

A UTILIZAÇÃO DE GRC NA RENOVAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Caso de estudo: Centro de I&D do IPCA

ANA CLÁUDIA COSTA PEREIRA

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

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

JANEIRO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

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 - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Avós

Todos os nossos sonhos podem-se tornar realidade, se tivermos a coragem de segui-los

Walt Disney

AGRADECIMENTOS

Nesta fase final de um ciclo na minha vida, gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram para o meu percurso até este momento e para a realização deste trabalho.

Gostaria de destacar o Sr. Professor Vítor Abrantes pela sua orientação, leitura crítica desta dissertação e disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas que surgiram ao longo deste processo.

À empresa Glasscrete, nomeadamente ao Eng. Rui Abrantes, que me acompanhou durante todo este trabalho, disponibilizando material de apoio essencial à sua realização, pela sua disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas e visitas à fábrica, por toda a colaboração prestada.

À Professora Ana Sofia Guimarães por toda a sua disponibilidade demonstrada no esclarecimento de dúvidas e discussão de questões fundamentais na realização deste estudo.

Ao Eng. Jorge Ferreira, diretor da obra integrante deste estudo, pelo fornecimento de material de apoio para a realização deste trabalho e pela sua disponibilidade para as visitas realizadas à obra em questão.

Ao Sr. Isildo, encarregado da obra, pelo acompanhamento nas visitas à obra, esclarecimento de dúvidas e fornecimento de algum material de apoio.

Ao Eng. Nuno Monteiro, da Mota Engil Pré-fabricados, pelo fornecimento de material de apoio.

Ao colega Eng. Armindo Sousa pelo apoio e esclarecimento de dúvidas na área de orçamentação.

À minha amiga Marta, de longa data, pelo voto de confiança para a conclusão deste ciclo de estudos e pela sua amizade.

À minha família, especialmente aos meus queridos pais e irmãos que sempre me apoiaram e incentivaram neste longo caminho, apesar de alguns obstáculos surgidos, à minha querida sobrinha Alice pela sua alegria, sorriso e inocência e, finalmente, ao meu namorado André por todo o apoio, incentivo e encorajamento para chegar até aqui, pela preciosa ajuda na realização deste trabalho e pela compreensão da minha ausência durante esta fase.

RESUMO

Nas últimas décadas, tem-se verificado um crescimento considerável no recurso a fachadas pré-fabricadas na área da Construção Civil. Neste paradigma, os painéis de GRC (*Glass fiber Reinforced Concrete*), assumem um papel preponderante, devido às diversas vantagens que oferecem aquando da sua implementação no projeto de construção. Realçam-se aspetos como o seu baixo peso e o enorme leque de formas e acabamentos possíveis, assim como altos níveis de desempenho. Consequentemente, existe uma grande gama de aplicações possíveis para este material, tornando-se imperativo atender às especificidades de cada cenário convenientemente.

Esta dissertação apresenta um estudo sobre o cenário da aplicação do GRC na renovação de edifícios, mais concretamente, na vertente da sua aplicação no revestimento de fachadas de edifícios. Como apoio ao trabalho desenvolvido, foi efetuado um caso de estudo real que consistiu no acompanhamento das principais etapas do revestimento das fachadas do edifício do Centro de I&D do IPCA (Instituto Politécnico do Cávado e do Ave), desde a fase de projeto até à execução em obra. Todo o processo de pré-fabricação dos painéis produzidos para esta obra foi igualmente acompanhado em fábrica.

Dentro dos vários tipos de painéis GRC disponibilizados no mercado - tipo casca, sanduíche e *stud frame* - o último foi abordado com especial ênfase neste trabalho. Isto porque este não só é o aplicado na obra em estudo, como também é o sobre a qual a maior parte da documentação técnica está dirigida, nomeadamente pelo manual de referência fornecido pelo instituto PCI (*Precast/Prestressed Concrete Institute*). Assim sendo foi efetuada uma análise em termos de projeto e produção dos painéis, caracterizando e interpretando as diversas etapas. Mais especificamente, é abordada a montagem dos mesmos em obra e respetivos pormenores, e ainda, uma análise do desempenho higrotérmico das fachadas do edifício revestidas com este tipo de painéis. Com base neste caso de estudo e nas considerações a levar em conta neste tipo de projetos, é posteriormente estudada e analisada uma solução de fachada alternativa que visa obter ganhos económicos face à solução anterior. Deste modo, procede-se à verificação das conformidades de ambas as soluções com as exigências preconizadas no Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Na parte final é ainda realizada uma análise económica comparativa.

Devido à existência de variadas soluções possíveis para a aplicação deste tipo de material em fachadas de edifícios, é ainda proposta na parte final desta tese, uma ferramenta que visa auxiliar a escolha de uma solução para um eventual cenário real. Esta baseou-se numa análise multicritério, onde os critérios a considerar são térmicos, fator económico, execução em obra, peso do painel e respectivas fixações.

PALAVRAS-CHAVE: GRC, painéis de fachada, análise multicritério.

ABSTRACT

In recent decades, there has been considerable growth in the use of prefabricated façades in construction work. Within this paradigm, Glass Fibber Reinforced Concrete (GRC) panels play a key role due to several advantages offered when implemented in building design. Aspects such as its low weight, huge range of possible shapes and finishes, as well as high levels of performance, are among the major benefits offered by this material. Therefore, there exists a wide range of possible applications, making it imperative to conveniently address the specifics of each scenario.

This thesis presents a thorough study on the application of GRC in buildings' renovation, more specifically, its application on the cladding of buildings façades. In order to support the developed work, a real-world case study was carried out. It consisted in monitoring the main steps in cladding of a new building - the R&D Center of the IPCA Institute (*Instituto Politécnico do Cávado e do Ave*) - from the design phase, up to its implementation at the construction site. Moreover, all the prefabrication processes performed to produce the panels for this work, were also closely followed in factory environment.

Among the various existing sorts of GRC panels available in the market – mainly “integral rib”, “sandwich” and “stud frame” – a special emphasis on the latter was given on this work. This is not only because it was the one applied in the case study, but also because most of the technical documentation is targeted to it, in particular, by the reference manual supplied by a renowned institute in this field - the Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). Therefore, an analysis in terms of panels design and production was performed, characterizing and interpreting the various steps. More specifically, their in-site assemblies, as well as its respective details are addressed, along with a thermal and hygrothermal performance analysis of the building façades which were clad with such panels. Based upon this case study, and taking into account the design specifications, an alternative solution seeking economic gains is subsequently examined and studied, and proper comparison between the former solution is drawn. For this purpose, special attention is paid into verifying the compliance of both solutions with the requirements outlined in the Portuguese RCCTE regulation (*Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*). In the final part, a comparative economic analysis of both solutions is also presented.

Since there are various possible options on how this kind of material can be applied on building façades, it is further proposed in the final part of this thesis, a tool that aims to assist in choosing one solution for a possible real world scenario. Such tool is based on a multi criteria method, where the factors to be considered are: thermal, economic, its execution work, weight of the panels and their respective attachments.

KEYWORDS: GRC, façade panels, multi-criteria analysis.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	2
2. BETÃO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO	3
2.1. DESCRIÇÃO GERAL	3
2.1.1. MATERIAIS.....	3
2.2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO	5
2.3. APLICAÇÕES E VANTAGENS	5
2.3.1. GRC NA ARQUITETURA	6
2.3.2. GRC NA CONSTRUÇÃO	6
2.3.3. GRC NA ENGENHARIA.....	7
2.4. TIPOS DE PAINÉIS	8
2.5. PROPRIEDADES FÍSICAS	10
2.5.1. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO GRC	10
2.5.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E FLEXÃO	11
2.5.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE	11
2.5.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	11
2.5.5. RESISTÊNCIA AO IMPACTO.....	12
2.5.6. RESISTÊNCIA AO CORTE	12
2.5.7. DEFORMAÇÕES PROVOCADAS POR VARIAÇÃO DE HUMIDADE	12
2.5.8. EXPANSÃO TÉRMICA	13
2.5.9. DEFORMAÇÃO NA ROTURA.....	13
2.5.10. RESISTÊNCIA AO FOGO.....	14
2.5.11. PROPRIEDADES ACÚSTICAS	14
2.5.12. DENSIDADE	14

2.5.13.	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA	14
2.5.14.	PERMEABILIDADE	14
2.6.	PRODUÇÃO E CURA.....	15
2.6.1.	DOSAGEM E MISTURA	16
2.6.2.	PROCESSOS DE PRODUÇÃO	16
2.6.3.	CURA	18
2.7.	ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E MONTAGEM DOS PAINÉIS EM OBRA	18
2.8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	19

3.	EXEMPLOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS DE GRC	21
3.1.	INTRODUÇÃO	21
3.2.	CONSTRUÇÕES REALIZADAS COM PAINÉIS DO TIPO CASCA	21
3.3.	APLICAÇÕES COM PAINÉIS STUD-FRAME	24
3.4.	APLICAÇÕES COM PAINÉIS SANDUICHE	27
3.5.	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES COM DIFERENTES TIPOS DE PAINÉIS	32
3.6.	OUTROS EXEMPLOS	35
3.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41

4.	O PROJETO DE PAINÉIS DE GRC.....	43
4.1	INTRODUÇÃO	43
4.2	PROJETO	43
4.2.1.	METODOLOGIA DO PROJETO	44
4.2.2.	GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS.....	45
4.2.3.	DIMENSIONAMENTO DO PAINEL	47
4.2.4.	DIMENSIONAMENTO DAS JUNTAS	55
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

5.	ESTUDO DO CASO	61
5.1.	DESCRIÇÃO GERAL DO PROBLEMA	61
5.2.	PAINÉIS DE GRC	64
5.2.1.	DOSAGEM E MISTURA	64
5.2.2.	PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	65
5.2.3.	MONTAGEM DOS PAINÉIS NA OBRA	71

5.3. ANÁLISE DA SOLUÇÃO DE FACHADA IMPLEMENTADA NO PROJETO DO EDIFÍCIO	78
5.3.1. GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS	78
5.3.2. SISTEMA DE REFORÇO DO PAINEL (STUD-FRAME) E FIXAÇÕES	79
5.3.3. JUNTAS DOS PAINÉIS.....	80
5.3.4. DESEMPENHO HIGROTÉRMICO	81
5.3.5. ACABAMENTOS E PORMENORIZAÇÃO FINAL.....	93
5.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO	93
5.4. ESTUDO DE UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA	93
5.4.1. GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS	93
5.4.2. FIXAÇÕES DO PAINEL À ESTRUTURA	94
5.4.3. JUNTAS DOS PAINÉIS.....	94
5.4.4. DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DA SOLUÇÃO ALTERNATIVA	95
5.4.5. ACABAMENTOS E PORMENORIZAÇÃO FINAL.....	104
5.4.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO	104
5.5. ANÁLISE ECONÓMICA DAS DUAS SOLUÇÕES	105
5.6. ANÁLISE MULTICRITÉRIO	106
5.6.1. DEFINIÇÃO	106
5.6.2. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS (EXEMPLIFICAÇÃO PARA O ESTUDO DO CASO)	107
5.6.3. PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS	107
5.6.4. CONDICIONANTES	107
5.6.5. ESCALAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA OS DIFERENTES CRITÉRIOS.....	108
5.6.6. ANÁLISE E DECISÃO FINAL	109
 6. CONCLUSÕES.....	 111
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6.2. PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO	112
 BIBLIOGRAFIA	 113
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Fibra de vidro AR.	5
Fig. 2.2 – Exemplos de aplicações em GRC, a nível da arquitetura [7].	6
Fig. 2.3 – Aplicações em telhados, aspetos decorativos, na reabilitação de edifícios, pavimentos, entre outros [7].	7
Fig. 2.4 – Exemplo de algumas aplicações, no âmbito da engenharia [7].	8
Fig. 2.5 – Painel tipo Casca [12].	8
Fig. 2.6 – Painel tipo <i>Stud-frame</i> [12].	9
Fig. 2.7 – Painel tipo Sanduiche [12].	9
Fig. 2.8 – Diagrama tensão-deformação representativo do comportamento do GRC, à flexão e tração [1].	11
Fig. 2.9 – Representação esquemática das forças de resistência ao corte e compressão [1].	12
Fig. 2.10 – Estabilidade dimensional- movimento do GRC induzido pela humidade [1].	13
Fig. 2.11 – Processo de projeção direta (<i>spray-up</i>) [7].	17
Fig. 2.12 – Processo de pré-mistura (<i>premix</i>) [7].	18
Fig. 3.1 – Tivoli Fórum, Lisboa [16].	21
Fig. 3.2 – Empreendimento de habitação da EPUL, Lisboa [17].	22
Fig. 3.3 – Vivenda, Praia d'El Rei, Óbidos [17].	22
Fig. 3.4 – Museu da Batalha, Batalha [17].	23
Fig. 3.5 – INL, Braga [18].	23
Fig. 3.6 – Vivenda, Águeda [17].	24
Fig. 3.7 – Reabilitação das fachadas dos edifícios da urbanização de Vila d'Este, Vila Nova de Gaia [17].	24
Fig. 3.8 – Edifício Vodafone- sede, Lisboa [16].	25
Fig. 3.9 – Estação Quinta das Mouras, Metro de Lisboa, Lisboa [16].	25
Fig. 3.10 – Peças decorativas “Donuts”, Lisboa [17].	25
Fig. 3.11 – Recuperação do Mosteiro de Santa Clara, Coimbra, 2008 [17].	26
Fig. 3.12 – Hotel Holiday Inn, V. N. Gaia [18].	26
Fig. 3.13 – Fachadas da moradia em Valongo, 2012 [17].	27
Fig. 3.14 – Centro Comercial Parque Nascente, 2003 [18].	27
Fig. 3.15 – Pavilhão industrial, Vendas Novas, 2005 [17].	28
Fig. 3.16 – Edifício de escritórios, Lisboa, 2005 [17].	28
Fig. 3.17 – Urgências Hospital de Santo André, Leiria, 2007 [17].	28

Fig. 3.18 – Edifício de habitação, Guimarães, 2007 [17].	29
Fig. 3.19 – <i>Stand</i> , Montemor-o-Velho, 2008 [17].	29
Fig. 3.20 – Creche, Estoril, 2007 [17].	30
Fig. 3.21 – Centro Comercial Mar Shopping, 2008 [18].	30
Fig. 3.22 – Zona comercial, Lisboa, 2007 [17].	31
Fig. 3.23 – Colégio S. Tomás, Lisboa, 2007 [17].	31
Fig. 3.24 – Espaço comercial (palas), Vila do Conde, 2008 [17].	31
Fig. 3.25 – Escola, Vila Viçosa, 2010 [17].	32
Fig. 3.26 – UPTEC (Polo Asprela), Porto, 2012 [17].	32
Fig. 3.27 – Edifício de habitação, Maia, 2007 (à direita, exemplo da produção de um dos painéis aplicados na obra) [17].	33
Fig. 3.28 – Hospital, Alfena, Valongo, 2008 [17].	33
Fig. 3.29 – Escola Secundária Rainha Santa Isabel, Estremoz, 2009 [17].	33
Fig. 3.30 – Centro paroquial, Caxias, 2010 [17].	34
Fig. 3.31 – Creche, Vila do Conde, 2010 [17].	34
Fig. 3.32 – Novo Hospital de Lamego, 2011/2012 [18].	34
Fig. 3.33 – San Francisco Marriott Hotel, Califórnia, EUA [19].	35
Fig. 3.34 – School of Health Studies Building, University of Bradford, West Yorkshire, Inglaterra [6].	36
Fig. 3.35 – Dalston Square Project, Londres, Inglaterra [6].	36
Fig. 3.36 – Dalston Square Project, Londres, Inglaterra - pormenor das fixações dos painéis [6].	37
Fig. 3.37 – Canada Water residencial, Londres, Inglaterra – à direita, pormenor do painel de fachada de uma varanda [6].	37
Fig. 3.38 – Aeroporto Charles de Gaulle, Terminal 4, Paris, França [17].	37
Fig. 3.39 – Estádio Nueva Condomina, Murcia, Espanha [17].	38
Fig. 3.40 – Painéis <i>stud-frame</i> aplicados na obra do Campus Universitário de Jussieu, Paris, França [17].	38
Fig. 3.41 – Edifício de habitação, Madrid, Espanha, 2007 [17].	39
Fig. 3.42 – Laboratórios, Toledo, Espanha, 2006 [17].	39
Fig. 3.43 – Edifício de habitação, Gijón, Espanha, 2007 [17].	39
Fig. 3.44 – Pannel a colocar no Silo, Alhandra, 2008 [17].	40
Fig. 3.45 – Empreendimento de habitação, Madrid, Espanha, 2007 [17].	40
Fig. 3.46 – Liceu, Paris, França, 2008 [17].	41
Fig. 3.47 – Edifício de escritórios, Rua de Rocio, São Paulo, Brasil [16].	41
Fig. 4.1 – Metodologia do projeto de painéis GRC [20].	45

Fig. 4.2 – Influência da geometria dos painéis sobre a natureza das tensões instaladas na camada de GRC [20].	46
Fig. 4.3 – Relação das juntas entre vãos e painéis de GRC [1].	46
Fig. 4.4 – Efeito da distância da ancoragem à borda do painel [1] [20].	48
Fig. 4.5 – Soluções para painéis de canto [1].	49
Fig. 4.6 – Detalhe típico de ancoragem flexível [1] [20].	50
Fig. 4.7 – Detalhe da almofada de ligação (<i>bonding pad</i>) [1].	50
Fig. 4.8 – Método de fixação para painéis de pequenas dimensões [1] [20].	51
Fig. 4.9 – Fixações no tardo e por cavilhas [1].	52
Fig. 4.10 – Disposições de ligações típicas [1].	52
Fig. 4.11 – Comportamento de painéis altos e esbeltos [1].	53
Fig. 4.12 – Fixação tipo de um painel <i>stud frame</i> [5].	53
Fig. 4.13 – Representação de uma junta aberta (a) e outra selada (b) [2].	55
Fig. 4.14 – Representação do movimento da junta em caso de expansão (a) e retração (b) dos painéis [2].	56
Fig. 4.15 – Detalhe típico de juntas entre painéis GRC [1].	56
Fig. 4.16 – Detalhe típico de juntas entre painéis GRC [1].	59
Fig. 5.1 – Edifício Centro de Investigação e Desenvolvimento do IPCA (fotomontagem).	61
Fig. 5.2 – Funcionamento da fachada ventilada [11].	62
Fig. 5.3 – Corte representativo da fachada ventilada do edifício.	62
Fig. 5.4 – Alçado Poente (fachadas F1, F2 e F3).	63
Fig. 5.5 – Alçado Sul (fachada F4).	64
Fig. 5.6 – Realização da pesagem da mistura (balança automática).	65
Fig. 5.7 – Misturadora.	65
Fig. 5.8 – Perfis UPE 100, integrantes da face dos painéis.	66
Fig. 5.9 – Montagem do molde do painel.	66
Fig. 5.10 – Limpeza da mesa, após montagem do molde.	66
Fig. 5.11 – Após aplicação do descofrante. De notar que a cor amarela deve-se apenas ao facto de se tratar de outra mesa.	67
Fig. 5.12 – Produção dos painéis por projeção direta (<i>spray-up</i>).	67
Fig. 5.13 – Alisamento com rolo e espátula.	68
Fig. 5.14 – Colocação do <i>stud-frame</i> e ligação à camada externa de GRC do painel.	68
Fig. 5.15 – Pormenor da ancoragem do <i>stud-frame</i> .	68
Fig. 5.16 – Sequência de imagens que retratam a descofragem dos painéis.	69

Fig. 5.17 – Aspeto da mesa após descofragem dos painéis (pormenor das tiras de silicone removidas).....	70
Fig. 5.18 – Acabamentos e pormenorização dos painéis.	70
Fig. 5.19 – Armazenamento dos painéis na fase de pré-fabricação.....	71
Fig. 5.20 – Cantoneira tipo 2 (fixações superiores).....	71
Fig. 5.21 – Cantoneiras tipo 2 (fixações superiores) aplicadas na fachada.....	72
Fig. 5.22 – Cantoneira tipo 1 (fixações inferiores), em perspetivas diferentes.	72
Fig. 5.23 – Cantoneiras tipo 1 (fixações inferiores) aplicadas na fachada.....	73
Fig. 5.24 – Cantoneiras tipo 1 (fixações inferiores) com a colocação de calços.	73
Fig. 5.25 – Corte da fachada F1.....	74
Fig. 5.26 – Pormenores 1 e 2.	74
Fig. 5.27 – Pormenor 3.	75
Fig. 5.28 – Ancoragem do painel à estrutura- detalhe da fixação superior.....	75
Fig. 5.29 – Ancoragem do painel à estrutura- detalhe da fixação inferior.....	76
Fig. 5.30 – Sequência de montagem de um painel.	76
Fig. 5.31 – Pormenor de alguns painéis em que se pode observar a saliência ou reentrância do <i>stud-frame</i>	77
Fig. 5.32 – Posicionamento dos vãos na fachada.....	79
Fig. 5.33 – Pormenor ligação vão-painel.....	79
Fig. 5.34 – Cantoneira tipo 3 (fixações inferiores na ligação vão-painel).	80
Fig. 5.35 – Exemplos de zonas sujeitas a pontes térmicas planas [25].....	82
Fig. 5.36 – Perfil da fachada- camadas intervenientes no cálculo do U.	85
Fig. 5.37 – Ligação da fachada com padieira ou peitoril- pontes térmicas lineares [25].	88
Fig. 5.38 – Troço representativo da planta da fachada do edifício orientada a poente.	88
Fig. 5.39 – Zona de ponte térmica plana de pilar intermédio.....	89
Fig. 5.40 – Diagrama psicrométrico para determinação da humidade relativa interior (<i>HR</i>).	91
Fig. 5.41 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas. Nota: As linhas verticais correspondem às interfaces entre camadas.....	92
Fig. 5.42 – Cantoneira de fixação dos painéis sanduíche para a solução alternativa.	94
Fig. 5.43 – Pormenor da junta dos painéis.....	95
Fig. 5.44 – Pormenor de corte transversal da parede de fachada, em zona corrente.....	95
Fig. 5.45 – Pormenor de corte longitudinal da parede de fachada, em zona de junta vertical da solução alternativa.....	96
Fig. 5.46 – Correção da junta vertical em EPS (disposição construtiva) [2].	98
Fig. 5.47 – Zona de ponte térmica plana de pilar intermédio.	101

Fig. 5.48 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas na zona corrente da parede da solução alternativa para o caso mais desfavorável de $\theta_e = -4$ °C..... 103

Fig. 5.49 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas na zona maciça da parede da solução alternativa para o caso de $\theta_e = -4$ °C..... 104

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores típicos médios de algumas propriedades do GRC [5]	15
Quadro 2.2 – Formulação típica de GRC [5].....	16
Quadro 5.1 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos [23]	86
Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica de referência [23]	86
Quadro 5.3 – Níveis de qualidade térmica da envolvente opaca	87
Quadro 5.4 – Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores em função do nível de qualidade	87
Quadro 5.5 – Características higrotérmicas das camadas (parâmetros introduzidos no programa de cálculo)	92
Quadro 5.6 – Características higrotérmicas das camadas (parâmetros introduzidos no programa de cálculo)	103
Quadro 5.7 – Orçamento solução A vs solução B	106
Quadro 5.8 – Ponderação dos critérios para a análise multicritério	107
Quadro 5.9 – Escala de classificação para o critério 1 (desempenho térmico).....	108
Quadro 5.10 – Escala de classificação para o critério 2 (fator económico).....	108
Quadro 5.11 – Escala de classificação para o critério 3 (modo de execução)	109
Quadro 5.12 – Escala de classificação para o critério 4 (peso dos painéis)	109
Quadro 5.13 – Escala de classificação para o critério 5 (fixações)	109
Quadro 5.14 – Aplicação da análise multicritério.....	110

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

J – largura mínima da junta [mm]

x – largura da junta [mm]

ϕ – diâmetro do limitador de junta [mm]

Δl – deslocamento térmico do painel [mm]

F – tolerâncias de construção do material [mm]

C – considerações sísmicas ou outras que se considerem apropriadas [mm]

α – coeficiente dilatação térmica [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

ΔT – variação térmica [$^{\circ}\text{C}$]

L – comprimento do painel [mm]

$\varepsilon_{\text{máx}}$ – deformação máxima do selante [%]

q – fluxo de calor [W/m^2]

U – coeficiente de transmissão térmica do elemento [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

R_{si} – resistência térmica superficial interior [$(\text{m}^2\text{C})/\text{W}$];

R_j – resistência térmica da camada j [$(\text{m}^2\text{C})/\text{W}$];

R_{se} – resistência térmica superficial exterior [$(\text{m}^2\text{C})/\text{W}$]

d_j – espessura da camada j [m]

U_{ref} – coeficiente de transmissão térmica de referência [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

$U_{\text{máx}}$ – coeficiente de transmissão térmica máximo admissível [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

Ψ – coeficiente de transmissão térmica linear [$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$]

λ_j – condutibilidade térmica do material da camada j [$\text{W}/(\text{m}\text{C})$]

π – permeabilidade ao vapor de água [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$]

P_e – permeância ao vapor de água [$\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$]

U_{ZC} – coeficiente de transmissão térmica da zona corrente [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

U_{ZPTP} – coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

R_{ZPTP} – resistência térmica da zona de ponte térmica [$(\text{m}^2\text{C})/\text{W}$]

ω – produção de vapor de água no interior de um local [g/h]

$R_{ph,v}$ – caudal de ventilação [m^3/h]

R_{ph} – taxa horária de renovação de ar [h^{-1}]

v – volume interior [m^3]

π_{ar} – permeabilidade ao vapor de água do ar [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$]

μ – fator de resistência à difusão de vapor de água [adimensional]

R_D – resistência à difusão de vapor de água [$\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$]
 θ_e – temperatura ambiente exterior [$^{\circ}\text{C}$]
 HR_e – humidade relativa do ar exterior [%]
 θ_i – temperatura do ar interior [$^{\circ}\text{C}$]
 HR_i – humidade relativa interior [%]
 θ_{si} – temperatura superficial interior [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_{po} – temperatura ponto de orvalho ($HR = 100\%$) [$^{\circ}\text{C}$]
 U_1 – coeficiente de transmissão térmica da zona corrente [$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$]
 U_2 – coeficiente de transmissão térmica da zona maciça [$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$]
 U_3 – coeficiente de transmissão térmica da zona da junta [$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$]
 π_{GRC} – permeabilidade ao vapor de água do GRC [$\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$]
 d – espessura do reforço [m]
 λ_{EPS} – condutibilidade térmica do reforço, em EPS [$\text{W} / \text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
 e_{GRC}^{ext} – espessura da camada exterior de GRC [m]
 λ_{GRC} – condutibilidade térmica do GRC [$\text{W} / \text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
 e_{iso} – espessura do isolamento interior do painel [m]
 λ_{iso} – condutibilidade térmica do isolante térmico [$\text{W} / \text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
 e_{GRC}^{int} – espessura da camada interior de GRC [m]
 e_{panel} – espessura total do painel de GRC [m]

GRC – Glassfibre Reinforced Concrete

GRCA – Glassfibre Reinforced Concrete Association

PCI – Precast Concrete Institute

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

BRE – Building Research Establishment

MOR – Resistência à flexão na rotura

LOP – Limite elástico de flexão

UTS – Resistência de tração na rotura

BOP – Limite elástico à tração

ASTM – American Society for Testing and Materials

ISO – International Organization for Standardization

LNEC – Laboratorio Nacional de Engenharia Civil

ITE – Informações científicas e Técnicas de Edifícios

EPS – Poliestireno expandido moldado

PEF – Espuma de polietileno expandido extrudido

XPS – Poliestireno expandido extrudido

STC – Sound transmission class

UTS – Resistência de tração na rotura

EPUL – Empresa Pública de Urbanização de Lisboa

INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory

UPTEC – Parque da Ciência e da Tecnologia da Universidade do Porto

AEFEUP – Associação de Estudantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IPCA – Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O presente trabalho dedica-se ao estudo da aplicação do GRC na renovação de edifícios, mais concretamente no revestimento das fachadas do edifício do Centro de I&D do IPCA recorrendo a painéis do tipo *stud frame*. O estudo recai no acompanhamento de todas as etapas intervenientes neste processo, desde o projeto dos painéis até à sua aplicação na obra em questão. É elaborada a análise da solução de fachada implementada, efetuando uma abordagem do desempenho higrotérmico da mesma. Posteriormente é elaborado o estudo de uma solução alternativa, análise cujos parâmetros são semelhantes aos da anterior. Como conclusão deste estudo e após análise económica de ambas as soluções de fachada, é proposta uma análise multicritério, exemplificada para o caso das duas soluções.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

O recurso a fachadas pré-fabricadas tem vindo a desenvolver-se nos últimos anos, devido às vantagens apresentadas por este tipo de sistemas, tais como a rapidez de execução em obra aliada à qualidade das peças produzidas. As fachadas em GRC são um bom exemplo deste desenvolvimento, tendo-se integrado rapidamente no mercado devido às características bastante particulares e à sua eficácia.

