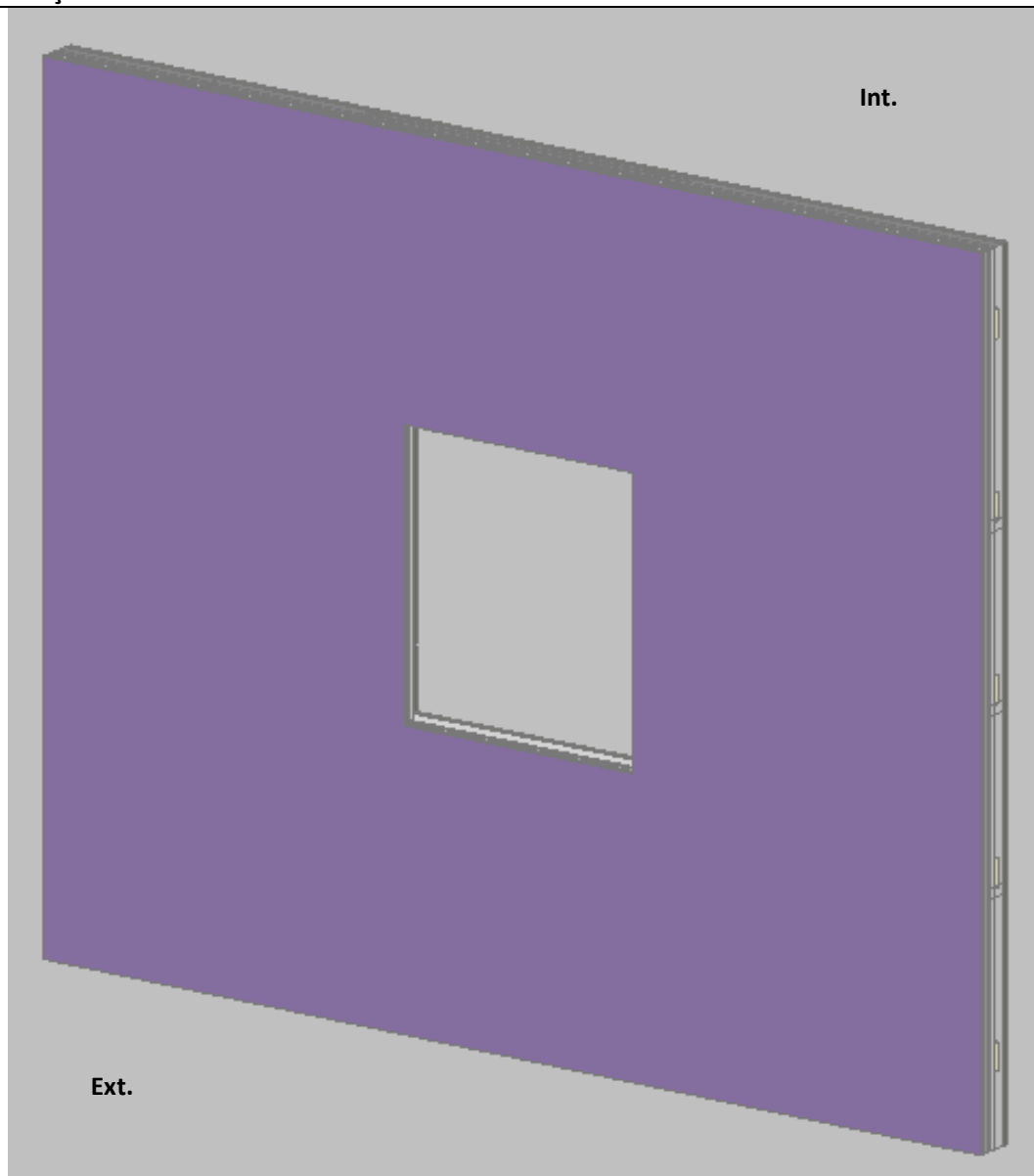
Pormenor:
Canto

Solução 4



Pormenor:
Porta

Solução 4



Pormenor:
Janela