Existem dois principais institutos a nível mundial, o PCI (*Precast Concrete Institute*) e o GRCA (*Glassfiber Reinforced Concrete Association*) que se dedicam ao estudo dos painéis de GRC, sistematizando as diretrizes de projeto a adotar na execução de fachadas recorrendo a painéis de GRC do tipo *stud-frame*.

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no âmbito do crescimento de casos de aplicação de painéis de GRC no revestimento das fachadas de edifícios, como forma de aplicar a um caso real a sequência das principais instruções no projeto de execução de fachadas com painéis de GRC, propôs o projeto intitulado “A Utilização de GRC na Renovação de Edifícios. Caso de Estudo: Centro de I&D do IPCA”, fruto de cooperação com a empresa Glasscrete.

Os principais objetivos deste estudo podem-se definir do seguinte modo:

- Acompanhamento da sequência de diretrizes de projeto da execução das fachadas do edifício em questão revestidas com painéis de GRC do tipo *stud frame*, desde o projeto dos painéis, passando pela sua fabricação até à montagem em obra, tendo como bibliografia de base a disponibilizada pelos centros de estudo mencionados;
- Análise da solução de fachada implementada em termos higrotérmicos e verificações da conformidade das mesmas com o RCCTE;

- Estudo de uma solução alternativa, com painéis sanduíche, abordando também a parte higrotérmica, não esquecendo as verificações preconizadas pelo RCCTE;
- Análise económica de ambas as soluções e proposta de uma análise multicritério para a definição da melhor solução para uma nova situação.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação encontra-se estruturada nos restantes cinco capítulos.

No capítulo 2 apresenta-se o material betão reforçado com fibra de vidro (GRC), referindo as suas principais características, propriedades, vantagens de utilização, exemplos de aplicação até à descrição da produção deste material. Os tipos de painéis existentes no mercado são descritos ao longo deste capítulo.

Casos de aplicação de painéis de GRC no revestimento de fachadas de edifícios e outras aplicações em Portugal e noutros países são apresentados ao longo do capítulo 3.

No capítulo 4 é elaborada uma síntese sobre as principais diretrizes do projeto de painéis de GRC, do tipo *stud frame*.

O estudo de caso é abordado no capítulo 5, no qual é descrito o acompanhamento do revestimento das fachadas do edifício em questão com painéis de GRC *stud frame*, desde o projeto destes elementos até à aplicação na obra. É efetuada a análise da solução das fachadas revestidas com painéis de GRC e posteriormente elaborado o estudo de uma solução alternativa. Como conclusão deste capítulo, procede-se a uma análise multicritério, ferramenta de tomada de decisão da melhor solução, exemplificada para ambas as soluções estudadas.

Finalmente, no capítulo 6 são sintetizadas as conclusões desta dissertação e propostos alguns temas para desenvolvimento futuro.

2

BETÃO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

2.1. DESCRIÇÃO GERAL

O betão reforçado com fibra de vidro (GRC na Europa, GFRC nos EUA) é um material compósito, manufacturado, constituído por uma matriz cimentícia (cimento Portland e agregados de pequenas dimensões), reforçada com fibras de vidro resistentes ao meio alcalino (fibras AR- *alkali resistant*), dispostas aleatoriamente na matriz [1].

A fibra de vidro confere ao betão o melhoramento das propriedades mecânicas da argamassa, nomeadamente no que diz respeito à sua resistência à tracção e flexão, podendo contornar o problema da rutura frágil. Quando sujeito a esforços de tracção, a presença de fibras de vidro AR no betão permite retardar o aparecimento de fissuras e ampliar a resistência da matriz após a sua fissuração [2].

Ao contrário do que acontece no betão armado, no qual a colocação da armadura é posicionada de modo a abranger as regiões submetidas à tracção, este reforço com a fibra de vidro dá-se aleatoriamente ao longo de toda a matriz, o que proporciona o aumento e estabilização da tensão de fissuração da matriz, na tracção e flexão, e o aumento sensível da tenacidade do compósito, decorrente da ampliação da capacidade de suporte de carga da matriz após a fissuração [3].

O GRC pode ser obtido através de diferentes combinações de materiais, de modo a atingir as propriedades pretendidas. A composição da mistura, grau de compactação, tipo de cimento e a proporção, comprimento e orientação das fibras de vidro são alguns dos fatores que podem influenciar o tipo de produto final obtido[1].

Existem, mundialmente, dois principais centros de pesquisa que se debruçam no estudo deste material: o GRCA (Glassfibre Reinforced Concrete Association), em Inglaterra, e o PCI (Precast Prestressed Concrete Institute), nos EUA.

As primeiras fibras de vidro resistentes ao álcalis foram desenvolvidas pelo Building Research Establishment (BRE), em Inglaterra, e foi estudada a melhor forma de incorporá-las nas matrizes de cimento.

Por sua vez, nos EUA, a indústria de GRC introduziu uma série de inovações no projeto, dosagem e cura, sendo o manual do PCI (*Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels*) adoptado como publicação de referência para o projeto de painéis de GRC.

2.1.1. MATERIAIS

As tensões limite usadas em projeto são baseadas em dados de testes/ensaio fornecidos pelo fabricante.

Como já foi referido, o GRC é um material compósito, composto essencialmente por cimento, agregados, água, agentes de cura e outras misturas aditivas e fibras de vidro resistentes ao álcalis (AR).

O tipo de cimento recomendado para o fabrico de GRC é o cimento Portland, de acordo com **ASTM C150**. O produtor de painéis em GRC deverá poder escolher o tipo e espécie de cimento a usar de modo a atingir as propriedades específicas do projeto, assim como de forma a fornecer forças previsíveis e durabilidade, tal como a cor adequada [1].

O desempenho do cimento pode ser influenciado pelas condições atmosféricas que, por sua vez, tem influência nas técnicas de acabamento, nos requisitos de projeto para a mistura e no processo de pulverização. O cimento a usar na mistura para revestimento dos painéis, ou seja, para a face à vista do painel, deve ser controlado de forma a obter uma cor uniforme. Para um dado projeto, o cimento a utilizar deve ser de um só fabricante, tendo uma só cor, marca e tipo. A utilização de cimento Portland de cor branca originará a melhor uniformidade em termos de cor [4].

Os agregados, finos e grossos, usados na mistura, devem ser limpos, duros, resistentes, duráveis e inertes e livres de manchas e de qualquer material nocivo, prejudicial para a mistura, em conformidade com a **ASTM C33**. O seu tamanho não deve exceder cerca de 10 mm e deve ser não-reactivo com o cimento [1].

Relativamente à areia usada na mistura, trata-se de uma areia siltosa, muito fina, com cerca de 96 a 98% de sílica presente na sua composição. O uso deste tipo de areia na pasta de GRC contribui para a redução do encurtamento por secagem, diminuindo, assim, a possibilidade de fissuração e encurvadura devido ao encolhimento [1].

As areias devem ser lavadas e secas, livres de nódulos e partículas contaminantes, obedecendo aos requisitos apresentados na **ASTM C144**. As partículas devem passar todas num peneiro de malha de 850 µm (peneiro N° 20 da série de peneiros ASTM, de malha quadrada), os finos devem passar, no máximo 2%, num peneiro N° 100 (malha 150 µm) e as partículas devem ser arredondadas, pois serão mais facilmente bombeadas e provocam menor obstrução do que partículas de forma achatada [1].

A água para a mistura deverá ser potável, livre de qualquer matéria nociva, que poderá vir a alterar a cor ou a resistência recomendadas da pasta de GRC.

Certos agentes podem ser adicionados à mistura, tais como agentes redutores de água, aceleradores, retardadores de presa, adjuvantes, com o objetivo de conferir certas propriedades ao GRC. Estes compostos devem seguir os requisitos da **ASTM C494**. Podem ser, também, adicionados corantes/pigmentos, copolímeros, cinzas, pozolanas, etc [1].

Finalmente, em relação ao material de reforço do betão- a fibra de vidro resistente aos álcalis do cimento (fibra AR) - a mais adequada para o fabrico de GRC será a que possui altos níveis de zircónia (no mínimo 16 %) na sua composição. As fibras de vidro “E”, usadas na indústria dos plásticos (designação “E” devido à propriedade de isolamento eléctrico em ambientes com baixa alcalinidade) não resistem ao álcalis do meio, inviabilizando a sua utilização em matrizes fortes em hidróxido de cálcio (CaHO_2), como é o caso do cimento Portland [4]. As fibras de vidro resistentes ao álcalis, fibras AR, apresentam maior resistência ao ataque alcalino, provocado pelo hidróxido de cálcio (CaHO_2), resultante da hidratação do cimento, e melhor desempenho ao nível da resistência e durabilidade dos componentes, comparativamente com as fibras do tipo “E” [1] [5]. A figura 2.1 representa algumas das formas, deste material, disponíveis no mercado.

Na produção de GRC, o comprimento mais usual das fibras de vidro é cerca de 1 a 2 “, ou seja, 25 a 51 mm [1].

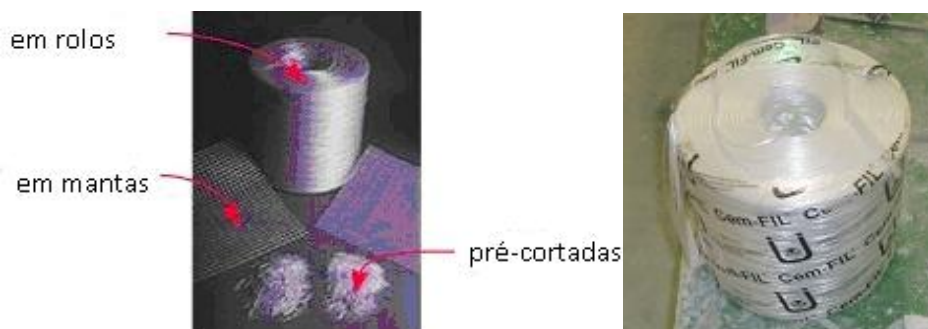


Fig. 2.1 – Fibra de vidro AR.

2.2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

Os primeiros estudos e primeiras aplicações das fibras de vidro como forma de reforço de um cimento foram realizados entre os anos 30 e 40, nos EUA, na indústria de polímeros.

Na década de 60, ocorreram grandes avanços ao nível do GRC, nomeadamente em 1964, aquando do primeiro estudo ao composto fibras de vidro mais cimento, realizado na Rússia, levou à conclusão de que as fibras de vidro “E”, usadas na indústria dos plásticos (designação “E” relacionada com as propriedades de isolamento eléctrico em ambientes com baixa alcalinidade), não resistiam ao álcalis do meio, inviabilizando a sua utilização em matrizes fortes em hidróxido de cálcio (CaHO_2), como é o caso do cimento Portland. Deste modo, houve a necessidade de desenvolver uma fibra de vidro especial [1] [2].

Ainda em meados dos anos 60, ocorreu um grande impulso na pesquisa sobre o GRC, devido à descoberta dos efeitos maléficos, para a saúde humana, da utilização do amianto, o que proporcionou, conjuntamente com a incompatibilidade descoberta entre cimento Portland e fibras de vidro tipo “E”, a descoberta de um novo substituto, impulsionando mais uma vez o interesse no material GRC.

Foi, então, desenvolvida uma nova fibra de vidro, nos finais da década de 60, em Inglaterra, em continuidade das pesquisas efectuadas pelo BRE (Building Research Establishment), a fibra de vidro AR (*alkali resistant*), obtida através da adição de óxido de zircónio ao processo de fabrico.

No início da década de 70, deu-se o arranque da comercialização deste tipo de fibra (fibra AR), cuja designação comercial é Cem- FIL AR, atribuída pela empresa Pilkington Brothers, o que despoletou o GRC como um novo material ao serviço da construção. O impacto deste material no sector da construção foi tão forte ao ponto de, em 1976, ter sido criada uma nova associação, em Inglaterra, designada por GRCA (Glassfibre Reinforced Concrete Association). Nos EUA, as fibras de vidro AR têm vindo a ser utilizadas desde o início dos anos 70 o que, por sua vez, proporcionou o impulso elevado do GRC (GFRC, nos EUA). O instituto americano dedicado ao estudo deste material compósito, o PCI (Precast Concrete Institute), centra-se no desenvolvimento das tecnologias de painéis de fachada [1] [2] [6].

2.3. APLICAÇÕES E VANTAGENS

O GRC é um dos materiais de construção mais versátil disponível para engenharia e arquitectura, que se encaixa em diversas aplicações, podendo ser utilizado como um substituto de outros materiais tradicionais, na construção civil.

2.3.1. GRC NA ARQUITETURA

Na arquitetura, é um material que se adequa aos mais ambiciosos e variados projetos que podem ser criados, desde os projetos mais modernos e futuristas até à reprodução das características mais tradicionais e históricas. O GRC fornece ao projetista a completa tecnologia que poucos outros materiais conseguem corresponder pela versatilidade. Pode ser pintado, colorido ou, simplesmente, apresentado sobre a sua cor natural, branco ou cinzento, com acabamento liso ou texturado. Os produtos deste material são leves, em termos de peso, de fácil manuseamento e fáceis de erguer. Ao nível da estrutura do edifício, as cargas são reduzidas, com a aplicação de GRC, sendo, deste modo, uma solução mais económica em termos de superestrutura e fundações. É um material ideal para aplicação na restauração e reabilitação de edifícios, para além de ser amigo do ambiente. Em termos de revestimentos arquitetónicos pré-fabricados, o GRC é dos materiais mais utilizados, pelo facto de ser facilmente moldável, de forma a criar diferentes formas, pormenores e texturas, proporcionando o desenho de elementos de revestimento leves e finos, pela sua elevada resistência, ser colorido através de pigmentos, tintas ou revestimentos de pedra natural. O revestimento com GRC pode substituir o betão não-estrutural pré-moldado, para o qual a questão do peso e formas são alguns dos problemas apresentados [7]. A figura 2.2 representa alguns dos exemplos de aplicação do GRC, nesta área.

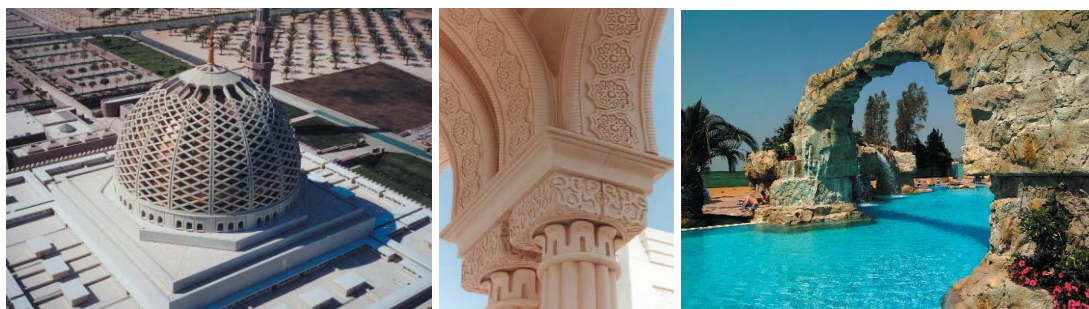


Fig. 2.2 – Exemplos de aplicações em GRC, a nível da arquitetura [7].

2.3.2. GRC NA CONSTRUÇÃO

No âmbito da construção, a necessidade de construir edifícios com menor peso associada à escassez de trabalhadores qualificados levou a grandes avanços no uso de elementos pré-fabricados em GRC. Construtores de todo o mundo valorizam o aumento da velocidade na construção que o GRC proporciona. O betão reforçado com fibra de vidro é fácil de moldar, como já foi referido, facilmente fixável, durável e resistente à fissuração. É aplicado em estruturas para coberturas de edifícios, pelo seu reduzido peso, mas também por ser fácil de fixar e não ser afectado pelas condições climáticas e ambientais. Consegue imitar os materiais tradicionais de aplicação em coberturas, tais como ardósia, argila/barro ou pedra natural, mas ao contrário destes, o GRC não é pesado nem frágil, é um material não-combustível e apresenta uma elevada resistência ao impacto [8].

Pode ser aplicado com fins decorativos, nos peitoris e envoltentes das janelas, cornijas, portas, que para além do efeito decorativo, responde às necessidades funcionais, ou até mesmo sobre o isolamento externo das paredes, de modo a melhorar as características térmicas do edifício, diretamente sobre a alvenaria, ou através de ripas metálicas, proporcionando o desempenho duradouro e livre de fissuras do elemento construtivo.

É um material ideal para aplicação na restauração e reabilitação de edifícios, devido à facilidade de aplicação de painéis que apresentam baixo peso e contribuem, deste modo, para minimizar o peso imposto à estrutura existente e contribuem para a manutenção das formas iniciais da arquitetura

tradicional [9]. Em muitos casos, esta oportunidade é tomada não só com a finalidade de melhorar a componente estética do edifício, mas também para melhorar as suas propriedades térmicas e acústicas [10]. Alguns destes exemplos são preconizados na figura 2.3.

O GRC pode ser aplicado na construção de fundações e pavimentos, nomeadamente no caso de pavimentos betonados *in situ*, sendo uma solução vantajosa em termos económicos aliada ao excelente aspeto final. Nas lajes de betão em pisos térreos, a cofragem de isolamento com bordas em GRC pode ajudar na minimização das perdas de calor nos edifícios, sobretudo em zonas de clima frio.

Na área da pré-fabricação ou construção modular, o GRC apresenta grandes vantagens, devido às suas qualidades, neste caso dos painéis de GRC, como o seu baixo peso, fácil transporte e resistência. Pequenas unidades, tais como módulos de instalações sanitárias e postos de equipamento de telecomunicações podem ser executados apenas numa peça e facilmente encaminhados para a sua localização. Devido à resistência do GRC, pequenos edifícios modulares podem ser projectados sem ser necessário recorrer a uma estrutura pesada. As paredes em GRC podem incorporar isolamento térmico, se assim for exigido, enquanto a ausência de reforço em aço pode ser uma vantagem em aplicações eléctricas e de telecomunicações [7].

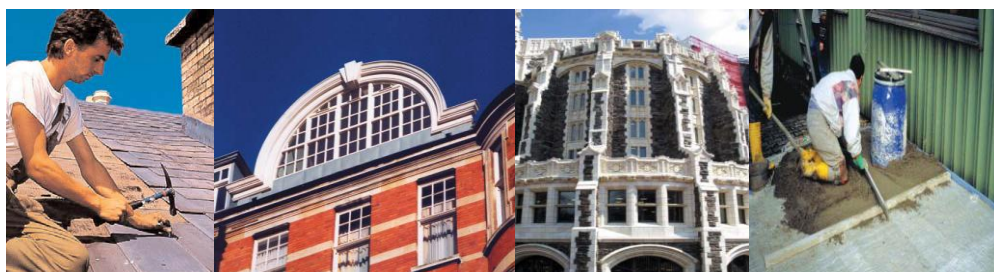


Fig. 2.3 – Aplicações em telhados, aspetos decorativos, na reabilitação de edifícios, pavimentos, entre outros [7].

2.3.3. GRC NA ENGENHARIA

As propriedades deste material podem ser concebidas para satisfazer diversas aplicações, desde produtos para cofragem permanente, que requerem alta resistência a curto prazo, até utilitários e produtos de drenagem, cuja durabilidade e baixo peso são as características chave.

A maior aplicação de GRC na cofragem permanente é no âmbito da construção de pontes, através da colocação dos painéis entre as vigas de betão pré-fabricadas antes das armaduras de aço e o betão serem aplicados. Estes painéis, para além de serem fáceis e rápidos de instalar, fornecem uma proteção contra a corrosão da armadura de aço. Também são aplicados em sistemas de drenagem de águas residuais (esgotos), na cofragem permanente da alvenaria de esgotos, na medida em que, ao conferir uma superfície mais lisa e regular às condutas de esgotos, contribui para um melhor desempenho hidráulico.

Na indústria ferroviária, são aplicadas condutas em GRC ao longo das bermas das linhas férreas como proteção de cabos eléctricos e de comunicação. Este material, para além de fornecer soluções funcionais em cada aplicação, proporciona aos engenheiros e projectistas a oportunidade de realçar o meio envolvente. Muitos produtores disponibilizam uma vasta série de acabamentos desde texturas naturais até imitação de pedra.

Na área da acústica, o GRC é a principal escolha, a nível mundial, na construção de barreiras e quadros acústicos, tanto a nível interno como externo. Devido às suas propriedades de alta densidade,

superfície lisa e habilidade de ser facilmente moldado, o GRC tem sido utilizado em benefício de salas de espectáculos e outro tipo de auditórios.

Na construção de estradas e caminhos-de-ferro, são construídas barreiras acústicas em GRC, com o objetivo de dispersar ou absorver o som, de modo a contribuir para um melhor ambiente, principalmente para os residentes mais próximos da área da construção em causa, como uma forma de minimização do ruído [7].

Este material de baixo peso e durabilidade elevada é frequentemente usado no mundo das pontes e túneis, assim como em sistemas de drenagem de águas. A figura 2.4 retrata alguns destes exemplos.



Fig. 2.4 – Exemplo de algumas aplicações, no âmbito da engenharia [7].

2.4. TIPOS DE PAINÉIS

Existem diversas aplicações de GRC, mas cerca de 80% da produção a nível mundial corresponde à produção de painéis de fachadas pré-fabricadas.

São três os principais tipos de painéis existentes no mercado: tipo casca (nos EUA denominado por nervurado), *stud frame* e sanduíche. São estes os principais tipos, na medida em que também existe um quarto tipo de painel, o painel simples, formado por uma lâmina de reduzida espessura (10 a 15 mm), utilizado, habitualmente, na produção de peças planas de pequenas dimensões. Esta solução pode necessitar da existência de saliências que aumentam a rigidez do painel.

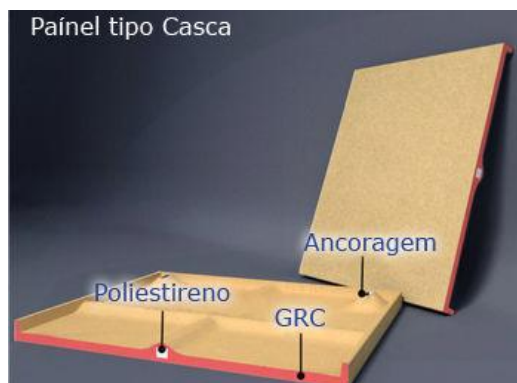


Fig. 2.5 – Painel tipo Casca [12].

O painel do tipo casca (ou nervurado), representado pela figura 2.5, é formado por uma reduzida camada de GRC (no mínimo, aproximadamente 12 a 13 mm) na qual são solidarizadas nervuras de reforço, no tardo do painel, de forma a garantir a estabilidade estrutural do elemento construtivo. A introdução destas nervuras proporciona o aumento da rigidez. Este tipo de painel apresenta reduzida espessura e grandes dimensões, o que pode levar a deformações exageradas. As nervuras, em poliestireno, são usadas para fixação dos painéis, mas podem originar limitações ao nível das formas. Outra limitação está relacionada com as dimensões máximas, pois este tipo de painéis é de pequenas

dimensões, cuja superfície máxima é, em formas planas, cerca de 7 m^2 ($7 \times 10^6 \text{ mm}^2$). As nervuras devem estar distanciadas no máximo de 1000 mm e as suas dimensões devem estar compreendidas entre 20 e 100 mm, dependendo das dimensões do painel. Este tipo de painel é normalmente aplicado em placagem e cornijas e é, correntemente, o tipo de painel mais utilizado nos EUA [1] [2] [11].

O painel stud frame é o método de reforço de painéis mais económico e preferencialmente usado nos EUA. Na Europa, a aplicação deste método é mais reduzida, pelo facto do custo do aço ser superior, mas simultaneamente circunstancial. Neste caso, em vez de nervuras, o painel é reforçado por uma estrutura metálica, no tardo. Portanto, existe uma camada de GRC, cuja espessura mínima é cerca de 10 mm, e uma estrutura metálica de reforço à estrutura. Os elementos metálicos, tanto os verticais como os horizontais, devem estar distanciados, no máximo, de 600 mm ao eixo. Este tipo de painel permite a realização de painéis de dimensões superiores à solução com nervuras, podendo atingir dimensões máximas, em superfície, de 22 m^2 . A estrutura metálica, para além da função de reforço, também facilita a fixação do painel. Este sistema proporciona uma cavidade, entre o painel e o elemento do edifício, para instalação de condutas eléctricas, mecânicas, de telecomunicações e de isolamento [1] [2] [11]. A figura 2.6 esquematiza este tipo de painéis.

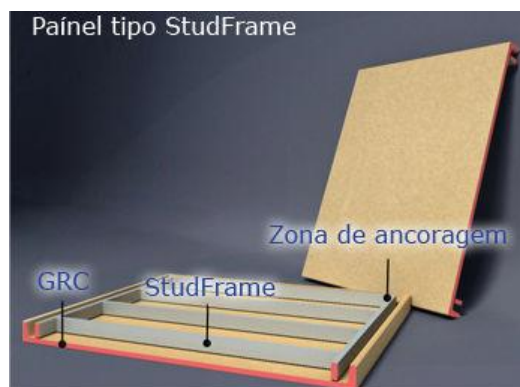


Fig. 2.6 – Painel tipo Stud-frame [12].

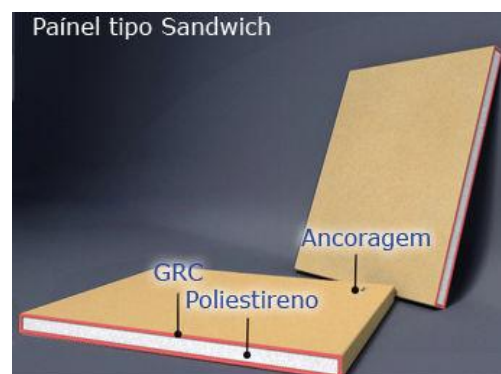


Fig. 2.7 – Painel tipo Sanduiche [12].

O painel sanduiche é uma variante do painel nervurado, em que as faces interiores das nervuras se generalizam a toda a superfície, permitindo a inclusão de placas de material isolante entre as faces de GRC. Deste modo, este tipo de painel consiste, essencialmente, em duas camadas de GRC, separadas por um núcleo leve de material isolante, conforme se pode observar na figura 2.7. A espessura de cada camada é cerca de 13 a 16 mm, sendo painel-tipo mais utilizado constituído por duas camadas de GRC

de 10 mm e no núcleo poliestireno expandido (EPS) de 100 mm. Estas peças são fabricadas em formas planas, podendo atingir 12 m² de superfície. Uma das dimensões máximas do painel deve ser limitada a 3,5 m devido ao transporte das peças, da fábrica até à obra [1] [2] [11] [13].

2.5. PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas do GRC dependem, essencialmente da composição da mistura, do conteúdo da fibra de vidro e do seu comprimento ou orientação no compósito, e de toda a qualidade da mão-de-obra incorporada durante o processo de fabrico. Deste modo, as propriedades físicas do GRC a serem usadas no projeto devem ser determinadas para cada produto, individualmente, e para cada mistura usada. As propriedades do GRC aos 28 dias são tipicamente usadas na determinação de adequados parâmetros de projeto e na monitorização do controlo de qualidade do fabrico. É de notar que, quando exposto a um ambiente exterior, ou seja, ao longo do seu envelhecimento natural, o GRC exibirá reduções graduais e permanentes na sua resistência e capacidade de deformação. Assim sendo, os produtos em GRC devem ser projectados de forma a assegurar que os esforços e tensões resultantes das condições em serviço são mantidos dentro dos limites de resistência e deformação do material completamente envelhecido [1].

2.5.1. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO GRC

Variações na composição da mistura podem resultar em alterações das propriedades físicas do composto. A relação cimento/areia variando de 1:1 até 3:1, tem vindo a ser usada na indústria. A granulometria da areia usada na mistura também não é estandardizada. O desempenho do cimento Portland, normalmente utilizado, pode variar entre fornecedores distintos. As diferentes emulsões de polímeros estão, normalmente, disponíveis para o uso como agentes de cura. Deste modo, as proporções da mistura do composto, os constituintes e as propriedades físicas podem variar de um produtor para outro.

O teor, comprimento e orientação das fibras afetam, principalmente, as resistências à tração inicial e à flexão última. O teor de fibra de vidro em 5% do seu peso é o valor óptimo para a mistura do GRC. Teores inferiores de fibra resultam em resistências últimas inferiores e teores superiores podem originar problemas na consolidação e compactação do composto. O teor do composto em fibra de vidro é controlado e monitorizado durante a produção do GRC através da realização dos testes do saco, balde e desgaste.

O comprimento da fibra também afeta a resistência última do composto, assim como a sua consolidação e compactação, sendo o valor óptimo para o comprimento cerca de 1 a 2", ou seja, 25 a 51 mm, como já foi referido anteriormente, no início do capítulo.

Tal como o teor e comprimento da fibra de vidro, a sua orientação também é importante ser considerada, pois afeta as propriedades do composto. As fibras de vidro no GRC devem estar orientadas aleatória e bidimensionalmente. No entanto, se tal não é tido em conta durante a produção, as fibras podem tornar-se acidentalmente alinhadas paralelamente, numa ou noutra direção, obtendo-se um composto com propriedades significativamente diferentes quando testadas ao longo dos diferentes eixos.

Os compostos de GRC devem ser também compactados e consolidados de forma a atingir a adequada penetração da fibra e densidade do composto, assim como a espessura definida no projeto. Caso contrário, podem ocorrer alterações nas propriedades do material, como resposta a questões de

temperatura e humidade. A permeabilidade da superfície do GRC pode ser negativamente afectada. A resistência à flexão e tracção e o módulo de elasticidade variam com a densidade. Uma consolidação deficiente pode levar à deterioração do composto, quando submetido a ciclos de gelo/degelo.

A cura adequada resulta numa hidratação apropriada do cimento e é necessária para atingir as propriedades desejadas dependentes da fibra e matriz do composto. Nos dias de hoje, a cura do GRC tem vindo a ser simplificada através do uso de emulsões de polímeros na matriz de cimento.

2.5.2. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO E FLEXÃO

As principais propriedades do GRC usadas para estabelecer esforços limite de projeto são o limite à tracção e a resistência à tracção na rotura, aos 28 dias.

A figura 2.8 representa o diagrama tensão-deformação do material GRC, aos 28 dias, submetido à tracção e flexão. O limite elástico à tracção (BOP- Bend Over Point) e o limite elástico à flexão (LOP- Limit of Proportionality) são influenciados, principalmente, pela composição da matriz, mas, também, pela densidade, teor em polímeros e procedimentos de cura. A resistência à tracção na rotura (UTS- Ultimate Tensile Strength) e a resistência à flexão na rotura (MOR- Modulus of Rupture) dependem fortemente das propriedades das fibras de vidro, nomeadamente do seu conteúdo, comprimento e orientação na matriz, assim como do conteúdo de polímeros e da densidade do composto.

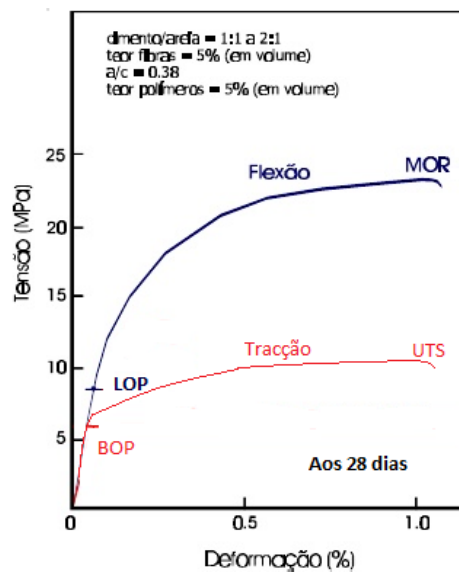


Fig. 2.8 – Diagrama tensão-deformação representativo do comportamento do GRC, à flexão e tracção [1].

2.5.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE

As curvas de tensão-deformação à flexão são usadas na determinação de valores do módulo de elasticidade, para fins de projeto. O módulo de elasticidade varia com a composição da matriz, densidade, conteúdo de polímeros e processos de cura.

2.5.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão deste material depende, essencialmente, das características da matriz. A resistência à compressão no plano é um pouco menor do que a no plano perpendicular, devido às

camadas das fibras de vidro afectarem a continuidade da matriz. A resistência à compressão no plano perpendicular não é influenciada pela presença das fibras de vidro e aproxima-se dos valores da resistência à compressão obtidos nos testes de amostras cúbicas e cilíndricas.

2.5.5. RESISTÊNCIA AO IMPACTO

A resistência ao impacto do GRC depende fortemente das propriedades das fibras de vidro. Esta propriedade aumenta com o aumento do comprimento da fibra. O GRC de cura aos 28 dias apresenta maior resistência ao impacto do que outras pastas de cimento não reforçadas ou outros cimentos. Normalmente, esta propriedade não é um parâmetro importante para projeto.

2.5.6. RESISTÊNCIA AO CORTE

Os painéis produzidos pelo processo de pulverização contêm fibras de vidro distribuídas aleatoriamente pelo plano da secção. Deste modo, os valores da resistência ao corte variam com o tipo de carga aplicada. Existem, assim, dois tipos de resistência ao corte: a interlaminar e a no plano.

A resistência ao corte interlaminar depende, essencialmente, das características da matriz e as forças correspondentes aparecem, normalmente, nas faces laterais dos painéis e nos blocos de ligação do plano de ação de cargas.

A resistência ao corte no plano depende das propriedades das fibras de vidro e as forças correspondentes podem ser geradas por ligações aparafusadas nas proximidades dos bordos do painel.

A figura 2.9 representa, esquematicamente, estas forças.

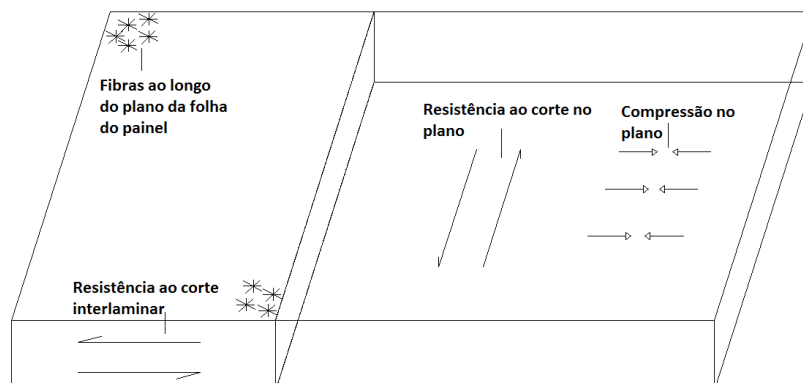


Fig. 2.9 – Representação esquemática das forças de resistência ao corte e compressão [1].

2.5.7. DEFORMAÇÕES PROVOCADAS POR VARIAÇÃO DE HUMIDADE

Assim como outros betões, o GRC está sujeito a retracção por secagem e a uma recuperação parcial em ambiente molhado/húmido. A deformação induzida pela humidade depende de diversos fatores, incluindo as proporções água/cimento e cimento/areia, o teor de polímeros, o processo de cura, densidade e a idade do composto. A Figura 2.10 ilustra o efeito da variação do teor de humidade no painel e a sua consequência em termos de dimensões.

A integração da areia reduz a quantidade de retrações. No entanto, a retração continua a ser mais elevada no GRC do que na maior parte de produtos em betão, devido à maior quantidade de cimento. A capacidade de deformação e a habilidade de inibir a propagação da fendilhação por retracção deve

ser antecipada de modo a reduzir gradualmente quando exposto ao ambiente exterior, isto é, ao longo do seu envelhecimento natural.

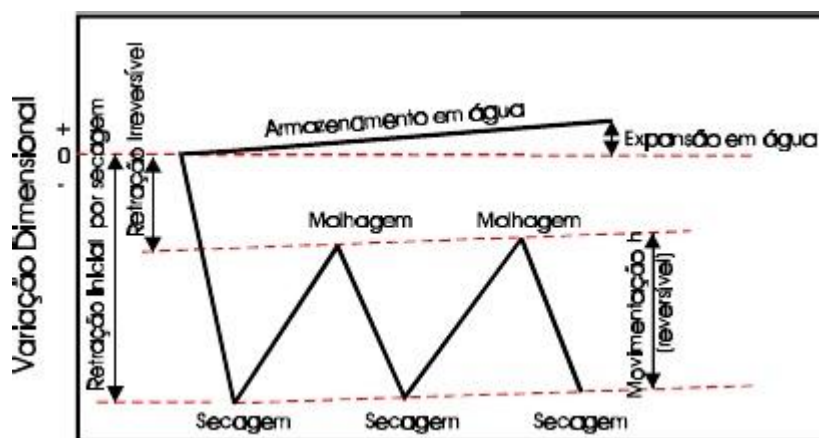


Fig. 2.10 – Estabilidade dimensional- movimento do GRC induzido pela humidade [1].

No caso de existir ligação de materiais de revestimento a elementos em GRC, devem ser desenvolvidos testes sobre estes materiais de modo a determinar a retração e outras deslocações provocadas pela humidade, de forma a que as características de movimento de ambos os materiais sejam semelhantes. Diferenças significativas entre eles podem originar tensões elevadas na pele do painel, resultando no impedimento do movimento de um material, provocado pelo outro. Assim, é necessário compreender que certos materiais de revestimento não devem ser ligados ao GRC, devido à incompatibilidade entre variações de volume.

2.5.8. EXPANSÃO TÉRMICA

Tal como acontece com a maior parte dos materiais, o GRC dilata, expande, com o aumento da temperatura. Esta expansão térmica pode ser contrariada através da retração provocada pela perda de humidade, durante o aquecimento do painel. A retração e expansão térmicas são condicionadas pelas características da matriz, principalmente pela densidade e a quantidade de areia ou relação areia/cimento. Esta propriedade deve ser considerada no projeto de elementos de GRC.

2.5.9. DEFORMAÇÃO NA ROTURA

O GRC é capaz de sustentar cargas durante períodos prolongados. O comportamento da deformação na rotura deste compósito é semelhante ao de outros materiais em que o cimento entra na sua composição. A deformação elástica inicial é seguida por uma lenta deformação até à rotura, sob carga contínua. A variação da fluência diminui com o tempo, numa escala logarítmica.

Diversos estudos realizados com compósitos, indicam que esta propriedade é controlada pelas características da matriz, devido à pequena proporção da fibra de vidro no compósito (tipicamente, 5% do seu peso).

2.5.10. RESISTÊNCIA AO FOGO

O GRC é um material ignífugo, não combustível, e obedece aos requisitos impostos pela **ASTM E136**. Quando usado como um material superficial, o seu índice de propagação de chamas é zero. Testes realizados de não-combustibilidade, inflamabilidade e propagação de chamas, foram conduzidos na Inglaterra de acordo com a Norma Inglesa em “Fire Tests on Building Materials and Structures”, BS 476, Partes 4, 5 e 6.

Quanto à sua classificação de resistência ao fogo, o GRC é um material de classe A1, segundo as especificações do sistema europeu, em vigor (que corresponde à antiga classe M0, classificação das especificações do LNEC).

2.5.11. PROPRIEDADES ACÚSTICAS

O isolamento acústico de um material homogéneo depende, principalmente, de três propriedades físicas: massa de superfície (peso por unidade de área), rigidez (dependente da forma do painel) e amortecimento.

Este material compósito segue o conjunto de leis para a redução de som. Para camadas exteriores de projeto semelhantes, mas pesos distintos, o índice de redução sonora (STC- sound transmission class, nos EUA) aumenta aproximadamente 5 dB por cada duplicação do peso. O GRC de alta densidade apresenta boas características de redução sonora.

2.5.12. DENSIDADE

A densidade seca do GRC de pulverização (o chamado *spray-up*) depende, principalmente, da quantidade de fibra, da relação água/cimento, do teor de polímeros e de areia, da compactação e das técnicas de pulverização. Tipicamente, a densidade varia entre 1920 e 2240 kg/m³. O conhecimento desta propriedade proporciona a informação acerca da qualidade geral da produção do material e é usada como uma medida dos procedimentos de controlo de qualidade.

2.5.13. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

A condutibilidade térmica do GRC é dependente da densidade do compósito e do teor de humidade. Esta propriedade varia entre os valores 0.5 e 1.0 W/m^o C.

2.5.14. PERMEABILIDADE

A matriz de GRC tem tendência a absorver e distribuir água por todo o composto uniforme e rapidamente, mas não parece dar passagem de água através da espessura da camada exterior.

A permeabilidade ao vapor de água (π) do GRC varia entre 7.3 a 16×10^{-12} kg/m.s.Pa para materiais de GRC produzidos com 0.25 e 0.35 de relação água-cimento, respetivamente. A maioria das formulações deste material apresenta uma permeância ao vapor de água (Pe) inferior a 1.7×10^{-10} kg/m².s.Pa.

A permeância ao ar e ao vapor de água do GRC diminuem em função do tempo e são armazenadas sob condições ambientais naturais.

No Quadro 2.1 é apresentada uma tabela resumo de intervalos de valores para algumas propriedades referidas anteriormente.

Quadro 2.1 – Valores típicos médios de algumas propriedades do GRC [5]

Propriedade	Unidade	Spray-up GRC	Premix GRC
Teor de fibra de vidro, por peso, na mistura	%	5%	3%
Densidade seca	ton/m ³	1,9-2,1	1,8-2,0
Resistência à compressão	MPa	50-80	40-60
Resistência ao impacto	kJ/m ²	10-25	10-15
Módulo de elasticidade	GPa	10-20	10-20
<i>Strain to failure</i>	%	0,6-1,2	0,1-0,2
Flexão:			
Resistência à flexão na rotura (MOR)	MPa	20-30	10-14
Limite elástico à flexão (LOP)	MPa	7-11	5-8
Tracção:			
Resistência à tracção na rotura (UTS)	MPa	8-11	4-7
Limite elástico à tracção (BOP)	MPa	5-7	4-6
Corte:			
Resistência ao corte interlaminar	MPa	3-5	N.A.
Resistência ao corte no plano	MPa	8-11	4-7

2.6. PRODUÇÃO E CURA

Os painéis de GRC, utilizados no revestimento de fachadas de edifícios, devem ser produzidos por produtores experientes, de modo a obter um produto fiável e de qualidade. Para tal, devem disponibilizar de um espaço físico adequado para tal (fábrica), o equipamento específico e processos de controlo de qualidade necessários ao fabrico de painéis de um determinado tamanho e desempenho, à taxa de produção requerida. Seguidamente, são apresentados os processos que decorrem ao longo de

toda a produção deste material pré-fabricado, desde a escolha das misturas a utilizar, passando pelos métodos de fabricação até à aplicação e montagem destes elementos em obra.

2.6.1. DOSAGEM E MISTURA

Como já foi referido anteriormente, o GRC é constituído, essencialmente, por uma pasta de cimento, agregados e água, podendo eventualmente conter adjuvantes e adições. As fibras de vidro são adicionadas a esta pasta e dispersas aleatoriamente, consistindo no material de reforço deste compósito, que contribui para o aumento da sua resistência mecânica, sendo, deste modo, possível a construção de painéis de grandes dimensões e espessura reduzida.

As empresas fabricantes de painéis de fachada em GRC desenvolvem a composição deste compósito, normalmente, com base numa mistura tipo, que vai sendo adaptada à medida que o processo de fabrico se vai sistematizando.

O processo de pulverização exige uma mistura suficientemente fluida, de modo a assegurar o bombeamento contínuo, ou seja, de modo a não entupir o orifício de passagem, e esta pulverização deve ser executada sem bloqueios e adequada compactação. O baixo teor em água na mistura promove uma força de cura elevada e simplifica a pulverização perto de superfícies de moldes verticais. Na preparação do projeto da mistura é necessário ter em conta certos fatores tais como o conteúdo e comprimento da fibra de vidro, propriedades físicas desejadas, relação água/cimento/areia, o conteúdo em copolímeros acrílicos, quando aplicado, e misturas adicionadas.

Segue-se o exemplo de uma formulação tipicamente usada, apresentada no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Formulação típica de GRC [5]

Constituintes (/m ³)	Projeção (5% fibras)	Pré-mistura e moldagem (3% fibras)
Cimento	723,56 kg	
Areia	723,56 kg	
Plastificantes	10,20 kg	
Polímeros	200,84 kg	
Fibras AR	100,64 kg	60,30 kg
Água	241,19 kg	281,53 kg
A/C	0,33	0,39

2.6.2. PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Existem alguns métodos de produção de GRC, mas os dois principais são o de projeção direta (*spray-up*) e o de pré-mistura (*premix*). O equipamento utilizado consiste, essencialmente, numa misturadora e uma pistola de projeção.

A projeção direta (*spray-up*), ver figura 2.11, é o método mais usado na indústria de painéis GRC, pois trata-se de um processo eficaz e fácil de executar, permitindo obter elementos com o dobro da

resistência mecânica do que aqueles produzidos pela pré-mistura, para além de que, através deste método, a superfície das fibras não é danificada, sendo possível a distribuição de um maior volume de fibras mais longas e a adopção de relações água/cimento mais reduzidas [14].

Essencialmente, é feita a projecção do compósito diretamente contra o molde, através de equipamento dotado de duas unidades de projecção, uma para injeção da argamassa e outra para o corte e projecção das fibras de vidro. É de referir que inicialmente é efetuada a cofragem e deve-se ter o cuidado, antes da aplicação do GRC, de humedecer a superfície de contacto entre este e a cofragem. Ao contrário do processo de pré-mistura, a fibra de vidro e a pasta de cimento são mantidas separadas e só entram em contacto na superfície do molde, no momento da projecção. O teor de fibras deve ser aproximadamente 5%, superior ao valor obtido na pré-mistura [15].

A metodologia deste processo manual consiste numa sequência de ações: primeiramente, o operador move a pistola em faixas rectas ao longo do molde a preencher, direccionando o fluxo perpendicularmente; o primeiro material a ser projectado no molde é uma camada de revestimento (*mist coat*), ainda sem fibra de vidro, de 1 a 2 mm de espessura; projectam-se várias camadas de GRC, agora já com fibra de vidro, com uma espessura de aproximadamente 3 mm, e devidamente compactadas, com rolos metálicos, de modo a evitar vazios no compósito (a compactação e controlo de espessuras são feitas manualmente, recorrendo a um rolo e um escantilhão); a camada inferior de GRC não deve endurecer antes da aplicação da próxima, de forma a evitar a delaminação do componente; cada camada deve ser projectada na direção perpendicular à anterior, para obter uma distribuição mais uniforme da pasta ao longo do molde; seguidamente, é feita a descofragem dos painéis e estes são submetidos a um processo de cura [15].

Com este método obtém-se elevada uniformidade e orientação das fibras no plano dos moldes, distribuição bidimensional e painéis de maior complexidade e resistência.



Fig. 2.11 – Processo de projecção direta (*spray-up*) [7].

O processo de pré-mistura (*premix*), demonstrado na figura 2.12, consiste numa mistura inicial dos materiais que constituem a pasta da argamassa, à qual é adicionada, posteriormente, na misturadora, a fibra de vidro AR, pré-cortada. Este processo obedece a algumas regras, tais como a quantidade de água deve ser a mais baixa possível, o conteúdo de fibra de vidro AR deve rondar 1.5 a 3% do peso total da matriz e a relação água/cimento ser inferior a 0.35, de forma a evitar problemas de retração.

Com este método é difícil obter uma dispersão uniforme das fibras ao longo da matriz. A distribuição das fibras é feita de forma tridimensional, o que origina perdas ao nível do reforço efetivo das peças, ou seja, muitas não se distribuem espacialmente no plano de actuação das forças. Acontece, também, a

limitação ao nível da capacidade de incorporação de fibras na pré-mistura. Trata-se, assim, de um processo usado quando as exigências de desempenho são menores, contudo é aplicado no caso de peças de difícil desmontagem.



Fig. 2.12 – Processo de pré-mistura (*premix*) [7].

2.6.3. CURA

A cura dos painéis de GRC, como já anteriormente mencionado, resulta numa hidratação apropriada do cimento e é necessária para atingir as propriedades desejadas dependentes da fibra e matriz do composto.

O processo de cura exige cuidados para que não ocorram perdas ao nível da resistência mecânica final da peça. Os componentes de GRC são geralmente de baixa espessura e contêm quantidades baixas de água. É necessário garantir que a quantidade de água administrada à mistura seja suficiente para a hidratação total do cimento, sendo desta forma necessário evitar a rápida evaporação da água e reter o máximo possível da mesma. Caso contrário, ocorrerão perdas na resistência esperada da peça [2].

São utilizados dois tipos de cura no processo de fabricação de GRC: a cura húmida e a cura ao ar.

A cura húmida, como não incorpora o uso de polímeros, requer uma atmosfera húmida de modo a que a humidade fique retida de forma a assegurar a hidratação adequada do cimento e para prevenir a formação de fissuras devido à rápida perda de água. O processo deste tipo de cura consiste em envolver o painel, logo após a sua produção, num filme de polietileno, de preferência durante a noite, para evitar a secagem e atingir adequada resistência até ser desmoldado, num ambiente cuja temperatura seja mantida acima dos 16 ° C. Após o período de cura durante a noite, o painel pode ser curado, posteriormente, numa câmara húmida, cuja temperatura deverá estar acima dos 16 ° C e a humidade relativa mínima de 95%, por um período de 7 dias [1].

Em alternativa ao método anterior, existe a cura ao ar, na qual incorpora polímeros na mistura, com o intuito de impedir a saída de água da matriz. O polímero forma uma película envolvente do compósito, retendo a humidade no painel, eliminando, assim, a necessidade da cura húmida durante 7 dias, ajudando a garantir a hidratação do cimento e a inibir a fissuração superficial. A temperatura mínima recomendável de cura do painel é de 16 ° C, que deve ser mantida durante 12 a 16 horas [1].

2.7. ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E MONTAGEM DOS PAINÉIS EM OBRA

Uma regra importante nos processos de preparação do armazenamento e transporte de painéis de GRC é não submeter a face do painel a qualquer tipo de carga. Os painéis devem ser suportados e amarrados

pela parte estrutural do painel e devem ser empilhados com especiais cuidados. Estas medidas de precaução devem ser tidas em conta durante o armazenamento uma vez que os painéis, na sua fase de maturação inicial, encontram-se muito sensíveis a deformações. Devem ser armazenados em suportes estáveis, nos locais especificados, com superfície firme, plana e lisa, visivelmente identificados. Os painéis devem ser cobertos com um material que os proteja nos pontos de contacto com superfícies expostas. Todos estes aspetos entre outros, referidos no manual do PCI [1], devem ser considerados ao longo do armazenamento, tanto na fase de pré-fabrico como em obra, de modo a que os painéis não sejam danificados.

O transporte de painéis planos deve ser feito de tal forma que a sua posição de carga e ligações de segurança introduzam apenas esforços complanares moderados [15].

A montagem eficiente dos painéis em obra será resultado do planeamento de todas as fases e entre os intervenientes desta operação, nomeadamente entre o produtor, transportadores, operadores da elevação e instalação dos painéis e o empreiteiro geral. Antes de se proceder à instalação em obra, é essencial verificar o acesso do estaleiro a todo o equipamento necessário, verificar as tolerâncias da estrutura do edifício e as superfícies de apoio, de modo a evitar atrasos, assim como uma sequência de ações que optimize a utilização dos equipamentos disponíveis (camiões, plataformas elevatórias, guas móveis, etc.).

Geralmente, os painéis devem ser elevados, com o auxílio de guas móveis e plataformas elevatórias, diretamente do camião para o edifício/construção em questão, de forma a minimizar os riscos e despesas em manipulação extra.

A questão da fixação e ancoragem dos painéis é abordada no capítulo 4 do presente estudo.

2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O GRC, material compósito, constituído por uma matriz cimentícia reforçada com fibras de vidro AR (resistentes ao meio alcalino) é muito versátil, com diversas aplicações nas áreas da Arquitetura, Construção Civil e Engenharia, devido às suas principais propriedades de baixo peso, fácil manuseamento, ideal para casos de renovação de edifícios, é amigo do ambiente, facilmente moldável para a reprodução de formas e pormenores arquitetónicos, apresenta elevados níveis de resistência que proporcionam o dimensionamento de elementos de revestimento muito finos e leves, relativamente a painéis de betão normal. É um material extremamente durável, resistente à corrosão e oferece uma grande variedade de formas e superfícies de acabamento, apresentando elevado desempenho a nível térmico e acústico e de resistência ao fogo.

O leque de aplicações de GRC é muito variado, no entanto cerca de 80% da produção a nível mundial corresponde ao fabrico de painéis de fachadas pré-fabricadas. Existem três tipos de painéis disponíveis no mercado: tipo casca (nos EUA denominado por nervurado), *stud frame* e sanduíche. A fabricação é essencialmente realizada através de dois métodos: método de projeção direta (*spray-up*) e o método de pré-mistura (*premix*).

3

EXEMPLOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS DE GRC

3.1. INTRODUÇÃO

Tal como foi já referido, o GRC tem diversas aplicações, no entanto a maior parte da produção, cerca de 80%, a nível mundial, corresponde à produção de painéis de fachadas pré-fabricadas. Devido à grande versatilidade deste tipo de fachadas, em termos de geometria, cores e texturas, o mercado da construção civil abraçou esta solução, para além de proporcionar alto desempenho mecânico, com componentes de baixo peso, sendo a sua aplicação adequada em obras de construção nova, mas também na reabilitação e restauração de edifícios. Neste capítulo será feita referência a diversas obras realizadas em Portugal Continental, assim como, alguns exemplos de implementação de painéis de GRC em Espanha, França e até mesmo Brasil.

3.2. CONSTRUÇÕES REALIZADAS COM PAINÉIS DO TIPO CASCA

Nesta secção são referidos alguns exemplos de obras nas quais foram usados painéis de GRC, do tipo casca, no revestimento das fachadas de edifícios.

Como um primeiro exemplo, segue-se o Tivoli Fórum, em Lisboa (ver figura 3.1), obra realizada em 1999, na qual foi efectuado o capeamento, revestimento de pilares em GRC, com painéis do tipo nervurado (ou casca), totalizando a área de 370 m².



Fig. 3.1 – Tivoli Fórum, Lisboa [16].

Outro exemplo é o empreendimento da obra de habitação da EPUL (Empresa Pública de Urbanização de Lisboa), realizada em 2006/07, em Lisboa, na qual foram aplicados painéis GRC, pigmentados, do tipo casca, numa área de 3030 m² de fachada, representado na figura 3.2.



Fig. 3.2 – Empreendimento de habitação da EPUL, Lisboa [17].

Os painéis GRC podem ser aplicados com fins decorativos, como é o caso de uma vivenda, na Praia d’El Rei, na qual a implementação dos painéis foi efectuada numa caleira decorativa, em 2007, como se pode ver na figura 3.3.

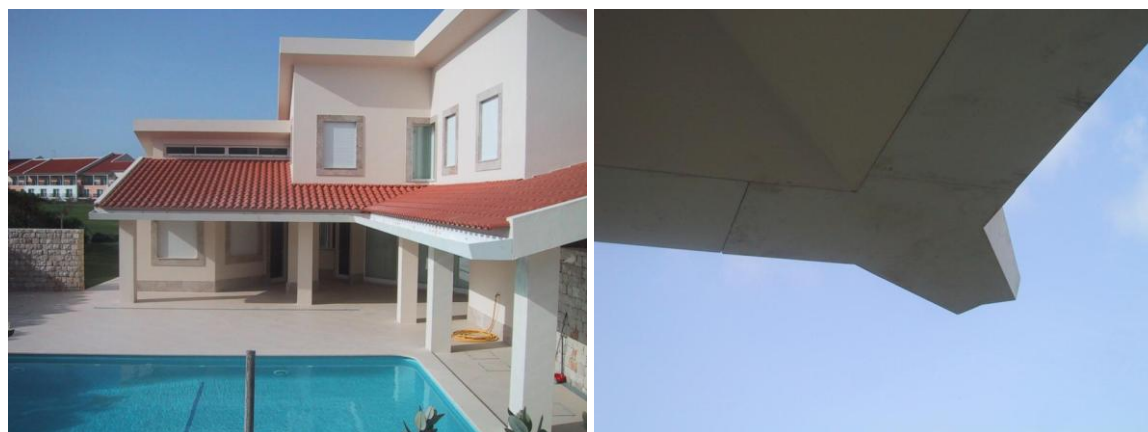


Fig. 3.3 – Vivenda, Praia d’El Rei, Óbidos [17].

Mais um exemplo de aplicação de painéis casca, é um museu, na Batalha, revestimento efectuado em 650 m² de superfície, obra realizada em 2008 (ver figura 3.4).



Fig. 3.4 – Museu da Batalha, Batalha [17].

O revestimento da fachada do edifício do INL (*International Iberian Nanotechnology Laboratory*), situado em Braga, representado pela figura 3.5, obra realizada em 2010, foi efetuado com painéis casca, nervurados no tardo, fixados à estrutura diretamente com cantoneiras metálicas. A área de fachada correspondente à aplicação de painéis de GRC totaliza 5042 m².



Fig. 3.5 – INL, Braga [18].

Outra obra na qual foram implementados painéis casca é o caso de uma vivenda, em Águeda, em 2011, como se apresenta na figura 3.6.



Fig. 3.6 – Vivenda, Águeda [17].

No projeto de reabilitação da envolvente exterior dos edifícios da urbanização de “habitação de custos controlados” de Vila d’Este, em Vila Nova de Gaia, o revestimento das fachadas, ao nível do r/chão, foi efetuado com painéis GRC, cuja área foi 3250 m², exemplo de aplicação ilustrado na figura 3.7. Esta obra foi realizada em 2011/12.



Fig. 3.7 – Reabilitação das fachadas dos edifícios da urbanização de Vila d’Este, Vila Nova de Gaia [17].

3.3. APLICAÇÕES COM PAINÉIS STUD-FRAME

São apresentados, ao longo desta secção, exemplos de obras nas quais foram implementados painéis *stud-frame*, em Portugal.

O edifício mais recente da Sede da Vodafone, em Lisboa, construído em 2001, foi revestido com painéis GRC, do tipo *stud-frame*, de dimensões 2,00x1,00 m², totalizando uma área de 3358 m² (ver figura 3.8). O cimento utilizado na produção de GRC tem a particularidade da sua cor, por ser branco. É de referir que nesta obra existiram diversas singularidades relacionadas com a colocação dos painéis, na medida em que havia painéis inclinados, levando a ligações do tipo esquadro rígido [15].

Mais um exemplo em Lisboa, o edifício da Estação Quinta das Mouras, do Metro de Lisboa, construído em 2003, foi revestido com 702 m² de painéis GRC do tipo *stud-frame*, apresentado na figura 3.9.



Fig. 3.8 – Edifício Vodafone- sede, Lisboa [16].

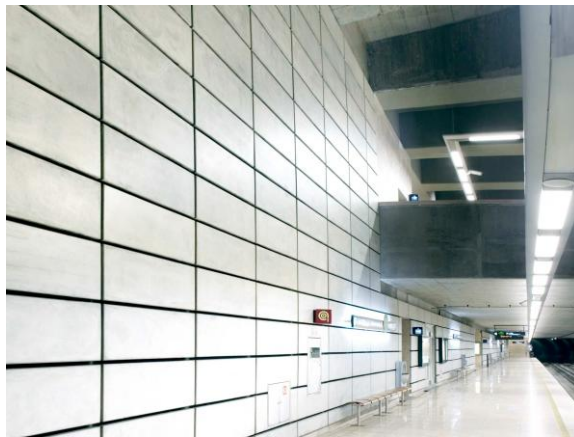


Fig. 3.9 – Estação Quinta das Mouras, Metro de Lisboa, Lisboa [16].

A implementação das peças decorativas “Donuts”, em Lisboa, obra realizada em 2005, são um exemplo da versatilidade a nível de formas e geometria do GRC, apresentado na figura 3.10.



Fig. 3.10 – Peças decorativas “Donuts”, Lisboa [17].

O Mosteiro de Santa Clara, em Coimbra, popularmente conhecido pelo Convento de Santa Clara-a-Velha, fundado nos finais do século XIII, localizado na margem esquerda do rio Mondego, foi submetido a intervenções de restauro e recuperação, logo no início do século XX, devido aos lodos e areias do Mondego que invadiam este espaço, deixando este monumento imerso nos sedimentos. Após diversos projectos de recuperação, nomeadamente o último, um concurso internacional para a recuperação do monumento, vencido pelo “Ateliê 15”, em 2001, foi possível, após vários séculos, libertar este antigo convento das águas do rio e abrir ao público em 2009. Nestas obras de recuperação, esteve incluída a implementação de painéis *stud-frame*, numa área total de 160 m², projeto concluído em 2008, representada na figura 3.11.



Fig. 3.11 – Recuperação do Mosteiro de Santa Clara, Coimbra, 2008 [17].

O Hotel Holiday Inn (anteriormente Meliá, cujo ano de construção data 2004), localizado em Vila Nova de Gaia, sofreu uma última renovação no ano de 2010 (ver figura 3.12). O revestimento da sua fachada foi realizado em painéis do tipo *stud-frame* (casca de GRC apoiada em bastidor metálico), totalizando a área de fachada de 18 000 m².



Fig. 3.12 – Hotel Holiday Inn, V. N. Gaia [18].

A fachada de uma moradia em Valongo, no Grande Porto, foi revestida com este tipo de painéis, com uma superfície de 320 m², projetada pelo arquiteto Ricardo Moreira, em 2012. Na figura 3.13 é possível verificar a fachada da moradia.



Fig. 3.13 – Fachadas da moradia em Valongo, 2012 [17].

3.4. APLICAÇÕES COM PAINÉIS SANDUICHE

São diversas as aplicações de painéis sanduiche, das quais algumas vão ser referenciadas nesta secção.

O centro comercial Parque Nascente (ver figura 3.14), situado em Rio Tinto, junto à Estrada da Circunvalação, representa um dos exemplos de revestimento de fachada através de painéis do tipo sanduiche, com uma camada de isolamento térmico EPS (poliestireno expandido) no seu interior. A área total de fachada revestida em GRC corresponde a 14 500 m².



Fig. 3.14 – Centro Comercial Parque Nascente, 2003 [18].

Na construção de um pavilhão industrial, em Vendas Novas, foram implementados 117 m² de painéis sanduiche, obra realizada em 2005. Na figura 3.15 é possível visualizar os painéis aplicados.



Fig. 3.15 – Pavilhão industrial, Vendas Novas, 2005 [17].

Em Lisboa, nas fachadas de um edifício de escritórios, ver figura 3.16, foram aplicados 117 m² de painéis sanduiche, no revestimento de gabinetes em terraço, obra realizada em 2005.



Fig. 3.16 – Edifício de escritórios, Lisboa, 2005 [17].

Na renovação da fachada das Urgências do Hospital de Santo André, em Leiria, foram implementados 60 m² de painéis sanduiche (ver figura 3.17).



Fig. 3.17 – Urgências Hospital de Santo André, Leiria, 2007 [17].

No revestimento de edifícios de habitação, a aplicação de painéis sanduiche é notável, como é o caso de uma habitação em Guimarães, obra de implementação de 400 m² de painéis, como ilustra a figura 3.18.



Fig. 3.18 – Edifício de habitação, Guimarães, 2007 [17].

Seguem-se mais exemplos de aplicação de painéis sanduiche, como o caso do *stand*, em Montemor-o-Velho, numa área de 110 m², apresentado na figura 3.19, e o revestimento da fachada do edifício de uma creche, no Estoril, totalizando 150 m² de superfície, demonstração da versatilidade do GRC, a nível de cores (ver figura 3.20).



Fig. 3.19 – *Stand*, Montemor-o-Velho, 2008 [17].

Como mais um exemplo de um centro comercial, aparece o Mar Shopping, do grupo inter Ikea, situado em Leça da Palmeira, Matosinhos, cuja fachada foi revestida com painéis GRC do tipo sanduiche (com uma camada de EPS no seu interior), totalizando 9 134 m², apresentado na figura 3.21.



Fig. 3.20 – Creche, Estoril, 2007 [17].



Fig. 3.21 – Centro Comercial Mar Shopping, 2008 [18].

Existem muitos outros exemplos de aplicação não mencionados neste trabalho, mas dos quais se podem destacar mais alguns, por serem mais recentes ou cuja área de painéis implementada é mais elevada. São o caso, por exemplo, de uma zona comercial, em Lisboa, obra na qual esteve envolvida a implementação de 1100 m² de painéis GRC, do tipo sanduiche, ver figura 3.22, a introdução de 770 m² no Colégio S. Tomás, também em Lisboa, imagens apresentadas na figura 3.23, ou de outro espaço comercial, mas em Vila do Conde, na construção de palas para o edifício, representado na figura 3.24, uma escola em Vila Viçosa, cuja obra abrangeu a aplicação de 3400 m² de painéis sanduiche (ver figura 3.25) e, para finalizar com mais um caso, aparece, recentemente, o edifício do UPTEC (Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto), localizado no Polo Universitário da Asprela, próximo do edifício da AEFEUP (Associação de Estudantes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), estrutura da UP (Universidade do Porto) dedicada à incubação de Startups e ao acolhimento de Centros de Inovação Empresarial, revestido com painéis sanduiche em 300 m² de fachada, apresentado na figura 3.26.



Fig. 3.22 – Zona comercial, Lisboa, 2007 [17].



Fig. 3.23 – Colégio S. Tomás, Lisboa, 2007 [17].

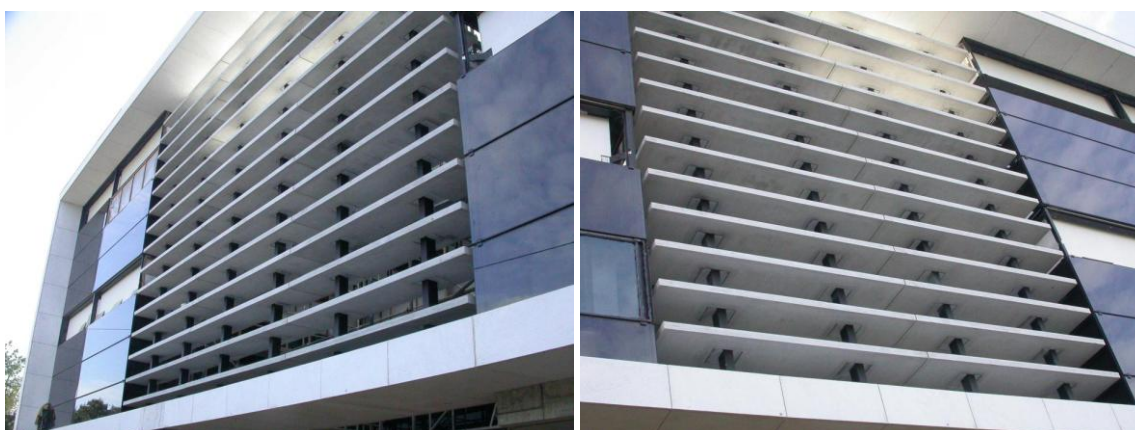


Fig. 3.24 – Espaço comercial (palas), Vila do Conde, 2008 [17].



Fig. 3.25 – Escola, Vila Viçosa, 2010 [17].



Fig. 3.26 – UPTEC (Polo Asprela), Porto, 2012 [17].

3.5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES COM DIFERENTES TIPOS DE PAINÉIS

Existem alguns exemplos de obras realizadas no âmbito da produção e instalação dos painéis, que envolvem a aplicação de mais de um tipo de painel.

Como exemplo de um edifício, em território nacional, cujas fachadas foram executadas com os três tipos de painéis GRC, ou seja, painéis do tipo casca, stud-frame e sanduiche, aparece a figura 3.27, que representa um edifício, situado na Maia, revestimento totalizado numa área cerca de 800 m². A tipologia usada nas fachadas desta construção, fator considerado na fase de projeto, incidiu em planos ortogonais, que se repetem, regularmente, ao longo da sua malha estrutural, o que implica a sistematização da fabricação e montagem dos painéis em obra, conduzindo, deste modo, à redução de custos e aumento de produtividade [2].

Como mais dois exemplos de construções, a nível nacional, que envolvem a aplicação dos três tipos de painéis, são referidos o Hospital Privado de Alfena, em Valongo, ver figura 3.28, e a Escola Secundária Rainha Santa Isabel, em Estremoz, representada na figura 3.29, totalizando áreas bastante significativas, na ordem dos 3700 e 3800 m², respetivamente.

Como conclusão deste subtema, são apresentadas mais três construções, exemplos de aplicação de dois tipos de painéis, casca e sanduiche, em simultâneo, e aplicação de painéis *stud-frame* e sanduiche, na mesma construção. São, assim, o Centro Paroquial situado em Caxias e uma creche, em Vila do

Conde, obras realizadas, ambas, em 2010, apresentadas nas figuras 3.30 e 3.31, respetivamente. O novo Hospital de Lamego foi revestido por painéis do tipo *stud-frame* e sanduíche (ver pormenor dos painéis na figura 3.32b), repartidos igualmente numa área de fachada totalizando 6 500 m², representado na figura 3.32, ainda em fase de construção.



Fig. 3.27 – Edifício de habitação, Maia, 2007 (à direita, exemplo da produção de um dos painéis aplicados na obra) [17].



Fig. 3.28 – Hospital, Alfena, Valongo, 2008 [17].



Fig. 3.29 – Escola Secundária Rainha Santa Isabel, Estremoz, 2009 [17].



Fig. 3.30 – Centro paroquial, Caxias, 2010 [17].



Fig. 3.31 – Creche, Vila do Conde, 2010 [17].



a) Visão geral

b) Pormenor dos painéis implementados

Fig. 3.32 – Novo Hospital de Lamego, 2011/2012 [18].

3.6. OUTROS EXEMPLOS

Existem diversos exemplos de construções espalhadas pelo mundo (Europa, EUA) no âmbito da implementação de fachadas pré-fabricadas, constituídas por painéis GRC.

As figuras que se seguem (3.33 a 3.47) demonstram alguns desses exemplos.



Fig. 3.33 – San Francisco Marriott Hotel, Califórnia, EUA [19].

Nos EUA, o hotel Marriott, situado em São Francisco, Califórnia, apresentado na figura 3.33, é um dos exemplos, a nível internacional, de revestimento de fachadas de grandes edifícios com painéis de GRC.

Em Inglaterra, a School of Health Studies, da Universidade de Bradford, ver figura 3.34, concluiu, recentemente, a passagem do seu antigo campus Trinity Road para o campus da cidade universitária.

O objetivo do departamento universitário (University Estates Department) e do arquiteto envolvido no projeto era criar um edifício realmente sustentável e tornar esta escola a mais ecológica, amiga do ambiente, no país. O edifício foi projetado e construído com base na especificação de sustentabilidade da universidade, que se foca, essencialmente, na física das construções, inércia térmica, elevados níveis de estanquidade ao ar e isolamento e sistemas passivos, em substituição dos sistemas mecânicos tradicionais.

Muitos produtos foram considerados para o revestimento da fachada exterior, mas, devido à complexidade de formas e tons exigidos no projeto, e aos inerentes benefícios do material, o GRC sobressaiu como a escolha preferida. Os painéis de GRC são recicláveis e são um produto de classificação máxima. O diretor do estado universitário, Russell Smith, afirmou que “É extremamente importante a utilização de materiais com referências verdes/ecológicas, se assim for permitido” [6].

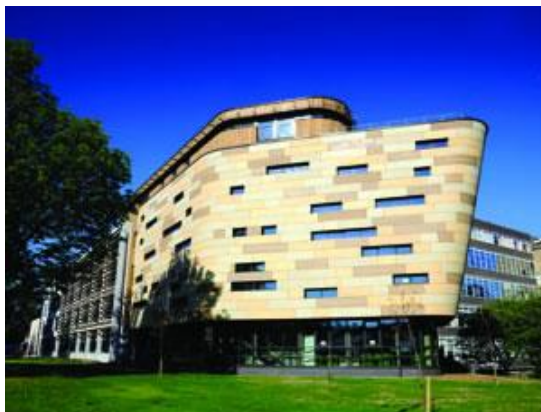


Fig. 3.34 – School of Health Studies Building, University of Bradford, West Yorkshire, Inglaterra [6].

Inicialmente, na fase de anteprojeto do Dalston Square Project, ver figuras 3.35 e 3.36, os edifícios de habitação eram para ser construídos com painéis pré-fabricados de betão tradicional, no entanto o objetivo era reduzir o tempo de obra, as cargas sobre a estrutura e evitar a necessidade de recorrer à utilização de guias-torre, garantindo, simultaneamente, elevada duração e o acabamento do cimento Portland de melhor qualidade. Para tal, foi adotada a solução de revestimento com painéis GRC, devido às suas vantagens de baixo peso, alto desempenho e possibilidade de peças com secções de reduzida espessura, totalizando a área de 15000 m², o caso de maior volume de revestimento em GRC de um empreendimento do parque residencial alguma vez aplicado no Reino Unido. A maior parte dos blocos que constituem este empreendimento foi concluída em 2012, restando apenas três blocos a Sul, que ficarão concluídos, em 2013, apontados para o mês de Abril.



Fig. 3.35 – Dalston Square Project, Londres, Inglaterra [6].

O edifício residencial Canada Water (ver figura 3.37) abrange três pátios situados perto da estação de metro Canada Water, em Londres. Canada Water é um lago de água doce e um refúgio para alguns animais selvagens, localizado em Rotherhithe, Docklands, sudeste Londres. Esta região foi assim denominada após o aparecimento das originais Canada Docks, que, durante muitos anos, foram o porto destino dos barcos que faziam ligação do Canadá até Londres. Dado o tamanho dos painéis implementados neste edifício, alguns atingindo uma área acima dos 3 m², a utilização de GRC foi uma escolha acertada na medida em que reduz as cargas permanentes na estrutura e permite maior facilidade em termos de instalação [6].



Fig. 3.36 – Dalston Square Project, Londres, Inglaterra - pormenor das fixações dos painéis [6].



Fig. 3.37 – Canada Water residential, Londres, Inglaterra – à direita, pormenor do painel de fachada de uma varanda [6].

Seguem-se outros casos presentes pela Europa, como o exemplo do terminal 4 do Aeroporto Charles de Gaulle, em Paris, em 2011, no qual foram implementados painéis casca numa área de 2700 m² (ver figura 3.38).



Fig. 3.38 – Aeroporto Charles de Gaulle, Terminal 4, Paris, França [17].

O Estádio Nueva Condomina, em Múrcia, Espanha, ver figura 3.39, projetado pelo arquiteto Jaime Lopez Amor, cuja obra foi concluída em 2006, foi revestido exteriormente por painéis *stud-frame*, totalizando uma área de 2300 m².



Fig. 3.39 – Estádio Nueva Condomina, Murcia, Espanha [17].

Ainda por território europeu, é apresentado o caso do Campus Universitário de Jussieu, em Paris, França, que contou com a aplicação de 80 m² de painéis *stud-frame*, obra realizada em 2007. A figura 3.40 representa os painéis aplicados na obra em questão.



Fig. 3.40 – Painéis *stud-frame* aplicados na obra do Campus Universitário de Jussieu, Paris, França [17].

O revestimento das fachadas de um edifício de habitação em Madrid foi efetuado com 1800 m² de painéis *stud-frame* coloridos, exemplo que demonstra a versatilidade do material GRC a nível de cores, representado na figura 3.41. Também em Espanha, em Toledo, a fachada de um edifício de laboratórios foi revestida com painéis sanduiche, com acabamento pétreo, numa superfície total de 147 m², representada na figura 3.42. No revestimento de um edifício de habitação, em Gijón, foram aplicados 2000 m² de painéis de GRC do tipo sanduiche, representado pela figura 3.43.



Fig. 3.41 – Edifício de habitação, Madrid, Espanha, 2007 [17].



a) Painéis para aplicar na fachada do edifício



b) Fachada do edifício revestida com os painéis

Fig. 3.42 – Laboratórios, Toledo, Espanha, 2006 [17].

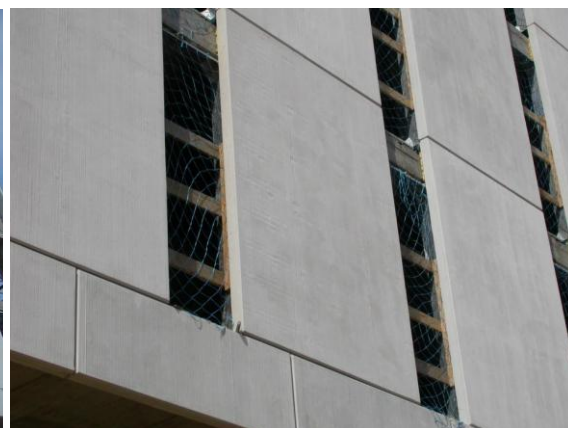


Fig. 3.43 – Edifício de habitação, Gijón, Espanha, 2007 [17].

Na construção de um silo, em Alhandra, foram aplicados 450 m² de painéis sanduiche, cujo pormenor que evidencia a diferente geometria é apresentado na figura 3.44.



Fig. 3.44 – Paineis a colocar no Silo, Alhandra, 2008 [17].

O empreendimento de habitação, construído em Madrid, em 2007, representado pela figura 3.45, é composto por fachadas revestidas com painéis do tipo casca e sanduiche, totalizando uma área de 2500 m².



Fig. 3.45 – Empreendimento de habitação, Madrid, Espanha, 2007 [17].

O Lycée du Parc des Loges, Evry, em Paris, é mais um exemplo, a nível europeu, de um edifício revestido com painéis casca e sanduiche, numa área total cerca de 1120 m², em 2008, apresentado na figura 3.46.



Fig. 3.46 – Liceu, Paris, França, 2008 [17].

Fora da Europa, no Brasil, um edifício de escritórios, localizado na Rua de Rocio, em São Paulo, foi revestido com 1000 m² de painéis GRC, do tipo *stud-frame*, em 2004, representado na figura 3.47.



Fig. 3.47 – Edifício de escritórios, Rua de Rocio, São Paulo, Brasil [16].

3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados apenas alguns exemplos, dos muitos existentes, a nível nacional e internacional, de aplicação de fachadas pré-fabricadas em GRC.

O recurso a este tipo de solução, quando existe um conjunto de condições para sua implementação, é cada vez mais notória, devido às principais vantagens deste material. Os painéis de GRC, comparativamente com o revestimento em betão tradicional, reduzem o peso e a espessura até dez vezes. O betão reforçado com fibra de vidro é um produto compósito de alto desempenho, moldável e de elevada duração, apresentando um peso típico cerca de 70 kg/m². A vida da construção e durabilidade do GRC é significativamente aumentada em consequência da resistência do produto à corrosão, raios UV, fogo e variações de temperatura.

4

O PROJETO DE PAINÉIS DE GRC

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se fazer uma abordagem dos principais aspetos incluídos desde a fase de projeto dos painéis GRC até à sua implementação em obra. Os painéis a analisar são do tipo stud-frame, uma vez que são os aplicados no revestimento das fachadas no caso a estudar.

4.2 PROJETO

Em linhas muito gerais, até chegar à fabricação dos painéis, o procedimento para o projeto de painéis GRC passa pelas seguintes fases: o arquiteto fornece as diretrizes para a fase de projeto; a geometria e modulação são estabelecidas através da interação com o fabricante; com base nas informações anteriores, define-se o tipo de painel mais adequado para a construção em questão; efetua-se o dimensionamento dos painéis e das respetivas juntas, tendo em conta as solicitações a que ficarão sujeitos ao longo da sua vida útil; procede-se à execução dos pormenores necessários para a execução da obra; e, finalmente, inicia-se a produção dos painéis, em fábrica [2].

O projeto de painéis de revestimento em GRC baseia-se nas propriedades do material, e a sua alteração ao longo do tempo, e no desempenho em construções em climas variados. Os painéis estão sujeitos a uma variedade de solicitações e condições ambientais, resultando na produção de esforços internos e externos. As forças devido à ação do vento e gravidade, assim como a redução da retração devido à alteração de volume, resultante de alterações de humidade e de temperatura, são considerações importantes a ter no projeto do GRC.

Existem algumas anomalias, frequentes neste tipo de fachadas pré-fabricadas, as quais foram detetadas numa série de fachadas em GRC (investigadas nos EUA pelo CTL (*Construction Technology Laboratories*)), tais como:

- fissuração prematura, nem sempre visível à vista desarmada, que originou a penetração de água e consequentes danos dos componentes internos, em algumas situações;
- empenamento dos componentes, normalmente precedente ao aparecimento de fissuras visíveis;
- descoloração superficial dos painéis, resultante da carbonatação do GRC;
- descolamento do revestimento da interface.

Algumas destas situações foram detetadas logo após a instalação dos painéis de fachada, não sendo relacionadas apenas com o envelhecimento do compósito.

Falhas de origem no projeto, principalmente nos casos em que houve dano imediato, e falhas nas operações de desmoldagem e içamento, que introduziram tensões superiores ao limite elástico do

compósito e resultaram em defeitos latentes que se manifestaram anos após a conclusão da fachada, à medida que avançavam os mecanismos de envelhecimento do GRC, podem ser as principais causas destes problemas mencionados, exceto no caso da questão da carbonatação [20].

Voltando um pouco atrás, fazendo referência à própria mistura de GRC, pode-se salientar que apesar da implementação de composições de fibra de vidro resistentes ao álcalis do cimento, AR (*alkali-resistant*), se a humidade estiver presente durante a hidratação do cimento, o GRC vai perder resistência e ductilidade ao longo do tempo. Este fenómeno deve-se ao facto de o produto da hidratação do cimento, o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), penetrar nas fibras e preencher os espaços intersticiais entre os filamentos do vidro, aumentando assim a ligação da fibra de vidro à matriz de cimento e levar a uma redução da saída da fibra, reduzindo a deformação até à rotura. Isto implica também a diminuição da resistência à tração ao longo do tempo. Em ambientes secos, interiores, onde a hidratação do cimento e o ataque químico é significativamente lento, as propriedades iniciais do compósito permanecem por mais tempo. No entanto, em ambientes normais, o uso de cimento Portland proporciona a redução de deformações até à rotura. Com o reforço de fibra de vidro AR, estes sistemas exibem substancialmente menor perda de ductilidade na condição de totalmente envelhecido. As propriedades do GRC envelhecido são normalmente determinadas em laboratório, submetendo amostras a um banho quente, ou outro regime que tente simular, num ritmo acelerado, os efeitos do envelhecimento, em tempo real, num ambiente natural, com o objetivo de manter os esforços do GRC abaixo da força de rotura, com uma margem considerável [1].

As peças desenhadas do projeto devem demonstrar a localização dos painéis, assim como secções e dimensões necessárias para definir o tamanho e modulação dos painéis, indicando a disposição das juntas, em termos funcionais e estéticos, ilustrando pormenores entre as unidades.

4.2.1. METODOLOGIA DO PROJETO

A orientação do projeto de painéis GRC é baseada, essencialmente, em dois princípios: por um lado no dimensionamento do painel de modo que as tensões sejam sempre mantidas abaixo do limite elástico do compósito (LOP) e por outro permitir a movimentação livre da camada de GRC, submetida a alterações ambientais.

O projeto de painéis GRC consiste numa sequência de ações, mencionadas anteriormente, em linhas muito breves, e podem ser ordenadas da seguinte forma:

1. O arquiteto fornece as primeiras entradas para o processo de projeto, ao definir a parte estética da fachada;
2. A geometria e modulação são estabelecidas através da interação com o fabricante e, com base nisto, é definido o tipo de reforço mais adequado;
3. Dimensionamento do GRC, segundo solicitações mecânicas: envolvem a ação do vento, peso próprio e esforços durante a desmoldagem/descofragem, manuseamento, transporte e içamento dos painéis; todo o histórico de carregamento é importante, para evitar que os esforços superem a tensão de fissuração da matriz;
4. Dimensionamento do GRC, segundo solicitações físicas, introduzidas por influências ambientais: as alterações de temperatura e humidade do meio externo têm reflexos significativos sobre o compósito, não raro capazes de provocar tensões que superam inclusive a ação do vento; a restrição imposta pelas fixações e acabamentos tem, frequentemente, influência decisiva na solução final e requer que os

efeitos das alterações de temperatura e humidade sejam considerados como de alta probabilidade de ocorrência simultânea na combinação de cargas adotada;

5. Dimensionamento dos sistemas de reforço e fixação;

6. Dimensionamento das juntas;

7. Graduação dos níveis de desempenho térmico, acústico e resistência ao fogo, conforme os critérios previamente estabelecidos;

8. Pormenorização final do sistema e interfaces.

Esta sequência de ações é sistematizada no fluxograma da figura 4.1.

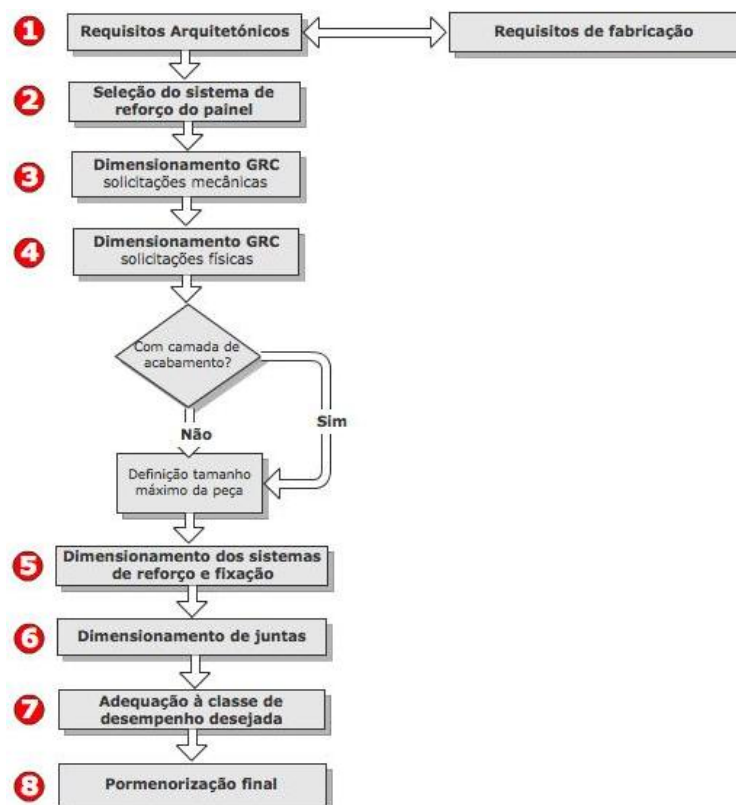


Fig. 4.1 – Metodologia do projeto de painéis GRC [20].

4.2.2. GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS

A definição da geometria do painel é importante para o traçado dos sistemas de reforço e de fixação, refletindo-se, também, no dimensionamento do GRC. Diferentes formas, relevos, reentrâncias, relacionam-se diretamente com o peso próprio do painel, interferindo com tensões de compressão e flexão, influenciando, por outro lado, áreas de sombreamento e posicionamento em relação à incidência da chuva, por exemplo. No caso de um painel apresentar relevos profundos, criam-se regiões de flexão no GRC (figura 4.2, situação 2), sendo necessário o reforço adequado dos mesmos. Quando o perfil é complexo, as ancoragens de ligação tornam-se mais longas e lateralmente instáveis sob a ação do vento (figura 4.2, situação 1). Por outro lado, ancoragens muito curtas têm tendência a restringir o movimento e originar tensões de flexão no GRC (figura 4.2, situação 4). Podem, ainda,

surgir áreas parcialmente sombreadas ou protegidas da incidência direta da chuva, devido à geometria do painel, que originarão tensões diferenciais, representada pela situação 3, na figura 4.2 [20].

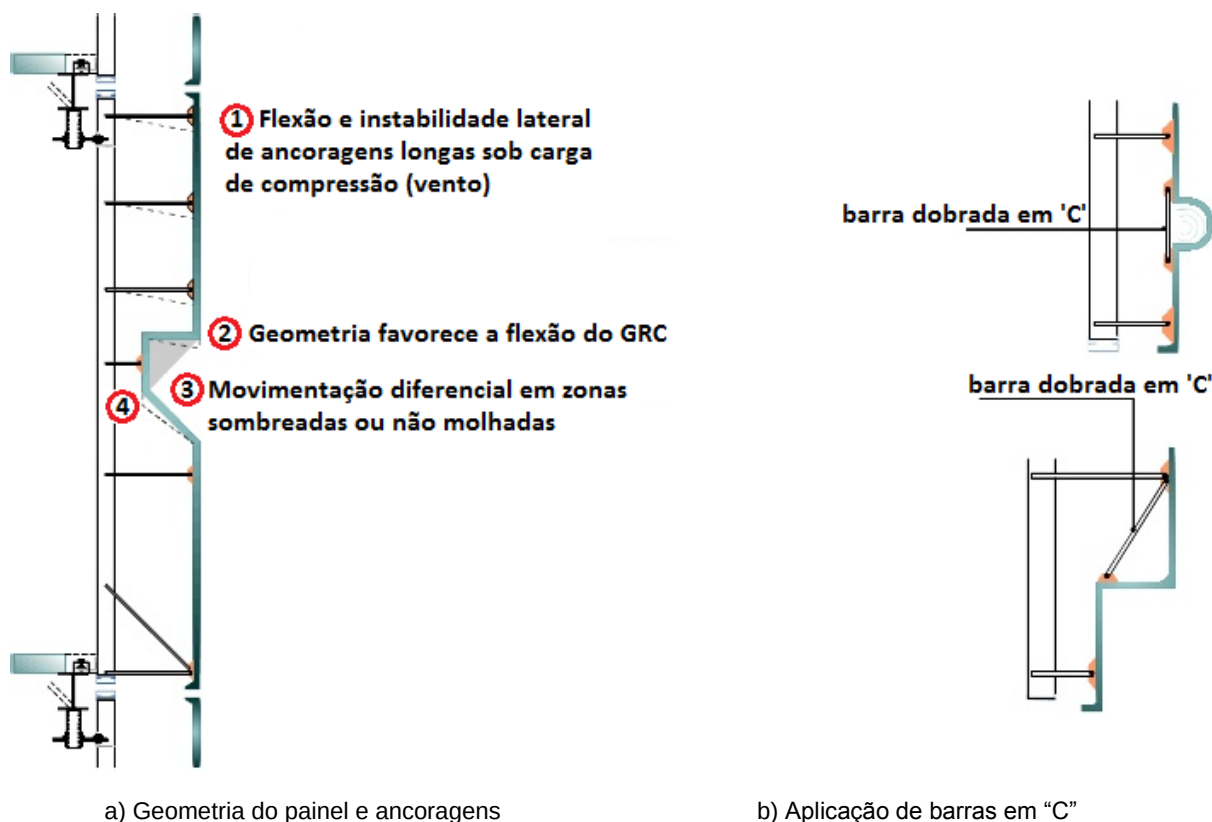


Fig. 4.2 – Influência da geometria dos painéis sobre a natureza das tensões instaladas na camada de GRC [20].

Relativamente ao posicionamento das aberturas na fachada, é preferível, sempre que possível, ter aberturas mais reduzidas e completamente envolvidas pelo GRC, de modo a minimizar as preocupações relacionadas com o encaixe do painel e vedação das juntas. Para aberturas maiores (grandes vãos), os painéis devem ser configurados de modo a que as aberturas sejam menos afetadas pelo movimento da estrutura. Neste último caso, a área de GRC deve ser dividida em panos menores, dando prioridade à continuidade das juntas horizontais. A figura 4.3 demonstra exemplos da disposição dos painéis, modulação correta e incorreta, no caso de aberturas reduzidas (figs. 4.3a e 4.3b) e no caso de aberturas maiores (figs. 4.3c, 4.3d e 4.3e) [1] [20].

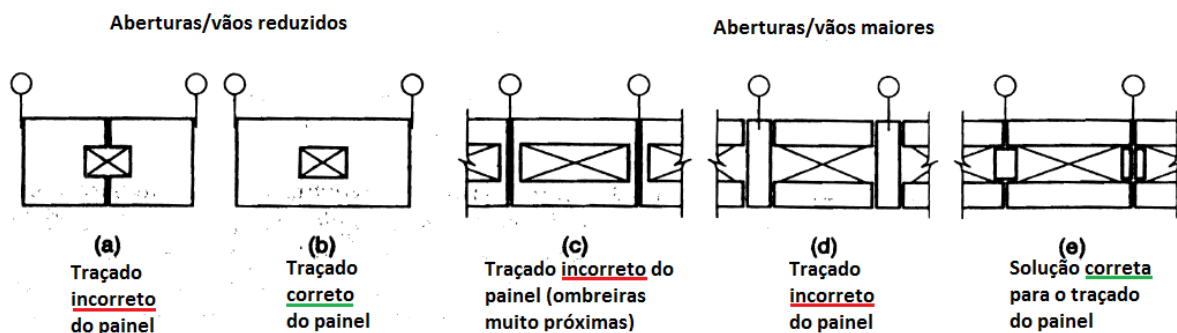


Fig. 4.3 – Relação das juntas entre vãos e painéis de GRC [1].

A disposição dos painéis deve ser coordenada com as ligações à estrutura, para que a direção da própria fachada não esteja em conflito com a disposição das juntas dos painéis. Tal como já foi referido anteriormente, as juntas horizontais devem ser contínuas, não interrompidas. Para painéis de grandes dimensões (acima dos 6m), é necessário segmentar a camada externa GRC da face do painel com juntas controladas (juntas controladas calafetadas), com o fim de minimizar a limitação da camada. Por vezes, certas formas do painel são destacadas da camada principal, de modo a limitar esforços de variação diferencial de volume [1].

4.2.3. DIMENSIONAMENTO DO PAINEL

No dimensionamento de painéis de fachada em GRC é necessário considerar as ações às quais estes elementos vão estar sujeitos, as designadas ações de projeto. Deste modo, devem ser consideradas as cargas de serviço no painel: efeitos devido ao peso próprio, vento, sismos, se aplicável, e os efeitos da temperatura e humidade.

Uma vez que os painéis GRC são leves, apresentam baixo peso, o vento é uma ação importante a ser considerada, contabilizada na carga total de projeto, mais relevante do que no caso de painéis de betão, de peso bastante mais elevado. Quando aplicável a ocorrência de sismos, são desenvolvidas forças de inércia nos painéis. As variações de volume devido a alterações de temperatura e humidade são a três dimensões e volumétricas. Os painéis devem ser dimensionados para contrações e expansões, horizontal e verticalmente, sem encurvadura, abertura de juntas seladas, tensões excessivas entre os componentes do painel ou parafusos, ou outros efeitos prejudiciais.

Devem ser considerados fatores de carga e combinações de ações, esforços limite para flexão, corte e tração e deformação por flexão, para os quais a geometria do painel deve ser tida em conta. É de realçar que a resistência à tração do GRC é menor que a sua resistência à flexão.

4.2.3.1. Métodos de suporte e reforço de painéis: o sistema *stud-frame*

Normalmente, não é usual executar a camada externa GRC do painel muito espessa. Para permitir painéis maiores, recorre-se ao uso dos chamados reforços, como é o caso da ancoragem da camada de GRC do painel a uma estrutura de aço (*stud-frame*), com nervuras integrais, incorporadas no tardo do painel. Existem dois métodos de fixação do painel à estrutura de aço (*stud-frame*), em que o primeiro é constituído por âncoras flexíveis, isoladas, para transferir cargas da face do painel para a estrutura de aço. O segundo, e preferível, utiliza ancoragem flexível, para a carga ação do vento, mas transfere o peso da camada externa do painel para a estrutura de aço, através de ancoragem gravítica, em separado. A ancoragem é soldada à estrutura *stud-frame* e ligada à camada externa do painel, através de GRC adicional (a chamada almofada de ligação de GRC- *bonding pad*, ver pormenores na figura 4.7).

Ao projetar painéis GRC do tipo *stud-frame*, é importante manter em separado a estrutura de aço da camada externa GRC, para não criar nenhuma resistência às alterações de volume no plano. A distância entre eles deve ser adequada, de forma a permitir um acesso não restrito dos trabalhadores para completa integração do quadro de aço à face do painel.

A constituição do sistema *Stud-frame* divide-se, essencialmente, em quatro partes:

- a) a camada externa GRC do painel;
- b) a ancoragem, que faz ligação da camada externa à estrutura de aço (*stud-frame*);
- c) a própria estrutura de aço (*stud-frame*);

d) os componentes de ligação do painel (da estrutura de aço) à estrutura/edifício.

No que diz respeito à ancoragem, esta deve ser flexível no plano do painel (exceto no caso de suportar cargas gravíticas ou sísmicas), de modo a originar o mínimo de restrição no plano contra as alterações de volume da camada externa do painel. A estrutura de aço deve acumular todas as cargas e transferi-las para a estrutura, através das ligações. Com este sistema, a camada GRC do painel nunca está diretamente ligada/ancorada à estrutura principal do edifício [1].

Dimensionamento da camada externa GRC do painel

Se a camada GRC do painel tiver uma face arquitetónica que apresente características de alteração de volume distintas das do GRC, a tensão diferencial deve ser considerada. Neste caso, os dois materiais devem ser analisados de modo a se obter resultados satisfatórios. As misturas de GRC têm um teor de cimento cerca de três vezes maior do que as misturas de betão convencional, o que resulta em encolhimento por secagem inicial e encolhimento por secagem reversível elevados e coeficientes de expansão térmica também elevados. No caso de uma face ligada apresentar características de alteração de volume diferentes, a camada externa de GRC tem tendência a comportar-se como um elemento termóstato bimetalico, desenvolvendo tensões internas e curvatura. Ao ter em conta considerações adequadas, uma grande diversidade de materiais pode ser aplicada com sucesso nas faces dos painéis. Alguns problemas têm ocorrido com certos materiais, quando não são submetidos a um estudo mais profundo. O material mais comum que tem sido aplicado com resultados para estes fins é o betão arquitetónico de fachada.

Normalmente, as faces dos painéis não são reforçadas com fibra de vidro, portanto, para questões de projeto, não são consideradas como contributo para a resistência da camada externa do painel.

Para além do dimensionamento ser direto, é importante ter em conta certas considerações para o espaçamento entre ancoragem não típica e bordos dos painéis, uma vez que afetam a capacidade de carga desta camada, pois bordos de painéis GRC que não se encontram suportados podem curvar e até mesmo empenar. Este facto, assim como o caso de juntas disformes, pode apresentar problemas no alinhamento dos painéis. Deste modo, a distância dos bordos da camada externa do painel às ancoragens deve permanecer igual e ser reduzida, para que o empenamento praticamente não se verifique, aspeto muito importante no caso de dois materiais com diferentes propriedades (ver figura 4.4). Em painéis de canto, a continuidade do sistema de reforço não deve ser adotada, pois gera tensões elevadas sobre o GRC. As estruturas de reforço devem guardar uma distância entre si de, pelo menos, 5 cm. Em certos casos, com o uso de juntas controladas, tensões potencialmente elevadas são eliminadas (ver figura 4.5) [1] [20].

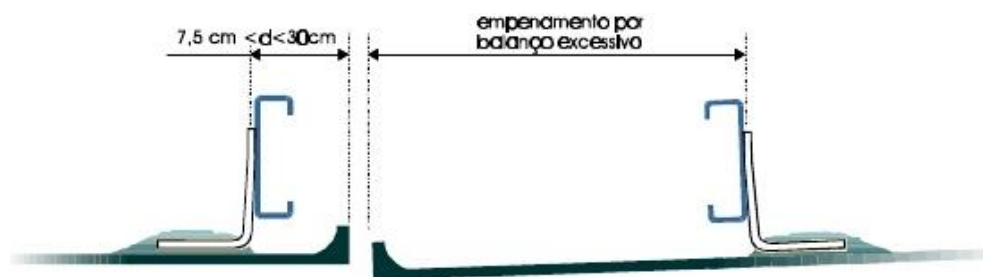


Fig. 4.4 – Efeito da distância da ancoragem à borda do painel [1] [20].

As formas dos painéis podem ser tais que o peso da camada externa acima ou abaixo das ancoragens gravíticas pode originar tensões de flexão elevadas. Mesmo com tensões baixas, a fluência pode

distorcer o painel, no tempo. Esta situação pode ser controlada com a aplicação de barras em “C”, semelhantes às ancoragens flexíveis, exceto no caso da base em ambas as extremidades, representadas na figura 4.2b [1].

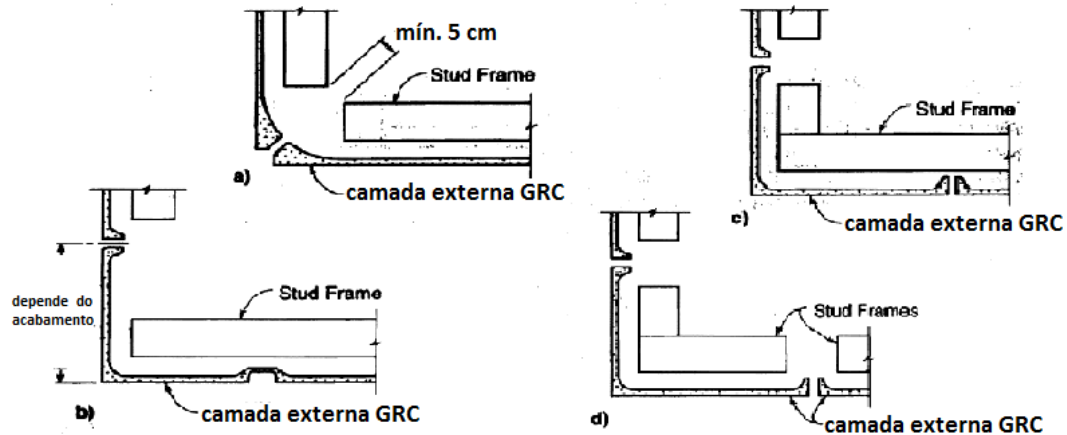


Fig. 4.5 – Soluções para painéis de canto [1].

Ancoragem da camada GRC à estrutura de aço *stud-frame*

A ligação da camada exterior à estrutura *stud-frame* do painel deve ser realizada de modo a minimizar a restrição das alterações de volume no plano da camada. Cada âncora de ligação deve ser analisada no seu movimento, segundo os três eixos: perpendicular à camada e nos planos vertical e horizontal da camada. Geralmente, todas as âncoras transportam cargas devido ao vento e sísmicas, na direção perpendicular, sendo, portanto, rígidas segundo os eixos perpendiculares à camada. As âncoras gravíticas suportam cargas verticalmente, porém são flexíveis ao ponto de permitirem movimentos no plano horizontal. Já as âncoras sísmicas transportam forças no plano horizontal, no entanto devem fornecer a mínima restrição na direção vertical.

O movimento devido às alterações de volume da camada externa do painel é normalmente considerado nulo no seu centro e aumenta proporcionalmente à distância relativamente a este ponto “neutro”.

As ancoragens flexíveis, barras em “L”, para a transmissão da carga devido ao vento, cujo detalhe típico é representado na figura 4.6, devem oferecer a menor restrição possível contra a alteração de volume no plano. Para painéis de menores dimensões, o método de fixação da camada de GRC à estrutura de reforço de aço tem em conta a transferência do peso da camada GRC para a estrutura de aço através da curva das âncoras flexíveis, como representado na figura 4.8. De modo a garantir a integridade estrutural, as fixações devem apresentar ampla rigidez e resistência de forma a suportar o seu peso afluente, assim como as cargas devido ao vento. Devem estar orientadas com os “dedos” apontados em direção ao centro “neutro” do painel, para que a retração por secagem inicial tenha tendência para afastar a “perna” da âncora da estrutura de aço, onde a pressão pode reduzir o comprimento efetivo da “perna”. Qualquer isolamento térmico ou proteção rígida contra o fogo devem ser instalados de forma a que não ocorra restrição do movimento. Para painéis mais pesados, geralmente, se a camada externa do painel é fixada à estrutura *stud-frame* apenas através de ancoragem flexível, o painel pode tornar-se tão rígido que a restrição pode originar tensões elevadas na camada externa. Se a carga devido ao peso próprio for suportada separadamente através de ancoragem gravítica, as âncoras flexíveis podem ser mais pequenas (cerca de 6mm de diâmetro) com o

fim de reduzir substancialmente a sua limitação no plano. As âncoras gravíticas devem ser colocadas numa linha horizontal, de modo a que não interajam umas contra as outras para restringir o movimento vertical provocado por variações higrotérmicas. Devem ser posicionadas de forma que as tensões de flexão da camada externa de painéis 3D sejam minimizadas, sendo assim preferível localizar este tipo de ancoragem próximo da parte inferior da camada externa, de modo que o seu próprio peso o coloque em compressão [1].

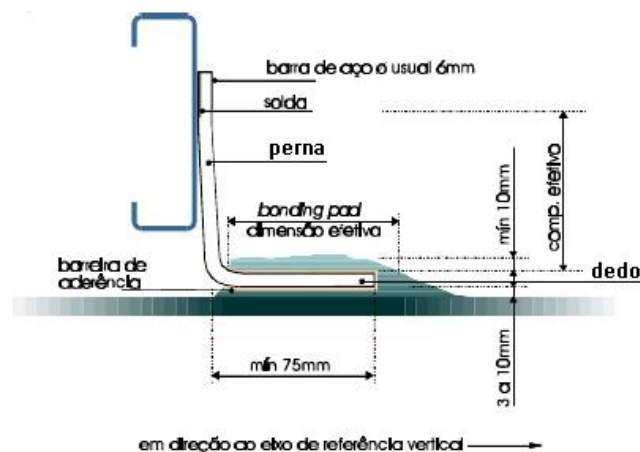


Fig. 4.6 – Detalhe típico de ancoragem flexível [1] [20].

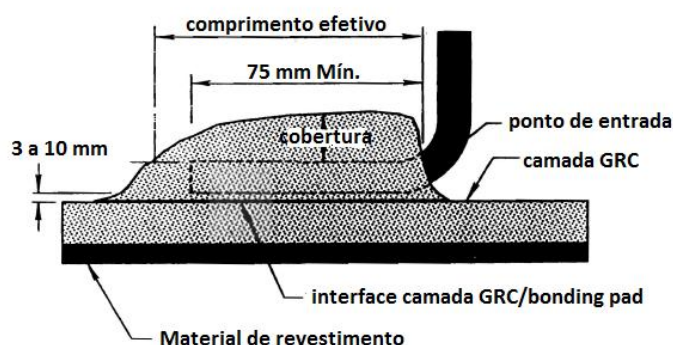


Fig. 4.7 – Detalhe da almofada de ligação (*bonding pad*) [1].

Dimensionamento da estrutura de aço *stud-frame*

A estrutura de aço integrante dos painéis de GRC do tipo *stud-frame* é usualmente constituída por parafusos de aço moldado a frio e tubos estruturais, pré-fabricada, normalmente já com a ancoragem incluída, para fazer ligação à camada externa, e colocada no local (fábrica) onde é produzida a camada de GRC do painel, para futura incorporação, em moldes para a pulverização (*spray up*) do GRC. A pré-fabricação, a fabricação do painel e o manuseamento provocam cargas para as quais normalmente os parafusos/pregos não estão preparados a suportar. A camada externa do painel não deve ser invocada para fornecer de suporte à estabilidade da estrutura de aço. Esta estrutura deve ter rigidez suficiente, perpendicular ao seu plano, para resistir à curvatura que acontece quando a camada de GRC contrai e o quadro de aço não, assim como qualquer curvatura devido a diferenças das propriedades de

alteração de volume de camadas de dois materiais diferentes. A deformação perpendicular ao plano do painel deve ser limitada a $L/240$ (flecha máxima).

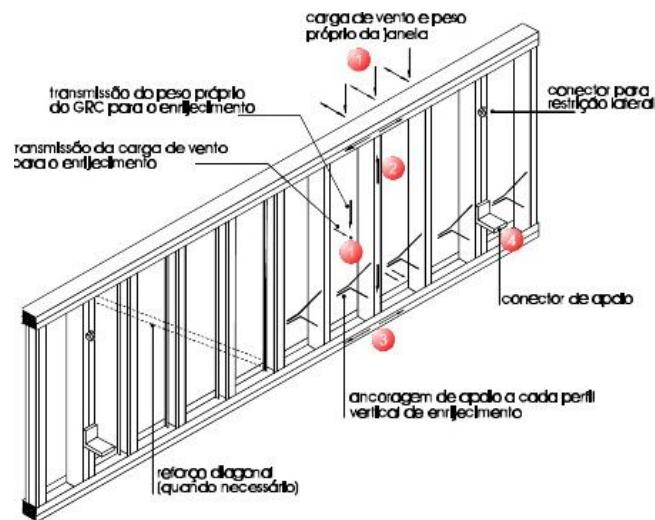


Fig. 4.8 – Método de fixação para painéis de pequenas dimensões [1] [20].

Fixação do painel à estrutura rígida (edifício)

A conceção das fixações à estrutura resistente deve ter em atenção as constantes variações de dimensão que serão encontradas ao longo de toda a vida útil do GRC. Grande parte dos requisitos para a fixação dos painéis ao edifício são semelhantes aos aplicados para painéis de betão pré-fabricado, tendo o cuidado de não restringir os movimentos naturais do painel. Elementos em aço inoxidável e sem teor de ferro na sua composição, devido à oxidação por exposição ao ar, são preferíveis. As fixações são, essencialmente, em ancoragem por cavilhas e ancoragem no tardo, que são sistemas de fixação oculta. Estes tipos de fixação dos painéis GRC fazem parte do sistema de fixação em que as placas retangulares são aplicadas na vertical, com junta de topo, que é a solução mais utilizada. A ancoragem por cavilhas é aplicada para placas de dimensões até cerca de 1m e é realizada com a inserção de quatro espigas lisas metálicas nos bordos, a meia espessura das placas. Os eixos das furações tanto podem ficar posicionados na vertical como na horizontal. As cavilhas são ajustadas a pernos também cilíndricos de maior diâmetro. Uma cavilha é semelhante a um prego, em que o suporte é dado pela resistência transversal ao corte. Se for aplicado em juntas horizontais, a sua função é resistir aos esforços horizontais, mas se for aplicado nas juntas verticais, para além dos esforços horizontais, deve resistir ao peso próprio do revestimento. A cavilha está ligada a um perno, como já foi referido, que, em juntas horizontais, deve suportar o peso próprio do revestimento, e este último deve ser fixado diretamente ao suporte ou ligado a um perfil que estabelece essa ligação. Este sistema é utilizado para revestimentos de fachada leves, como é o caso de painéis GRC. A técnica de ancoragem no tardo, aplicada a revestimentos leves, apresenta duas soluções possíveis: uma consiste em efetuar quatro furações na face posterior das placas com um diâmetro alargado na base do furo (*undercut*), onde são fixados pernos roscados com cabeça ajustável, que exercem uma pressão radial contra as paredes de furação, amarrando as placas de forma eficaz; a outra solução apresenta a realização, no dorso da peça, de rasgos que permitem a colocação de elementos de aço que estabelecem a ligação com a subestrutura de suporte da camada externa. Estas soluções são muito utilizadas para fixação de painéis de espessura reduzida, especialmente quando se pretende uma

fixação oculta e não é possível executar o entalhe para uma ancoragem linear. Os tipos de fixações mencionados são ilustrados na figura 4.9 [1] [5] [21] [11].

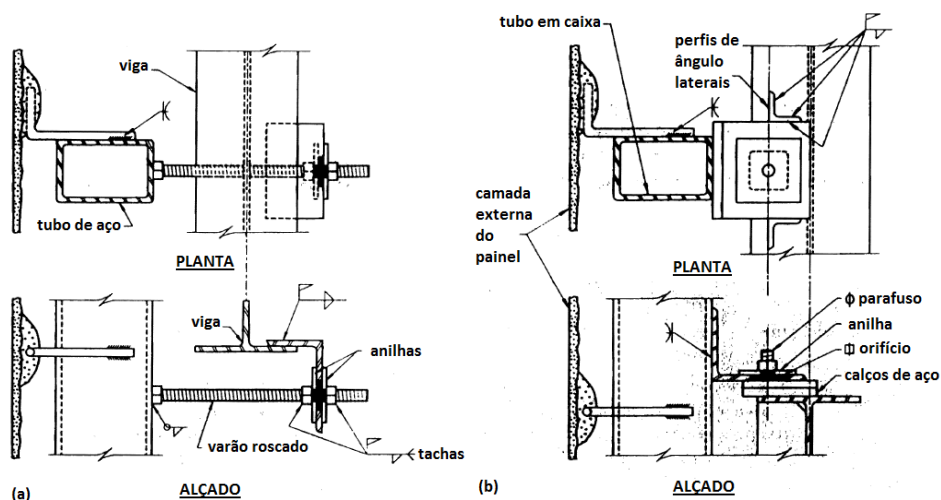
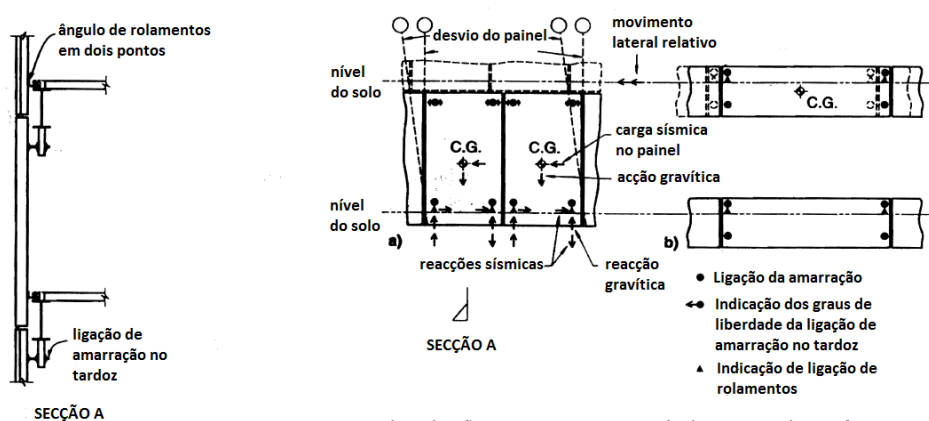


Fig. 4.9 – Fixações no tardo e por cavilhas [1].

No caso deste tipo de painéis (tipo *stud-frame*), as cargas do painel são transportadas através da estrutura de aço para os pontos de ligação do painel. Esta ligação do painel à estrutura é efetuada através de dois pontos num só nível, pois mais de dois pontos é indesejável devido a se obter reações indeterminadas. São integrados mais dois pontos de ligação flexíveis, fixos e no tardo do painel, noutro nível, de modo a atender desvios provocados pelas ações do vento ou sísmica. As figuras 4.10 e 4.11 ilustram as disposições de ligação típicas. Geralmente, ao longo da altura dos painéis de fachada, os pontos de ligação com graus de liberdade situam-se na parte inferior e os de amarração no tardo na parte superior, no topo, do painel, no entanto esta situação pode ser reversível. Assim, o peso do painel é praticamente todo suportado pelas fixações localizadas na parte inferior do painel, como é demonstrado na figura 4.11. A fixação simples de um painel *stud-frame* é ilustrada na figura 4.12 [1].



Nota: todas as ligações suportam cargas perpendiculares ao painel, nesta figura.

Fig. 4.10 – Disposições de ligações típicas [1].

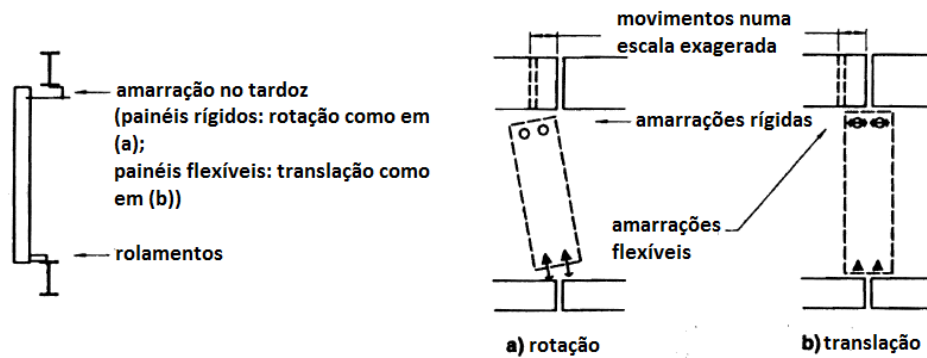


Fig. 4.11 – Comportamento de painéis altos e esbeltos [1].



Fig. 4.12 – Fixação tipo de um painel *stud frame* [5].

4.2.3.2. Acabamento da superfície dos painéis

As técnicas de acabamentos da superfície dos painéis de GRC podem variar consideravelmente entre diferentes fabricantes. Todos os acabamentos a aplicar nos painéis devem ser referidos nas peças desenhadas utilizadas em fábrica e em estaleiro, para a produção dos mesmos.

As amostras dos materiais, ou propriamente dos painéis, devem permanecer disponíveis em fábrica, de modo a ser possível, caso necessário, confirmar que as características projetadas estão a ser mantidas na fase de execução, em obra, sendo aconselhado a sua proteção durante todo o projeto e execução, para prevenir qualquer alteração não desejada do seu aspeto, ao longo do tempo.

É importante ter em consideração as diferentes características de alteração de volume do GRC na escolha de um acabamento superficial, existindo compatibilidade entre os mesmos.

Os acabamentos utilizados em painéis GRC são semelhantes aos usados no betão tradicional, tais como pintura, jato de areia, agregado exposto, pedra natural e vernizes ou camadas cerâmicas.

Para atingir uma superfície exposta de agregados, os excedentes de pasta GRC na superfície do painel devem ser removidos através de processos químicos, com retardadores ou uma espécie de ácido de decapagem, ou métodos mecânicos, tais como jateamento/decapagem abrasiva ou mesmo por polimento e aperfeiçoamento. Podem ser obtidos três diferentes níveis de exposição, a partir dos métodos referidos:

- Exposição leve, na qual apenas a camada mais superficial de cimento e areia é removida de modo a expor a areia e as bordas mais próximas do agregado mais grosseiro. A cor da areia influencia a cor do painel no seu todo;
- Exposição média, em que o agregado mais grosso aparece praticamente na mesma proporção da matriz de cimento;
- Exposição profunda, na qual o agregado mais fino e o cimento foram removidos, prevalecendo o agregado mais grosso na superfície do painel.

Primeiramente, o painel deve ser limpo com diluente, ou outro tipo de solução ácida. A solução deve ser aplicada numa superfície pré molhada, de modo a não ocorrer a penetração do ácido. Após a limpeza do painel com a solução referida, este deve ser lavado com água limpa, para remover vestígios da solução que possam ter ficado na superfície. Durante esta fase de limpeza, todas as superfícies de aço devem ser protegidas, para não serem danificadas.

Para um acabamento liso, tipo cerâmico, são normalmente usados revestimentos plásticos. Metais ou madeiras altamente polidas também produzem o efeito de uma superfície lisa e regular. Por questões de maximização económica, aos painéis que são aplicados estes tipos de acabamentos, não se efetua qualquer tipo de tratamento na sua superfície, após desmoldagem do painel. No entanto, é necessário tomar certos cuidados, tais como ter em atenção o detalhe das arestas e cantos, o escoamento de água e outros problemas relacionados com fatores ambientais, moldes bem construídos, pois caso contrário todas as imperfeições serão realçadas no painel, o agente desmoldante ou descofrante deve ser o mesmo ao longo de toda a produção dos painéis e o método da sua aplicação deve ser o mais semelhante possível em todas as unidades e relativamente à mistura do compósito, a sua granulometria deve apresentar na maioria agregado fino e a cura deve ser uniforme, de modo a retardar a fissuração.

Materiais como pedra natural (granito, mármore, calcário), cerâmica, azulejo, terracota, proporcionam uma grande diversidade de texturas para os painéis de GRC. Mais uma vez, é importante referir que é necessário ter particular atenção à compatibilidade dos materiais no que diz respeito à diferença de expansões e retrações provocadas por variações higrotérmicas. É imperativamente necessário considerar as alterações de volume diferenciais da camada superficial, dependente do tipo de acabamento, e da mistura de GRC. Se ambos materiais não tiverem propriedades físicas semelhantes, o projeto final deve incluir medidas de compensação para qualquer interação dos diferentes materiais.

A aplicação de tintas no acabamento de painéis deve ser usada apenas por razões decorativas. Quando aplicadas em superfícies exteriores, devem ser permeáveis ao vapor de água, mas impermeáveis à água, no estado líquido, como é o caso das tintas com latex ou flúor.

Revestimentos com agregado exposto ou camadas superficiais podem contribuir substancialmente para o aumento do peso do painel e deve ser permitido no projeto do painel, ancoragens, ligações e equipamento de elevação. Com revestimento em pedra, é corrente a utilização de ancoragem mecânica, evitando a ligação ao suporte do GRC.

Os painéis durante o seu transporte e elevação sofrem danos, que têm que ser reparados em obra, processo que deve ser realizado antecipadamente à limpeza final e selagem das juntas dos painéis [1] [5] [22].

4.2.4. DIMENSIONAMENTO DAS JUNTAS

4.2.4.1. Abordagem geral

O dimensionamento das juntas entre painéis de revestimento de GRC é parte integrante do projeto da fachada no seu todo. Normalmente, estas costumam ser o ponto crítico das fachadas uma vez que estão expostas a perturbações ambientais e submetidas a um grande número de solicitações.

Os critérios para o seu dimensionamento incluem o acomodar das tolerâncias de fabricação dos componentes e dos movimentos cíclicos frequentes, e de alta densidade, aos quais os painéis estão sujeitos, a garantia da estanqueidade e contribuição no isolamento termo-acústico da fachada, aspeto e requisitos arquitetónicos, função a que se destina o empreendimento, exposição (orientação e condições climáticas) e aspetos económicos. Com base nestes fatores, as juntas são dimensionadas, definindo o tipo de junta a utilizar, a localização e número de juntas a executar em obra, a sua largura e profundidade, o tratamento arquitetónico e a seleção dos materiais constituintes [1] [2].

4.2.4.2. Tipos de juntas

O tipo de juntas a ser aplicado depende do tipo de painel usado na fachada e da função que desempenham, existindo dois tipos: juntas abertas e juntas seladas., conforme esquema representativo na figura 4.13.

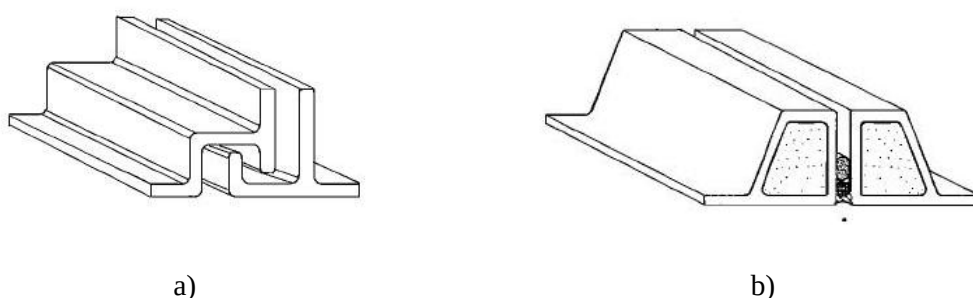


Fig. 4.13 – Representação de uma junta aberta (a) e outra selada (b) [2].

Nas juntas abertas existe uma espécie de descontinuidade na fachada, espaço entre a ligação dos dois elementos que não é preenchido com qualquer tipo de material de enchimento e que permite acomodar as variações dimensionais dos painéis devido às alterações higrotérmicas e também controlar as tolerâncias de fabricação e de montagem. Normalmente, este tipo de juntas é aplicado em fachadas sem exigências a nível térmico e acústico, de resistência ao fogo e estanqueidade, como no caso de varandas [2].

Por outro lado, as juntas seladas têm como funções garantir a estanqueidade, contribuir para o isolamento térmico e acústico da fachada, acomodar as tolerâncias de fabrico e montagem e permitir os movimentos cíclicos frequentes aos quais os painéis estão sujeitos [2].

O princípio de funcionamento deste último tipo de juntas consiste em criar uma região, na fachada, que permita absorver os esforços transmitidos pelos painéis, que são dissipados através da deformação do selante. As solicitações aos quais os painéis estão sujeitos podem provocar a perda de aderência e/ou rotura do selante por cisalhamento e, nestas condições, os selantes elásticos, como os casos do poliuretano e da silicone, tornam-se os mais indicados, portanto, o selante deve possuir capacidade de responder eficazmente a todas estas solicitações [2] [20].

A figura 4.14 mostra o comportamento dos painéis quando submetidos a aumento e diminuição de temperatura, resultando na expansão e retração dos mesmos, respetivamente. É possível observar o comportamento do selante em ambos os casos: quando os painéis aumentam de tamanho, o selante também tem tendência a expandir, no entanto sujeita-se ao movimento contrário e permite o fechamento da junta, compensando, assim, as variações dimensionais do sistema; o contrário ocorre no caso de diminuição de temperatura, para a qual os painéis têm tendência a diminuir, ocorrendo o alargamento da junta, formando-se esforços de tração no material de enchimento [2].

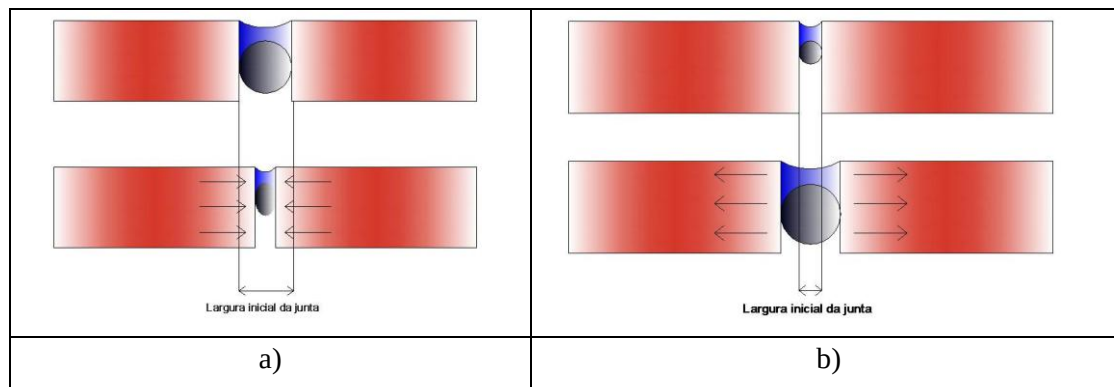


Fig. 4.14 – Representação do movimento da junta em caso de expansão (a) e retração (b) dos painéis [2].

4.2.4.3. Requisitos de desempenho e dimensionamento de juntas seladas

As juntas seladas devem satisfazer vários requisitos de desempenho, relacionados com a sua durabilidade, dissipação de tensões, estanqueidade e estética.

O sistema de selagem de juntas é composto, essencialmente pelo próprio selante, material de enchimento e um primário, conforme as características do selante e das superfícies, para melhorar a aderência [20].

De modo a acomodar adequadamente os elementos referidos, é necessário cumprir certos requisitos, dos quais serão mencionados os principais, seguidamente.

Os painéis devem formar uma aba lateral com, no mínimo cerca de 38 mm, que deve ser adotada, preferencialmente, com 50 mm, como indicado na figura 4.15a, assim como o espaçamento mínimo entre os painéis deve ser de 19 mm (ver figura 4.15b) [1].

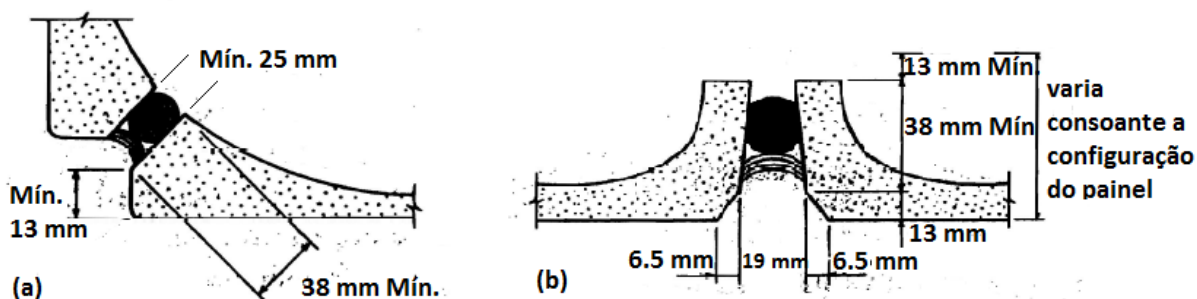


Fig. 4.15 – Detalhe típico de juntas entre painéis GRC [1].

Quando utilizadas nas arestas do edifício (ver figura 4.15a), as juntas a 45° deverão ter, pelo menos, 25 mm de largura para acomodar as deformações acumuladas, os empenamentos e desalinhamentos frequentes nos encontros de planos de fachada [1] [20].

O dimensionamento final das juntas deve ser definido a partir do gradiente térmico (gradiente de temperatura à qual os painéis estarão sujeitos), da capacidade de deformação do selante, da temperatura inicial à qual este será aplicado, das dimensões nominais dos painéis e desvios toleráveis na fabricação [1] [20].

Portanto, juntas subdimensionadas originam tensões de tração capazes de provocar falhas de aderência ou rotura do selante, as peças adjacentes entrarão em contacto e estarão submetidas a esforços mecânicos que podem levar a distorções, fissuração e esmagamentos localizados.

O dimensionamento de juntas seladas consiste, entre outros aspetos, na determinação da largura das juntas, que segue uma metodologia de cálculo. Primeiramente, é determinado o deslocamento térmico do painel (Δl), através da equação (1).

$$\Delta l = \alpha \Delta T L \quad (1)$$

em que

α – coeficiente de dilatação térmica

ΔT – variação da temperatura em relação à aplicação do selante (°C)

Δl – alteração dimensional prevista (mm)

L – comprimento da peça (mm)

Passa-se à seleção do selante, de forma a que a sua capacidade de deformação atenda à relação entre a movimentação do componente (Δl) e a largura da junta (x).

Uma vez que a deformação máxima do selante ($\varepsilon_{\text{máx}}$) é dada pelo quociente entre a alteração dimensional prevista, ou seja, o deslocamento (Δl), e a largura da junta (x), em percentagem, como indica a equação (2), pode-se chegar à expressão traduzida pela equação (3):

$$\varepsilon_{\text{máx}} = \frac{\Delta l}{x} \quad (2) \quad ; \quad \varepsilon_{\text{máx}} = \frac{\alpha \Delta T L}{x} \quad (3)$$

Deste modo, facilmente se deduz a largura da junta, calculada a partir da equação (4):

$$x = \frac{\alpha \Delta T L}{\varepsilon_{\text{máx}}} \quad (4)$$

No cálculo para o dimensionamento das juntas, a variação térmica representa a diferença entre a temperatura de aplicação do selante e os extremos de temperatura típicos locais, de modo a evitar que, caso o selante tenha sido aplicado durante a estação de aquecimento (Inverno), por exemplo, a junta se feche no Verão. A temperatura superficial varia com a estação do ano, a orientação, o grau de exposição e a cor da fachada, e pode ser entre 11° C a 45° C superior à temperatura ambiente exterior [1] [20].

A aplicação de painéis escuros implica um aumento da absorção da radiação solar e a camada de isolamento usualmente aplicada impede a dissipação do calor em direção à face interna, aumentando ainda mais a temperatura superficial. Relativamente à orientação do edifício, as fachadas voltadas para Sul experimentam temperaturas e movimentações superiores, enquanto que com as fachadas voltadas a Norte acontece o oposto.

Para painéis de grandes dimensões, as juntas devem ser maiores, de modo a serem capazes de absorver tolerâncias realistas no que toca à planeza do painel e ao alinhamento das bordas. O manual PCI sugere uma alteração na expressão de cálculo da largura da junta (equação 4) considerando um parâmetro relacionado com as tolerâncias dimensionais dos painéis de GRC (o parâmetro F), obtendo-se, assim, a expressão representada pela equação 5. Por exemplo, para uma junta de 19 mm, deve ser especificada uma tolerância de ± 6 mm [1] [20].

$$x = \frac{\alpha \Delta T L}{\varepsilon m \alpha x} + F \quad (5)$$

O dimensionamento de juntas seladas, segundo as especificações da ASTM C719, refere as seguintes regras:

- os selantes devem acomodar deformações de ± 25 mm da largura original da junta;
- nos casos em que o cálculo resulta em juntas muito grandes, consumindo, assim, quantidades excessivas de selante, proporcionando dificuldades de cura, ou comprometam o resultado estético da fachada, deve-se optar por um selante com maior capacidade de deformação;
- uma vez que a profundidade do selante é função da largura da junta, adota-se, normalmente, profundidade igual a 1/2 da largura para juntas com até 25 mm e para juntas mais largas deve-se utilizar profundidade igual a 13 mm;
- o selante, depois de aplicado, deve ser moldado segundo uma secção que permita bordas espessas combinadas a uma faixa central mais fina, com o objetivo de maximizar a área de aderência, sem prejuízo da flexibilidade [1] [20].

É de referir que, antes da colocação do selante na junta, e depois de aplicação do primário, primeiro material a ter em conta na fase de execução da junta selada, é inserido um limitador de junta, que consiste numa peça de material compressível, normalmente de polietileno ou poliestireno, sendo mais adequado o polietileno, pois apresenta melhor compatibilidade com o selante e o primário e adequa-se mais eficazmente aos movimentos de expansão e contração da junta. Este componente tem como funções permitir controlar mais facilmente a profundidade desejada para a junta especificada em projeto, evitando, deste modo, a utilização de quantidades superiores à necessária de selante, permitir a não adesão do selante à face do limitador de junta (terceira face), proporcionando um comportamento mais adequado do selante a movimentos de expansão e retração, pois quando existe adesão às três faces, podem ocorrer tensões no selante que levem à rotura do mesmo por falha de coesão ou adesão, e finalmente, proteger e apoiar o selante durante a sua aplicação. Na figura 4.16 é possível identificar os principais componentes das juntas seladas [1] [2].

A forma e profundidade do selante aplicado são controladas pela aplicação do material de enchimento com superfície não adesiva, que, após instalação, permanece comprimido a cerca de 30 a 50% do seu tamanho original [1].

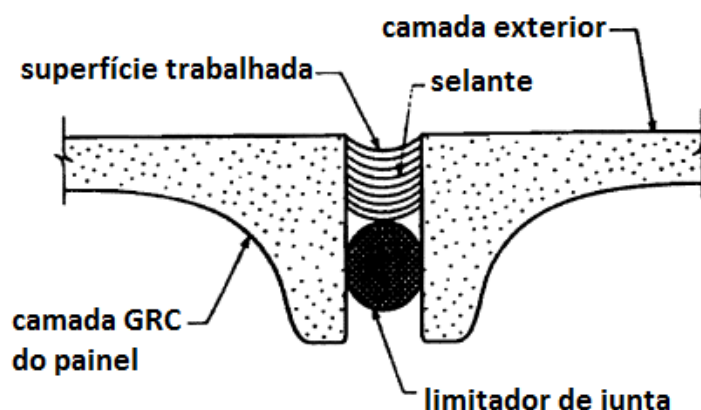


Fig. 4.16 – Detalhe típico de juntas entre painéis GRC [1].

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de reforço de painéis GRC, sistema *stud frame*, é intensamente utilizado desde a década de 80, principalmente nos EUA, mas também na Europa, incluindo Portugal. No entanto, existem algumas patologias associadas a este tipo de sistema, que são necessárias ter em conta durante a fase de projeto.

Os dois princípios básicos para as principais diretrizes de projeto de painéis GRC são: 1) dimensionar o painel de modo que as tensões sejam sempre mantidas abaixo do limite elástico do compósito; 2) permitir a movimentação livre da camada GRC em resposta às alterações ambientais.

Para tal, é importante cumprir certos requisitos, dos quais são referidos alguns, tais como:

1. Trabalhar com painéis lisos, planos, pois a geometria do painel interfere nas tensões geradas no GRC;
2. Não utilizar modulação que resulte em painéis em formato em “L”, pois restringe a deformação do GRC;
3. Esquadrias inscritas num único painel, evitando bordas estreitas e propensas à fissuração;
4. A ligação de esquadrias, peitoris e rufos ou chapeamento de platibanda deve ser feita à estrutura de reforço metálico e não diretamente à camada GRC;
5. Análise das compatibilidades entre revestimento de acabamento e camada GRC, nomeadamente no âmbito das características de alterações de volume de cada material;
6. Aguardar que a maior parcela de retração dos painéis ocorra antes de proceder a instalação, para minimizar a movimentação diferencial em relação à estrutura;
7. Nos painéis com sistema de reforço em aço (*stud-frame*) deve ser garantida a flexibilidade das ancoragens, através da combinação de diâmetro, comprimento efetivo e orientação das barras em “L”; ter em atenção a distribuição homogênea das ancoragens, contemplando o balanço nos bordos do painel, cuja distância deve ser no mínimo 7.5 cm e 30 cm, no máximo; manter um afastamento considerável entre a camada GRC e a estrutura de aço, no mínimo 13 mm; para painéis de canto, devem ser aplicadas estruturas de reforço em aço, independentes; as abas laterais dos painéis, em geral, não devem ter mais de 30 cm.

5

ESTUDO DO CASO

5.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROBLEMA

Neste trabalho pretende-se acompanhar o projeto do Centro de Investigação e Desenvolvimento do IPCA (Instituto Politécnico do Cávado e do Ave), no contexto do revestimento das fachadas com painéis GRC. Uma vez que se pretende pormenorizar ao máximo todas as fases do projeto, este foi feito desde a fase de produção dos painéis até à sua implementação em obra, passando por uma análise do projeto destes elementos. Posteriormente, foi feita uma análise do seu desempenho na construção em causa. Para finalizar, será proposta uma solução alternativa à solução aplicada no projeto, e efetuada a sua análise comparativa.

Na parte final deste capítulo, é realizado um estudo de uma solução alternativa que visa minimizar o fator económico da solução inicialmente estudada. Tal solução, proposta para estudo ao autor desta dissertação, foi devidamente analisada seguindo os mesmos parâmetros da solução efetivamente implementada e uma comparação convenientemente ponderada foi posteriormente obtida.

Apesar de se tratar de um edifício novo, e não de uma obra de renovação, uma vez que o revestimento das fachadas do edifício através dos painéis de GRC é aplicado posteriormente à fase de conclusão das alvenarias, este caso enquadra-se no tema deste trabalho, no âmbito de uma obra de renovação.

O edifício do projeto em estudo localiza-se em Barcelos, no Campus do IPCA. A figura 5.1 representa uma fotomontagem da obra em questão, na qual são visíveis as fachadas revestidas pelos painéis de GRC.



Fig. 5.1 – Edifício Centro de Investigação e Desenvolvimento do IPCA (fotomontagem).

As paredes de fachada do edifício são caracterizadas como fachadas ventiladas, isto é, a envolvente vertical do edifício é composta por, essencialmente, três componentes ou subsistemas: o revestimento

ou camada exterior; uma subestrutura auxiliar que suporta o revestimento; e uma cavidade ou caixa-de-ar incorporando, eventualmente, o isolamento térmico. Esta solução insere-se numa das diferentes estratégias para evitar a penetração da humidade. A caixa-de-ar da fachada ventilada é dimensionada de forma a permitir a remoção do ar aquecido da zona inferior da caixa-de-ar através do chamado efeito chaminé. Dessa forma, as pequenas quantidades de água infiltradas ou condensadas na caixa-de-ar são evaporadas pela ventilação da mesma, como exemplifica a figura 5.2. A caixa-de-ar é responsável pelo desempenho higrotérmico da envolvente, através de um fluxo constante de ar, permitindo assim: interrupção da capilaridade, drenagem por gravidade e remoção da humidade [11].

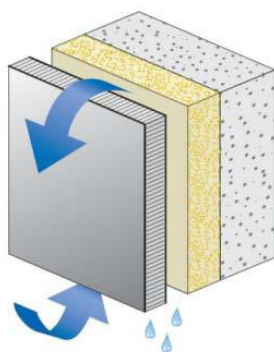


Fig. 5.2 – Funcionamento da fachada ventilada [11].

O corte representado na figura 5.3 mostra as camadas constituintes das fachadas ventiladas do edifício deste estudo, sobre as quais é aplicado o revestimento em painéis de GRC (já incluído na figura).

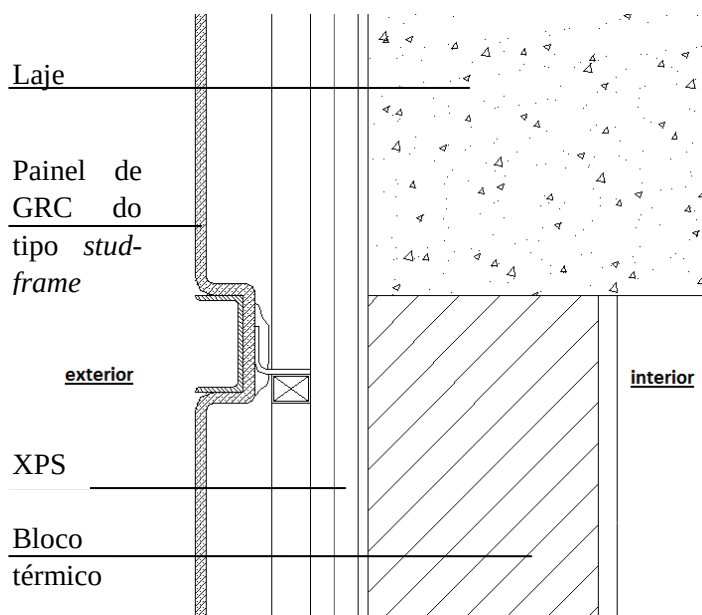
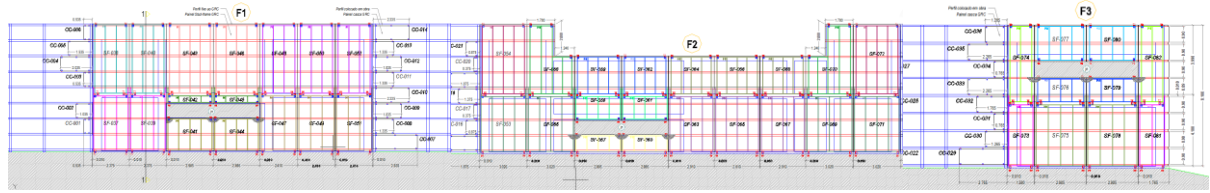


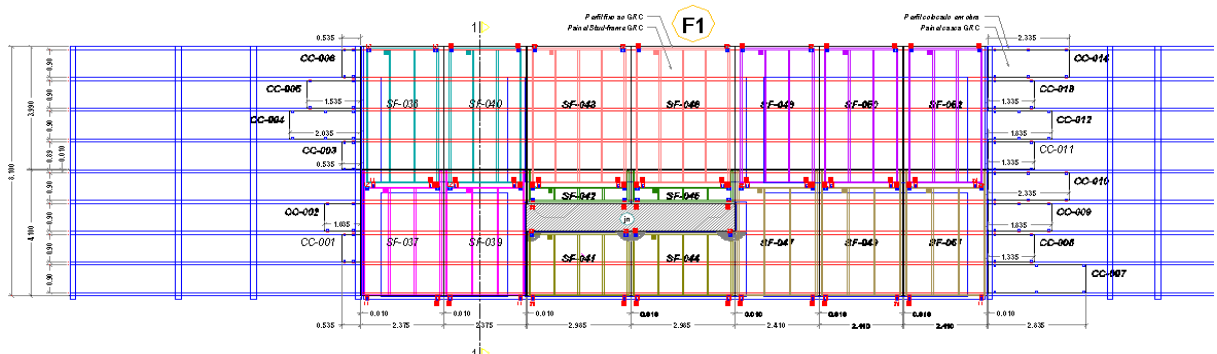
Fig. 5.3 – Corte representativo da fachada ventilada do edifício.

Os painéis de GRC são implementados apenas nas fachadas orientadas a Sul e Poente, essencialmente por questões estéticas e arquitetónicas. As figuras 5.4 e 5.5 representam respetivamente, os alçados poente e sul, dos quais fazem parte as fachadas numeradas de 1 a 4 (F1, F2, F3 - tal como pormenorizado nas Figuras 5.4b, 5.4c e 5.4d - e F4). De salientar a aplicação de painéis de GRC do

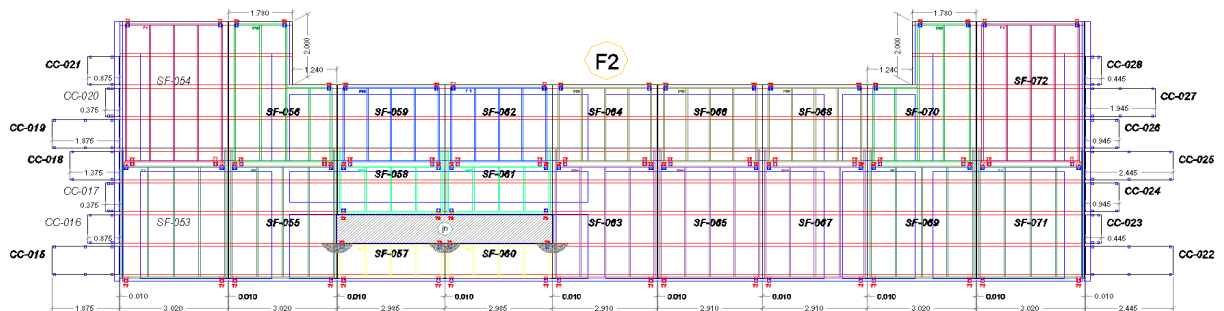
tipo casca em certas zonas da fachada Sul, mas, uma vez que as áreas correspondentes são zonas exteriores, o estudo vai debruçar-se apenas sobre os painéis de GRC do tipo *stud-frame*, aplicados no revestimento da envolvente de zonas interiores do edifício.



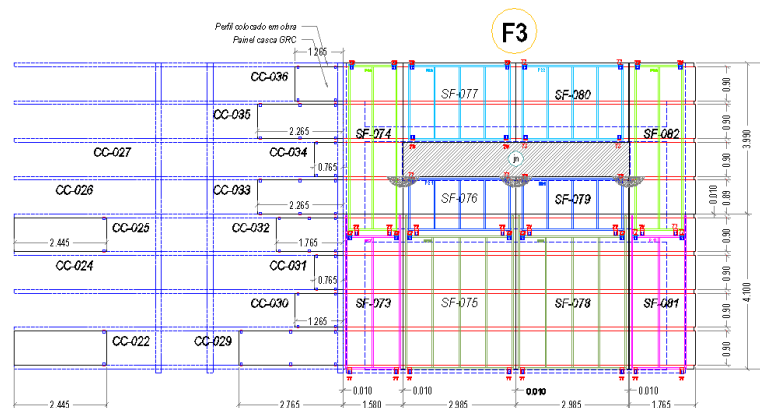
a) Panorâmica geral do alçado poente



b) Pormenor da fachada F1



c) Pormenor da fachada F2



d) Pormenor da fachada F3

Fig. 5.4 – Alçado Poente (fachadas F1, F2 e F3).

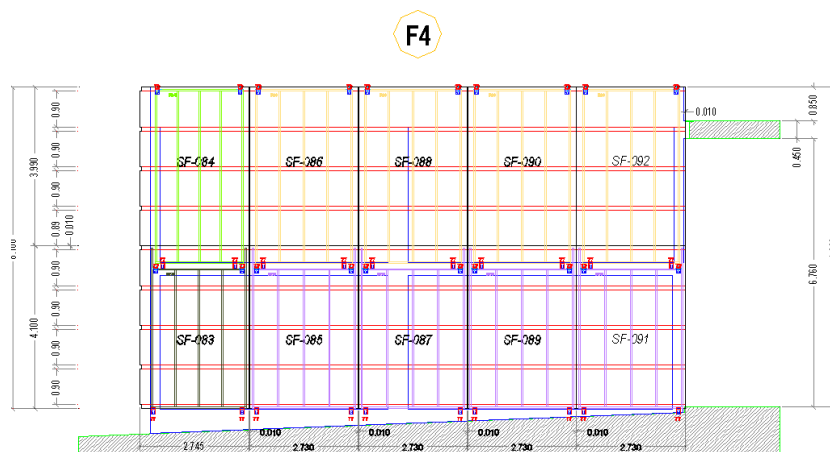


Fig. 5.5 – Alçado Sul (fachada F4).

5.2. PAINÉIS DE GRC

Os painéis de GRC aplicados na obra em estudo, no revestimento das fachadas do edifício, são painéis do tipo *stud-frame*. Toda a produção e pré-fabricação destes elementos foi acompanhada na fábrica da empresa que ficou a cargo de todo o processo relacionado com os painéis nesta obra. Convém assinalar o facto de ser uma das principais produtoras exclusivas de GRC em Portugal, desde a pesagem da mistura de GRC até a desmoldagem dos painéis e respetivo armazenamento. Posteriormente, foi acompanhada a aplicação na obra dos painéis pré-fabricados, assistindo aos principais detalhes e desafios deste processo de montagem.

5.2.1. DOSAGEM E MISTURA

A mistura de, essencialmente, pasta de cimento, agregados e água, para obtenção do GRC é efetuada na fábrica, sendo posteriormente adicionada a fibra de vidro, no processo de projeção direta (*spray-up*). Este processo consiste em manter a pasta de cimento e a fibra de vidro separadas, entrando apenas em contacto na superfície do molde, no momento da projeção.

Como se trata de um processo de pré-fabricação e, portanto, sequencial, é utilizada uma mistura tipo. A quantidade usada para a produção de painéis foi de 120 kg de mistura, constituída por cimento Portland branco, do tipo CEM I 52,5 R [34], e areia com 99% de sílica na sua composição. A pesagem da mistura é realizada automaticamente, na balança representada na figura 5.6. É efetuada uma pré-mistura em balde, onde caso existisse necessidade, seriam nesta fase aplicados corantes (o que não sucedeu neste caso). Seguidamente, a mistura é feita na misturadora (ver figura 5.7), sem adição de polímeros. Na mistura utilizada para a produção de GRC foram ainda aplicados alguns aditivos, cuja composição é desconhecida.



Fig. 5.6 – Realização da pesagem da mistura (balança automática).



Fig. 5.7 – Misturadora.

5.2.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A fabricação dos painéis de GRC contempla várias etapas, desde a montagem do molde até à projeção do GRC.

O molde (cofragem do painel) é montado sobre as mesas disponíveis na fábrica, para a produção dos painéis. Estas mesas têm dimensões de $7,0 \times 3,4 \text{ m}^2$ e os painéis rondam os $3,00 \times 4,25 \text{ m}^2$, variando entre si, pois não têm todos exatamente as mesmas dimensões. De facto, considerando as dimensões, existem 25 variedades de painéis, sendo o mais reduzido de dimensões próximas de $3,00 \times 0,47 \text{ m}^2$ (correspondente aos painéis SF-042 e SF-045, constituintes da fachada F1, orientada a poente) até ao maior de $2,72 \times 4,37 \text{ m}^2$ (correspondente aos painéis SF-054 e SF-072, que fazem parte da fachada F2, do alçado poente). A sua espessura é de 16 cm no total, em que 1,5 cm corresponde à camada de GRC e 8 cm à estrutura de aço *stud-frame*. Na face exterior do painel, aparecem encastrados uns perfis de ferro UPE 100, de espessura 5 cm, que fazem parte do molde, tal com ilustrado na figura 5.8. A figura 5.9 demonstra a montagem do molde de um painel, na qual é possível ver os referidos perfis.



Fig. 5.8 – Perfis UPE 100, integrantes da face dos painéis.



Fig. 5.9 – Montagem do molde do painel.

Após a montagem do molde, as juntas entre os perfis e a mesa são preenchidas com uma camada de silicone, para posteriormente facilitar a desmoldagem do painel. Seguidamente, a mesa é limpa, removendo o pó mais superficial, com o auxílio de diluente (ver figura 5.10). No final desta etapa de limpeza, é aplicada uma solução descofrante (descofrante destinado a betão arquitetónico) como auxiliar na fase posterior de desmoldagem, como é apresentado na figura 5.11.



Fig. 5.10 – Limpeza da mesa, após montagem do molde.



Fig. 5.11 – Após aplicação do descofrante. De notar que a cor amarela deve-se apenas ao facto de se tratar de outra mesa.

Neste momento, é possível iniciar o processo de projeção do GRC sobre o molde. Este método de projeção direta (*spray-up*) e concêntrica é realizado com o auxílio da pistola de projeção concêntrica, que tem a particularidade de efetuar o corte das fibras de vidro dentro de um tambor incorporado em tamanhos uniformes, que posteriormente serão projetadas juntamente com a argamassa no molde por ar comprimido. A argamassa recebida, que se encontra num depósito com ligação à pistola, já vem previamente preparada da misturadora. As fibras de vidro, de 35 mm de comprimento, devem ficar dispostas na direção horizontal. A projeção é feita com duas passagens horizontais e duas verticais, de modo a obter uma espessura final da camada de 15 mm. Na figura 5.12 é possível identificar os detalhes deste método.



Fig. 5.12 – Produção dos painéis por projeção direta (*spray-up*).

Durante a projeção direta, procede-se, simultaneamente, ao alisamento com rolo e espátula, devido à presa rápida do betão, de modo a obter uma camada uniforme e homogénea, conforme se pode ver na figura 5.13.

De seguida, é colocada a estrutura de reforço de aço, o *stud-frame* propriamente dito (ver figura 5.14a). A ligação da estrutura de aço à camada de GRC do painel é feita através da designada almofada de ligação (*bonding pad*), mencionada no capítulo anterior, tal como é possível ver na figura 5.14b, por projeção de GRC extra. Esta almofada de GRC adicional faz a solidarização entre a

ancoragem da estrutura de aço (barras em “L” soldadas à estrutura) e a camada de GRC do painel. Nas figuras 5.15 é possível ver o pormenor das barras em “L” soldadas ao stud-frame.



Fig. 5.13 – Alisamento com rolo e espátula.



a) Colocação da estrutura metálica *stud-frame*



b) Projeção de GRC extra (*bonding pads*)

Fig. 5.14 – Colocação do *stud-frame* e ligação à camada externa de GRC do painel.



Fig. 5.15 – Pormenor da ancoragem do *stud-frame*.

É removido o GRC em excesso nos bordos do painel, com uma pá, deixando assim realizar-se a cura para posteriormente ser desmoldado. Enquanto isto, passa-se para o fabrico do painel seguinte e assim decorre a pré-fabricação.

A descofragem/desmoldagem dos painéis é realizada cerca de 24 horas após a projeção direta e montagem do *stud-frame*. Com o auxílio de um guindaste e umas cintas, que se prendem à estrutura *stud-frame* do painel, este é erguido (ver figura 5.16a) e deslocado para colocação nos cavaletes (figuras 5.16b e 5.16c), posteriormente, onde permanecerá armazenado (figura 5.16d) até ser transportado para obra. As tiras de silicone aplicadas entre os perfis integrantes do painel e a mesa são removidas ao desmoldar o painel, como se pode ver na figura 5.17.



a) Amarração das cintas ao painel



b) Elevação do painel



c) Deslocação do painel para colocação nos cavaletes



d) Colocação do painel nos cavaletes

Fig. 5.16 – Sequência de imagens que retratam a descofragem dos painéis.

Os painéis ao serem erguidos durante a fase de desmoldagem são pesados através de uma balança integrada no guindaste. O seu peso ronda 600 a 800 Kg, na sua totalidade, isto é, camada de GRC juntamente com a respetiva a estrutura de aço, *stud-frame*. Estas são portanto, soluções bastante leves, atingindo à volta de 50 Kg/m². Seguidamente, são identificados, e etiquetados, e colocados em cavaletes, onde são realizados os acabamentos do painel e submetidos a uma verificação final (ver figuras a) e b) de 5.18). A nível de acabamento, é aplicado um hidrorrepelente Sika Gard 700 S (ver anexo A2) sobre o painel.

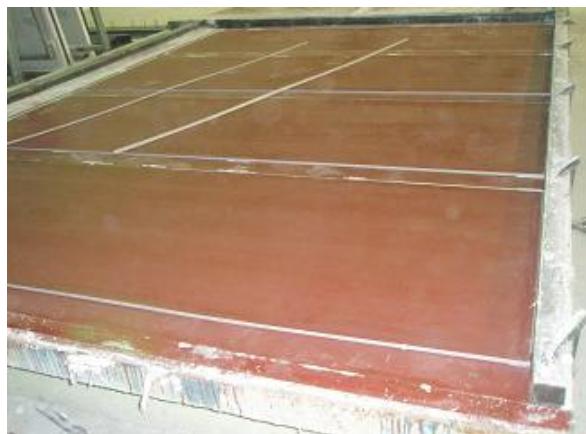
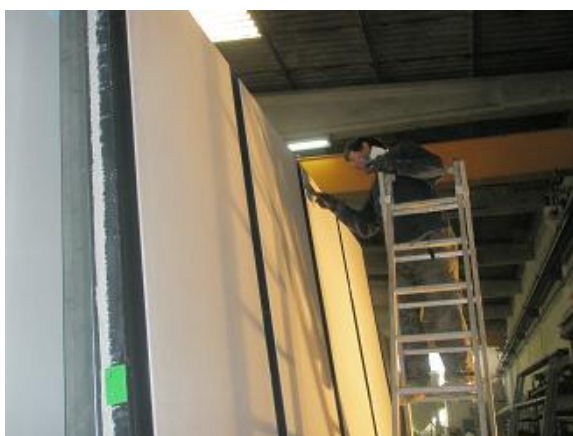


Fig. 5.17 – Aspeto da mesa após descofragem dos painéis (pormenor das tiras de silicone removidas).



a) Execução dos acabamentos dos painéis



b) Pormenor do perfil de um painel, identificado e etiquetado

Fig. 5.18 – Acabamentos e pormenorização dos painéis.

Após descofragem de um painel, é feita a limpeza da mesa para montagem do molde do painel seguinte, iniciando assim um novo ciclo de produção.

Os painéis são, como já foi referido, armazenados em cavaletes (ver figura 5.19), suportados e amarrados pela parte estrutural do painel, não submetendo a face do painel a qualquer tipo de carga. Seguidamente, são empilhados com cuidados especiais pois, na sua fase de maturação inicial, os painéis encontrarem-se muito sensíveis a deformações. Posteriormente, são transportados para a obra, de tal forma que a sua posição de carga e ligações de segurança introduzam apenas esforços complanares moderados. Os cuidados a ter no armazenamento dos painéis na fase de pré-fabricação também se aplica ao longo do armazenamento em obra, de modo a que estes não sejam danificados.



Fig. 5.19 – Armazenamento dos painéis na fase de pré-fabricação.

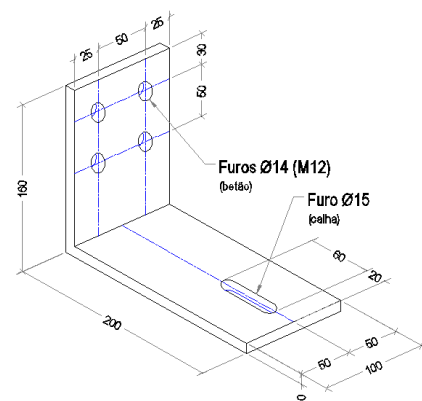
5.2.3. MONTAGEM DOS PAINÉIS NA OBRA

Tal como já foi mencionado anteriormente, no Capítulo 2, a montagem eficiente dos painéis em obra será resultado do planeamento de todas as fases e entre os intervenientes desta operação, nomeadamente entre o produtor, transportadores, operadores da elevação e instalação dos painéis e o empreiteiro geral.

A primeira etapa deste processo incidiu sobre a aplicação das fixações de ligação dos painéis à estrutura rígida. Os painéis possuem quatro pontos de apoio: dois na parte superior e dois na base. Para a aplicação das fixações superiores, foram realizados rasgos na camada de isolamento exterior de poliestireno extrudado (XPS), colada à fachada, de modo a que as cantoneiras de fixação fiquem embutidas nesta camada. A ancoragem das cantoneiras de fixação à fachada é feita através de apenas um parafuso M16, aparafusado num furo de 18 mm de diâmetro (ver Anexo A1). A figura 5.20 representa uma amostra do perfil das fixações superiores, correspondentes à cantoneira tipo 2 (5.20a), incluída nas peças desenhadas do projeto dos painéis de GRC, cujo pormenor é apresentado também na mesma figura (5.20b). O número de furações dos perfis foi alterado após o projeto, daí a divergência entre a imagem da cantoneira aplicada em obra e o desenho de projeto.



a) Amostra da cantoneira tipo 2 (fase de execução)



b) Desenho de pormenor da cantoneira tipo 2 (fase de projeto)

Fig. 5.20 – Cantoneira tipo 2 (fixações superiores).

Na figura 5.21 é apresentada uma das fachadas do edifício com as fixações executadas.

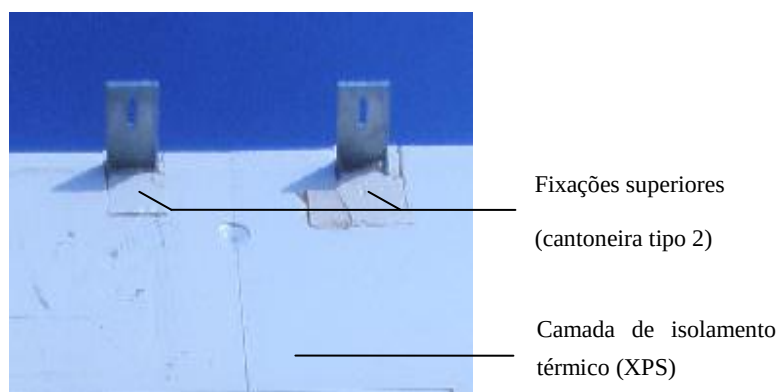
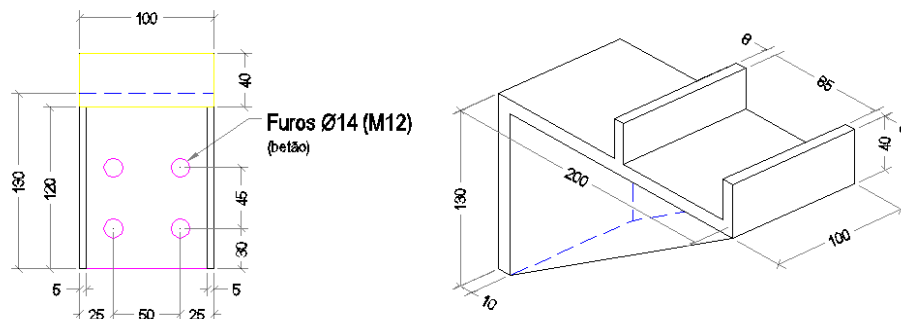


Fig. 5.21 – Cantoneiras tipo 2 (fixações superiores) aplicadas na fachada.

Os painéis encontram-se ancorados à estrutura através de mais dois pontos, na sua base. As fixações inferiores são ancoradas à fachada pelo mesmo método descrito anteriormente para as superiores e representadas pelas figuras 5.22 e 5.23, nas quais é possível observar o pormenor do perfil correspondente, designado em projeto por cantoneira tipo 1, e a sua aplicação na obra, numa das fachadas, respetivamente. Mais uma vez, a diferença no número de furações entre o desenho de projeto e a amostra do perfil deve-se ao facto de ter ocorrido a alteração, após o projeto, para apenas um furo ($\phi 18$), com aplicação de um parafuso M16. A ficha técnica, da empresa Hilti, com os cálculos correspondentes ao parafuso aparece em anexo (ver anexo A1).



a) Desenho de pormenor da cantoneira tipo 1 (fase de projeto)



b) Amostra da cantoneira tipo 1 (fase de execução)

Fig. 5.22 – Cantoneira tipo 1 (fixações inferiores), em perspetivas diferentes.



Fig. 5.23 – Cantoneiras tipo 1 (fixações inferiores) aplicadas na fachada.

A ancoragem das cantoneiras da base dos painéis posicionados mais inferiormente na fachada é feita diretamente à fachada, sem abranger a camada de XPS. Na base destes apoios são colocados calços (ver figura 5.24) para o nivelamento na colocação dos painéis, de modo a ficarem todos alinhados entre eles.

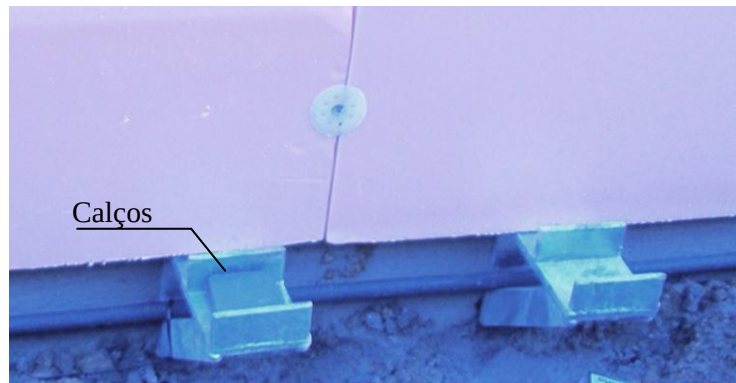


Fig. 5.24 – Cantoneiras tipo 1 (fixações inferiores) com a colocação de calços.

Num corte da fachada F1 do edifício, orientada a poente, ver figura 5.25, é possível observar a disposição das fixações dos painéis à estrutura, na qual são destacados três pormenores para melhor visualização, representados pelas figuras 5.26 e 5.27.

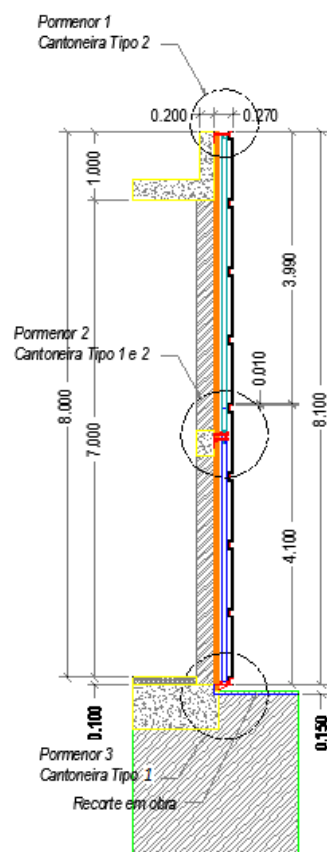


Fig. 5.25 – Corte da fachada F1.

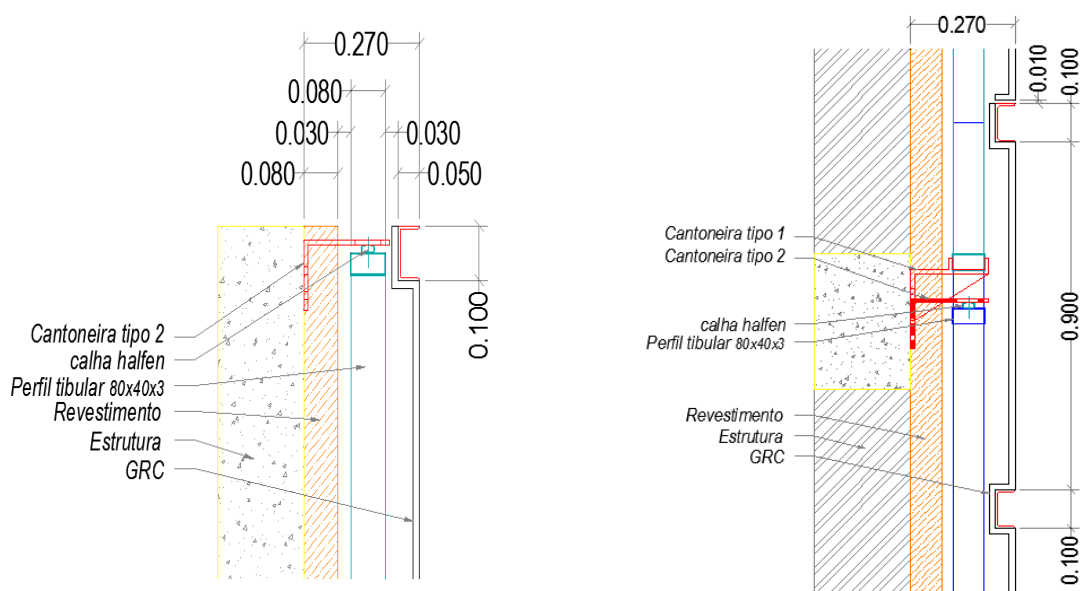


Fig. 5.26 – Pormenores 1 e 2.

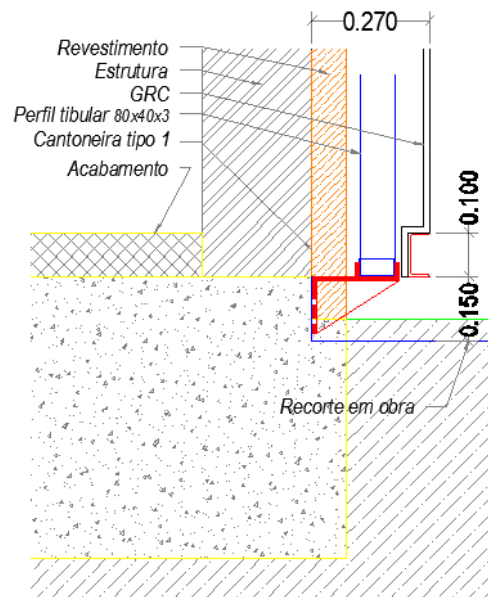


Fig. 5.27 – Pormenor 3.

Na semana seguinte à colocação de todas as fixações, dá-se início à montagem propriamente dita dos painéis. Estes, inicialmente, encontram-se armazenados nos cavaletes, mas agora na obra, depois de terem sido transportados da fábrica onde foram produzidos. Posteriormente, são erguidos e deslocados até à fachada na qual são implementados com o auxílio de uma grua-torre disponível na obra.

A montagem dos painéis inicia-se pela fachada orientada a poente, encaixando-os nos perfis de fixação, efetuando a ligação à estrutura de aço *stud-frame*, realizando, deste modo, a ancoragem dos painéis à estrutura rígida (edifício). No caso das fixações superiores, é apertado um parafuso M16 autoblocante, que faz ligação ao *stud-frame* através do furo $\phi 18$, existente na cantoneira tipo 2. Na figura 5.28 é possível observar o detalhe de uma das fixações superiores, que representa a ancoragem de um painel de topo, vista da cobertura do edifício.

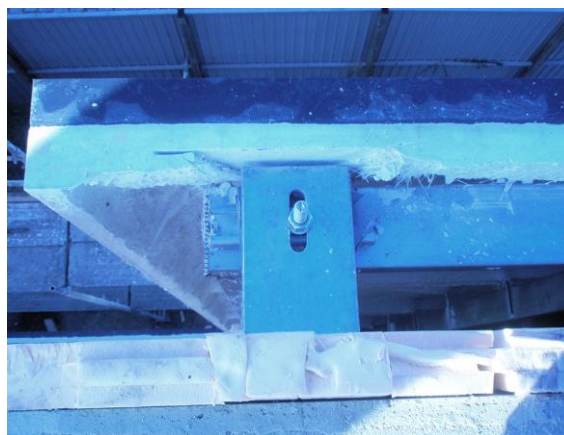


Fig. 5.28 – Ancoragem do painel à estrutura- detalhe da fixação superior.

Quanto às fixações inferiores, correspondentes às já descritas cantoneiras tipo 1, os painéis apoiam sobre a base de abertura da cantoneira, na qual são colocados os calços para nivelamento dos painéis, conforme se pode ver na figura 5.29.



Fig. 5.29 – Ancoragem do painel à estrutura- detalhe da fixação inferior.

A sequência de imagens da figura 5.30 (leitura na horizontal) pretende demonstrar a montagem de um dos painéis *stud-frame*, na fachada orientada a poente, desde o momento em que foi erguido até à colocação na fachada, através da grua-torre existente no estaleiro da obra.



Fig. 5.30 – Sequência de montagem de um painel.

A área de fachada revestida com painéis de GRC totaliza cerca de 500 m², utilizando 56 painéis, aplicados nas fachadas orientadas a poente e sul do edifício.

A interrupção do painel não é realizada na laje (espessura da laje 0,30 m), isto é, a junta do painel não coincide com a zona da laje do edifício, caso contrário seria necessário introduzir uma junta adicional, situação que não agradaria ao arquiteto deste projeto. Alguns painéis possuem a estrutura *stud-frame* saliente, prolongada, da camada de GRC e outros reentrante, de modo a efetuar o encaixe e apoio entre estes. Na figura 5.31 é possível observar esta ocorrência. De facto, os painéis armazenados nos cavaletes do lado esquerdo possuem o *stud-frame* prolongado e os do lado direito, que se observam pelo tardo do painel, recuado.



Fig. 5.31 – Pormenor de alguns painéis em que se pode observar a saliência ou reentrância do *stud-frame*.

Relativamente à fixação do painel à estrutura rígida, é feita uma observação na medida em que o painel é fixado através de quatro pontos (dois na parte superior e dois na parte inferior do painel), sendo as fixações inferiores, pontos de fixação com graus de liberdade, que suportam principalmente o peso próprio dos painéis e as superiores, fixas, têm como função fixar o painel devido a ações do vento ou sísmicas, que não são aplicadas neste caso. A ação do vento, apesar da sua consideração ser muito importante no dimensionamento dos painéis de GRC, é considerada para as fixações dos painéis, mas desprezada no dimensionamento dos painéis devido a tratar-se de um edifício de reduzida altura, apenas com dois pisos. Poderá surgir a questão: então porque não prescrever apenas 3 pontos de fixação para cada painel? É necessário introduzir mais um suporte, obtendo três fixos e um deslizante, de forma a não comprometer a linearidade da fachada.

Quanto à duração do período de montagem dos painéis na obra, são contabilizados os trabalhos desde a aplicação das fixações até aos relacionados com a própria aplicação dos painéis nas fachadas do edifício. Foram dedicados dois dias de trabalho para a aplicação das fixações (dias 22 e 23 de Novembro), dando-se início à montagem dos painéis no dia útil seguinte (segunda-feira, dia 26/11). A previsão do período de montagem dos painéis era de 15 dias, no entanto, por razões alheias à vontade dos participantes, este intervalo de tempo prolongou-se mais um pouco.

Após conclusão da montagem de todos os painéis, estes devem sofrer um tratamento/acabamento na obra, pois devido ao transporte, elevação e aplicação os painéis sofrem desgaste e alguns danos que são necessários reparar.

5.3. ANÁLISE DA SOLUÇÃO DE FACHADA IMPLEMENTADA NO PROJETO DO EDIFÍCIO

As fachadas do edifício orientadas a poente e sul são revestidas por painéis do tipo *stud-frame*, como já foi mencionado anteriormente. Esta análise vai incidir sobre uma destas fachadas, em termos de:

1. Geometria e modulação dos painéis;
2. Sistema de reforço (*stud-frame*) e fixações;
3. Juntas dos painéis;
4. Desempenho higrotérmico;
5. Acabamentos e pormenorização final;
6. Vantagens e desvantagens da solução.

Centrando a atenção na fachada F1, integrada na fachada do edifício orientada a poente, serão, seguidamente, caracterizados e descritos os itens acabados de referir.

5.3.1. GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS

O painel adotado para o revestimento das fachadas do edifício não apresenta a face completamente plana, possui reentrâncias referentes às zonas dos perfis UPE 100, integrados na sua face. Se estas formas fossem em GRC, poderia ocorrer a formação de zonas de flexão e para tal ser necessário o dimensionamento de métodos de reforço adequado. Uma vez que se trata de perfis de ferro, este problema não se deverá verificar, devido à sua elevada resistência. Este aspeto foi questionado na medida em que se os perfis integrados teriam sido dimensionados como método de reforço nas zonas de reentrância dos painéis, mas de facto trata-se apenas de um pormenor em termos arquitetónicos e estéticos. No caso de painéis cujo perfil é mais complexo, as ancoragens tornam-se mais longas, o que pode ser um problema na medida em que podem-se tornar mais instáveis sob a ação do vento. Como o edifício em estudo possui apenas dois pisos, a ação do vento não é relevante para o projeto dos painéis, tendo sido desprezada.

Quanto à localização das aberturas na fachada, esta possui um vão, que se repete nas zonas F2 e F3, da fachada orientada a poente, com as dimensões 5,97x0,90 m², e os painéis que fazem ligação ao vão apresentam dimensões mais reduzidas que os restantes painéis, de modo a dar prioridade à continuidade das juntas horizontais, sem serem interrompidas, como se pode ver na figura 5.32.

A ligação dos painéis aplicados superiormente e inferiormente ao vão (painéis SF-042, SF-045 e SF-041, SF-044, respetivamente) é realizada através da soleira, em chapa de alumínio lacado, na cor RAL 7021, conforme se pode observar no pormenor representado na figura 5.33.

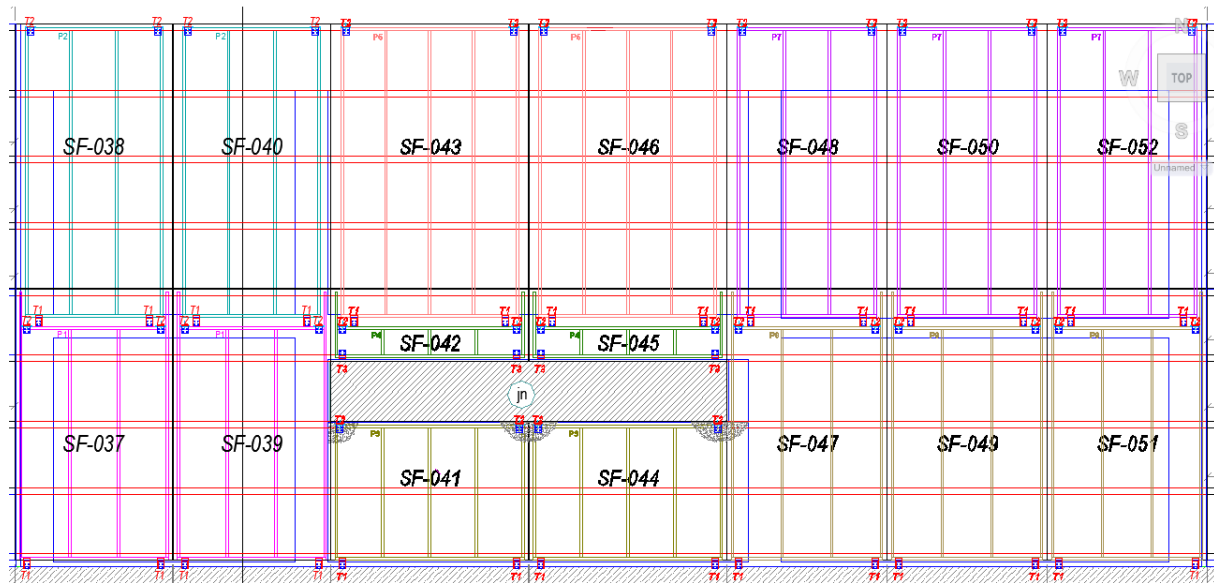


Fig. 5.32 – Posicionamento dos vãos na fachada.

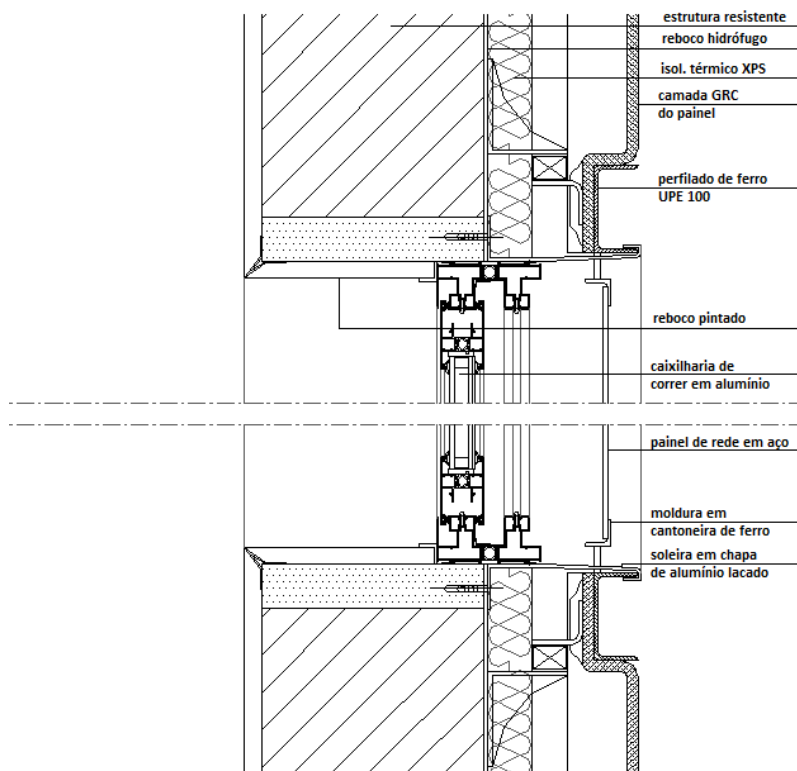


Fig. 5.33 – Pormenor ligação vão-painel.

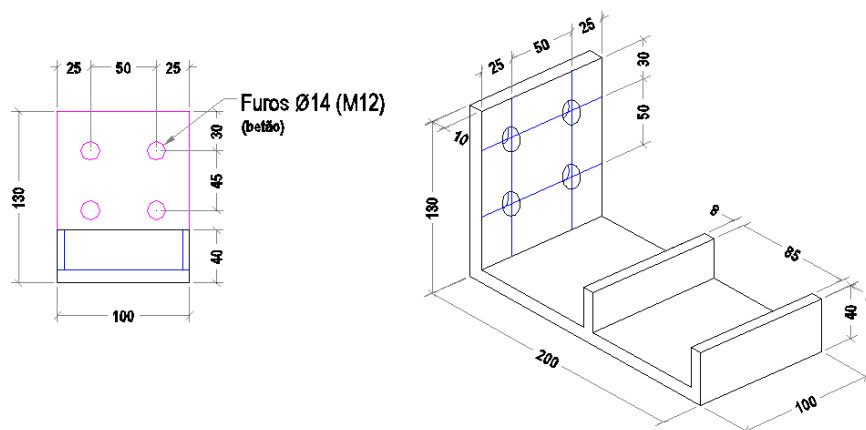
5.3.2. SISTEMA DE REFORÇO DO PAINEL (STUD-FRAME) E FIXAÇÕES

A estrutura de reforço (*stud-frame*) é fabricada em aço galvanizado a quente e posteriormente ancorada à camada de GRC, após a conclusão da projeção direta do painel na sua totalidade, através

de projeção extra de GRC, formando as almofadas de ligação (*bonding-pads*). A ancoragem já está incluída na estrutura, como se pode observar na figura 5.15, na secção 5.2.2.

Relativamente às fixações, que fazem a ancoragem do painel à estrutura, a caracterização dos perfis e parafusos de ligação já foi anteriormente descrita, na secção 5.2.3 deste capítulo. A ancoragem é realizada no tardo do painel, através de quatro pontos de fixação (dois no topo e dois na base), pela ligação da estrutura stud-frame à estrutura rígida, neste caso ao bloco de betão.

O perfil de fixação dos painéis posicionados acima dos vãos, correspondente à ancoragem da base do painel, é uma cantoneira designada em projeto por cantoneira tipo 3 e apenas aplicada nesta situação. A figura 5.34 representa este perfil, apresentando o pormenor de projeto (a) assim como a amostra usada nas fixações (b). É de salientar, mais uma vez, que o número e diâmetro de furações foram alterados após o projeto, por questões de resistência.



a) Desenho de pormenor da cantoneira tipo 3 (fase de projeto)



b) Amostra da cantoneira tipo 3 (fase de execução)

Fig. 5.34 – Cantoneira tipo 3 (fixações inferiores na ligação vão-painel).

5.3.3. JUNTAS DOS PAINÉIS

As juntas entre os painéis da solução adotada são juntas abertas, ou seja, existe um espaço entre a ligação de dois elementos que não é preenchido com qualquer material de enchimento (ao contrário do que acontece no caso das juntas seladas). A existência deste espaço livre permite acomodar as variações dimensionais dos painéis devido a alterações higrotérmicas. Na fase de projeto, as juntas

foram dimensionadas com 1 a 1,5 cm de abertura, no entanto, na fase de execução, na montagem dos painéis em obra, estas foram reduzidas até 4 mm. A justificação para este facto fornecida pelo Engenheiro presente na obra foi que como não é aplicado qualquer tipo de selante nas juntas (juntas abertas) e por motivos estéticos, estas foram apertadas até à espessura referida. Analisando este aspeto, é importante questionar se estas aberturas serão suficientes para o movimento livre do painel, no âmbito da expansão do mesmo, pois, como já foi referido algumas vezes ao longo deste trabalho, o GRC sofre expansões e retrações devido a alterações ambientais, nomeadamente temperatura e humidade. As recomendações do manual do PCI focam-se no tipo de juntas seladas, sugerindo a dimensão mínima para as juntas entre painéis de 20 mm. Apesar de a junta executada ser bastante inferior a este valor de referência, como estamos perante juntas abertas, não deverá ser um problema para o desempenho da fachada.

5.3.4. DESEMPENHO HIGROTÉRMICO

5.3.4.1. Definições

A análise térmica das duas fachadas revestidas com painéis de GRC (fachadas orientadas a sul e poente) vai incidir essencialmente no cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) das mesmas e na análise de existência de pontes térmicas.

Por definição, com base no Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril de 2006 sob a designação de Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), o coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente (U) é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa [23]. A expressão para o cálculo do U é apresentada pela equação 1.

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

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

R_{si} – resistência térmica superficial interior [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

R_j – resistência térmica da camada j [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

R_{se} – resistência térmica superficial exterior [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$].

O cálculo da resistência térmica dos materiais correntes de construção e de camadas não homogéneas que compõem os elementos construtivos também pode ser determinada através do recurso a bibliografia da especialidade como é o caso da publicação do LNEC *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* [24].

No âmbito de pontes térmicas, segundo a norma EN-ISO 10211, uma ponte térmica é definida como toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Estas zonas têm características ao nível de resistência térmica inferiores à da restante envolvente do edifício, conduzindo desta forma a perdas localizadas de calor superiores. Esta alteração pode ser causada por vários fatores, nomeadamente devido a existência de

zonas com elementos estruturais que conduz a locais com resistência térmica inferior à zona corrente, ao uso de materiais com condutibilidade térmica diferente na envolvente do edifício, situações com problemas nas ligações entre elementos da construção, zonas onde o isolamento térmico é interrompido, mudança na espessura dos elementos construtivos. A existência de pontes térmicas na envolvente do edifício provoca, ao longo da estação de aquecimento e em condições de regime permanente, dois fenómenos, tais como: a densidade do fluxo de calor é mais elevada na zona da ponte térmica e a temperatura superficial interior é inferior à da zona corrente. Estes fenómenos têm consequências indesejáveis no que diz respeito ao consumo de energia para aquecimento e ao risco de determinadas anomalias no edifício. Os problemas associados a pontes térmicas surgiram em maior número e de forma mais penosa após a introdução de isolamentos térmicos na caixa-de-ar dos paramentos exteriores e pela dificuldade construtiva de se aplicar isolamentos contínuos. São várias as zonas a ter em atenção, em termos de pontes térmicas, na fase de conceção, nomeadamente os elementos estruturais como topo de lajes, vigas e pilares e vãos e caixas de estores [2].

As pontes térmicas podem ser classificadas em dois principais grupos: pontes térmicas pontuais ou concentradas e as pontes térmicas lineares, que podem ser planas ou não-planas.

Segundo o RCCTE (Anexo II, Definições), uma ponte térmica plana é definida como sendo a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga [23]. A figura 5.35 demonstra o caso de zonas fragilizadas termicamente, normalmente sujeitas à ocorrência de pontes térmicas planas, contabilizadas na ponderação de perdas térmicas superficiais.

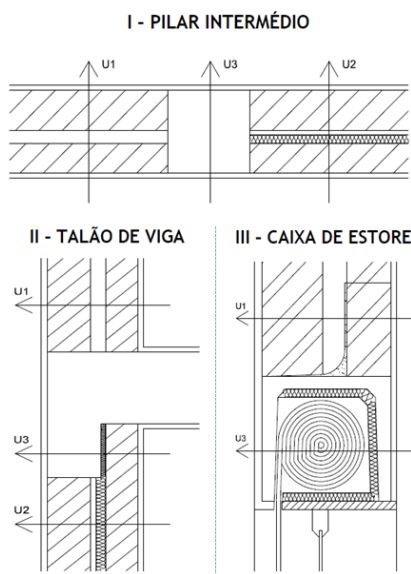


Fig. 5.35 – Exemplos de zonas sujeitas a pontes térmicas planas [25].

O cálculo de pontes térmicas planas é efetuado com base no fluxo de calor unidirecional e na direção perpendicular ao elemento, enquanto que no caso das pontes térmicas lineares considera-se condução bidimensional.

As pontes térmicas não-planas, designadas por pontes térmicas lineares, segundo o RCCTE, que contribuem para a contabilização das perdas térmicas lineares do edifício, correspondem à maioria dos casos, tais como:

- Ligação parede interior e exterior;

- Ligação entre caixilharia e parede;
- Ligação entre a caixa de estores e parede exterior;
- Elementos construtivos em contato com o solo.

Outra zona sensível à ocorrência de pontes térmicas e a mais relevante para este estudo refere-se às juntas de painéis pré-fabricados, situação que normalmente não é considerada, mas à qual se dedica uma parte deste capítulo. A ponte térmica produz um abaixamento da temperatura superficial interior relativamente à restante envolvente. Este abaixamento provoca uma elevação da temperatura superficial exterior, correspondente às zonas de ponte térmica das juntas dos painéis.

As zonas de ponte térmica podem originar alguns problemas, tais como:

- Aumento das perdas térmicas;
- Agravamento das condensações superficiais;
- Reforço do desenvolvimento de fungos e bolores;
- Heterogeneidade das temperaturas superficiais interiores.

A humidade constitui uma das principais causas das patologias dos edifícios, pelo que é da maior importância o desenvolvimento de estudos que permitam uma maior compreensão dos fenómenos que lhe estão associados, de forma a que possam definir regras quantitativas e qualitativas para a conceção e execução dos elementos construtivos [26].

Ao longo desta secção pretende-se analisar o problema de ocorrência de condensações superficiais e, em particular, as que ocorrem no interior dos elementos construtivos (condensações internas). Para tal, considera-se importante definir, previamente, alguma terminologia usada no domínio da higrotérmica.

A Psicrometria trata das propriedades termodinâmicas do “ar húmido”, tais como humidade absoluta/ teor de humidade do ar, humidade relativa e pressão parcial do vapor de água. O diagrama psicrométrico é a representação gráfica das propriedades termodinâmicas do “ar húmido” e das relações existentes entre si. Este diagrama é sempre relativo a uma determinada pressão atmosférica, em geral a pressão atmosférica de referência, pelo que se deve proceder às devidas correções se a pressão atmosférica for diferente daquela a que corresponde o diagrama [26].

A humidade de um local interior ventilado resulta do equilíbrio entre a produção de vapor no seu interior (ω) e o caudal de ventilação ($R_{ph} \cdot V$, em que R_{ph} corresponde à taxa horária de renovação de ar e V ao volume interior), podendo definir-se o parâmetro designado por Higrometria = $\frac{\omega}{R_{ph} V}$, que

traduz o aumento da pressão do vapor de água interior em relação ao exterior e, consequentemente, define o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente do local.

Diversos modelos baseados na mecânica dos fluídos foram desenvolvidos ao longo do estudo teórico da transferência conjunta de calor e humidade em meios porosos não-saturados e, particularmente, em materiais e elementos de construção, dos quais se destaca o método de *Glaser*, no qual se baseia o programa de cálculo *Condensa*, para a quantificação de condensações internas. Este método, apesar das suas limitações, é ainda hoje muito utilizado em engenharia civil, na análise dos riscos de ocorrência de condensações internas e na definição de regras de qualidade a que devem satisfazer os elementos construtivos, face à difusão de vapor. O método de *Glaser* parte do princípio de que, se um elemento construtivo estiver sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, então a pressão de saturação será variável de ponto para ponto. Deste modo, se a “curva” de pressões instaladas, gerada

pelas condições limite, não interseção a “curva” de pressões de saturação, não ocorrem condensações internas. No caso de se verificarem interseções, então haverá condensações [26].

Segue-se a definição de alguns parâmetros [26] abordados na aplicação deste método, tais como:

- *Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (π)* de um material homogêneo representa a quantidade de vapor de água que, por unidade de tempo e espessura, atravessa por difusão um provete desse material, quando sujeito a uma diferença de pressão de vapor unitária entre as suas faces;
- *Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar (π_{ar})*, de uma lâmina de ar não-ventilada (ar em repouso) depende da pressão atmosférica e da temperatura do ar;
- *Fator de resistência à difusão de vapor de água (μ)* é um valor característico dos materiais, obtido pela relação (adimensional) entre a permeabilidade ao vapor de água do ar e a permeabilidade ao vapor de água do próprio material, que indica quantas vezes a resistência à difusão de um provete desse material é maior do que a de uma camada de ar em repouso, de igual espessura e sujeita às mesmas condições ambientais ($\mu = \frac{\pi_{ar}}{\pi}$);
- *Permeância ao vapor de água (Pe)* de um elemento é a densidade de fluxo de vapor de água que o atravessa, referida à diferença de pressão parcial de vapor a que está sujeito entre as suas faces. Para um elemento constituído apenas por um material homogêneo, o valor da sua permeância corresponde também à relação entre o Coeficiente de Permeabilidade ao Vapor de Água (π) do material e a sua espessura (e): $Pe = \frac{\pi}{e}$;
- *Resistência à difusão de vapor de água (R_D)* é o inverso da Permeância ao Vapor de Água e representa a resistência que um elemento oferece à passagem de vapor de água:

$$R_D = \frac{1}{Pe} = \frac{e}{\pi}.$$

5.3.4.2. Cálculo térmico

As fachadas em análise tratam-se de fachadas fortemente ventiladas, dado que o espaço de ar existente entre a camada de isolamento térmico XPS exterior e a estrutura de aço *stud-frame* do painel é cerca de 6 cm e entre a camada exterior de GRC do painel e o XPS existir também um espaço considerável de ar. Esta consideração tem como base o ponto 1.2.2, do anexo VII, do RCCTE [23]. As distâncias referidas são as reais, ou seja, as que correspondem ao que foi executado na obra, medidas na obra, pois não correspondem exatamente ao que foi projetado na fase inicial de projeto, representado nas peças desenhadas do projeto de arquitetura e de especialidade do GRC.

Deste modo, para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da solução de fachada revestida com painéis de GRC implementada no projeto do edifício a camada correspondente aos painéis, isto é, estrutura de aço *stud-frame* mais camada exterior de GRC, com os perfis UPE 100 integrados na face, não é contabilizada no cálculo. A aplicação deste revestimento com painéis de GRC, neste caso, consiste essencialmente em questões meramente estéticas.

Assim, as camadas contabilizadas para o cálculo do U são as assinaladas na figura 5.36 (4 camadas, numeradas de 1 a 4), na qual são representadas as respetivas dimensões e características térmicas.

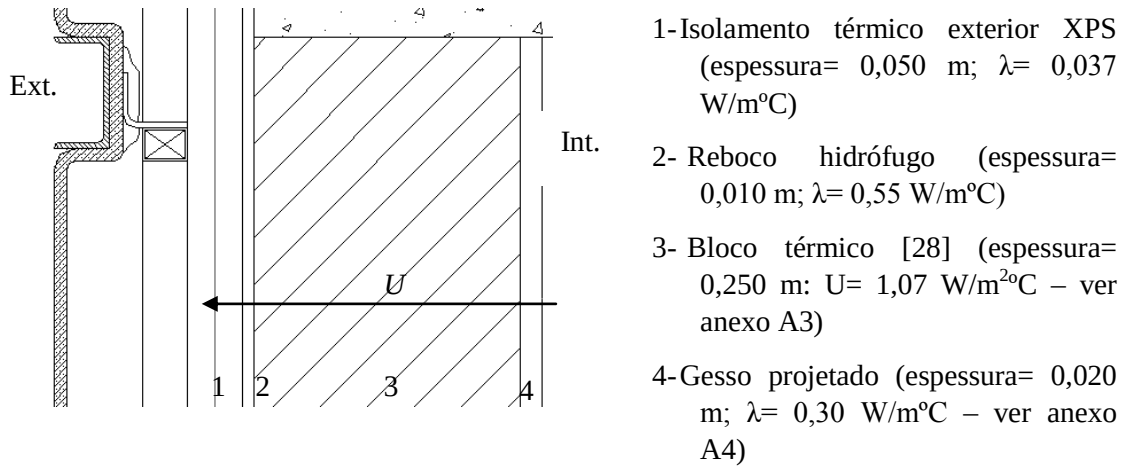


Fig. 5.36 – Perfil da fachada- camadas intervenientes no cálculo do U.

Os valores da resistência de transmissão térmica e do coeficiente de transmissão térmica da fachada resultam da aplicação das expressões (2) e (1), respetivamente. Deste modo, os resultados obtidos para a zona corrente da fachada são:

$$R = 0,04 + \frac{0,05}{0,037} + \frac{0,01}{0,55} + \frac{0,02}{0,3} + \frac{1}{1,07} + 0,13 = 2,541 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$U = \frac{1}{2,541} = 0,394 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

O edifício em questão localiza-se em Barcelos, como já foi referido, e está inserido na zona climática de Inverno I₂, segundo o Quadro III.1, do Anexo III, do RCCTE. De acordo com o Regulamento, o zonamento climático divide Portugal em três zonas climáticas de Inverno (I₁, I₂ e I₃) e em três zonas climáticas de Verão (V₁, V₂ e V₃). O Regulamento impõe requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios, nomeadamente valores limite máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica superficiais (U), apresentados no Anexo IX, Quadros IX.1 e IX.3, respetivamente, reproduzidos pelos Quadros 5.1 e 5.2.

O valor obtido para o coeficiente de transmissão térmica da fachada (U) encontra-se abaixo do valor de referência (U_{ref}) e é bastante inferior ao limite máximo (U_{máx}), uma vez que:

$$U = 0,394 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}; U_{ref} = 0,60 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}; U_{máx} = 1,60 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Quanto à classificação do nível de qualidade da envolvente opaca, esta situa-se entre os níveis N2 e N3. Esta classificação é dividida em quatro níveis de qualidade (N1, N2, N3 e N4), sendo o nível N4 o que apresenta melhor qualidade térmica, e tem como base as tabelas disponíveis nos apontamentos da disciplina de Térmica de Edifícios em parceria com a AdEPorto (Agência de Energia do Porto), redigidos pelo Prof. Vasco Freitas, reproduzidas pelos seguintes Quadros 5.3 e 5.4.

Quadro 5.1 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos [23]

Elemento da envolvente	Zona Climática (*)		
	I ₁	I ₂	I ₃
Elementos exteriores em zona corrente (**):			
Zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1,00	0,90
Elementos exteriores em zona corrente (***):			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

(*) Ver anexo III.

(**) Incluindo elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$.

(***). Para outros edifícios e zonas anexas não úteis.

Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica de referência [23]

Elemento da envolvente	Zona Climática (*)			
	I ₁	I ₂	I ₃	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 exteriores em zona corrente (***):				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,00	2,00
Zonas opacas horizontais	1,00	0,90	0,80	1,25
Envidraçados (****)	4,30	3,30	3,30	4,30

(*) Ver anexo III.

(**) Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na zona I₁.

(***). Para outras zonas anexas não úteis.

(****) Valor médio dia-noite (inclui efeito do dispositivo de proteção noturna) para vãos envidraçados verticais; os vãos envidraçados horizontais consideram-se sempre como se instalados em locais sem ocupação noturna.

Quadro 5.3 – Níveis de qualidade térmica da envolvente opaca

Nível de Qualidade	Limites de U
N1	$U = U_{ref}$
N2	$U \approx 0,75.U_{ref}$
N3	$U \approx 0,60.U_{ref}$
N4	$U \approx 0,50.U_{ref}$

Quadro 5.4 – Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores em função do nível de qualidade

Elemento da envolvente opaca	Nível de Qualidade	Zona Climática			
		I ₁	I ₂	I ₃	RA (I ₁)
Paredes exteriores	N1	0,70	0,60	0,50	1,40
	N2	0,55	0,45	0,40	1,05
	N3	0,45	0,35	0,30	0,85
	N4	0,35	0,30	0,25	0,70

Relativamente à questão de pontes térmicas, neste caso, como as juntas dos painéis não são seladas, mas sim abertas, trata-se de zonas que não apresentam fragilidades sujeitas a pontes térmicas. Portanto, para esta solução as zonas de pontes térmicas podem estar relacionadas com as zonas de fixação do painel à estrutura rígida, no entanto estas são desprezáveis, devido a serem praticamente insignificantes, e as zonas de pilar intermédio, talão de viga e pontes térmicas lineares referidas anteriormente. Salienta-se, também, a possibilidade de ocorrência de ponte térmica linear na ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril. A tabela IV.3, situação H, do anexo IV, do RCCTE, refere estes casos. A solução de projeto analisada corresponde à situação com isolamento pelo exterior e o valor a considerar para o coeficiente de transmissão térmica linear, Ψ (em W/m. °C), é nulo. A figura 5.37 pretende retratar a informação disponível no RCCTE sobre este caso. Contudo, é referido, em nota, que se não houver contacto do isolante térmico com a caixilharia, deve-se considerar o valor de $\Psi = 0,2$ W/m. °C.

A fachada do edifício orientada a poente, revestida com painéis de GRC, apresenta três vãos, ao longo de todo o seu desenvolvimento. De facto, a ligação do painel à caixilharia (ver pormenor representado pela figura 5.33) é efetuada através de soleira em chapa de alumínio, interrompendo assim o contacto entre a camada de isolamento exterior XPS da parede e a caixilharia da janela. Deste modo, deve ser considerado o coeficiente de transmissão térmica linear $\Psi = 0,2$ W/m. °C, que deve ser contabilizado no cálculo das perdas de calor lineares unitárias através das pontes térmicas (L_{pt}). Para o cálculo destas perdas, consultar o anexo IV, ponto 2.3, do RCCTE.

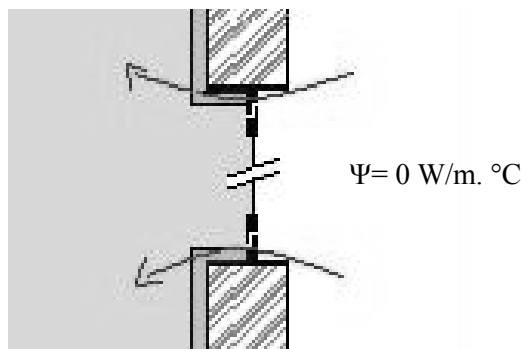


Fig. 5.37 – Ligação da fachada com padieira ou peitoril- pontes térmicas lineares [25].

Nas zonas de ponte térmica plana é necessário proceder à verificação da condição regulamentar imposta pelo RCCTE, no anexo IX, ponto 2 (“Zonas não correntes da envolvente”), impondo que o coeficiente de transmissão térmica (U), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não ultrapasse o dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos indicados no Quadro 5.1 (correspondente ao Quadro IX.1 do RCCTE).

Em relação à zona da fachada que abrange pilares intermédios, para o caso da solução implementada no projeto, a junta do painel nunca coincide com a zona do pilar, situação possível de se observar na figura 5.38 que representa um troço da planta estrutural da fachada orientada a poente do edifício.

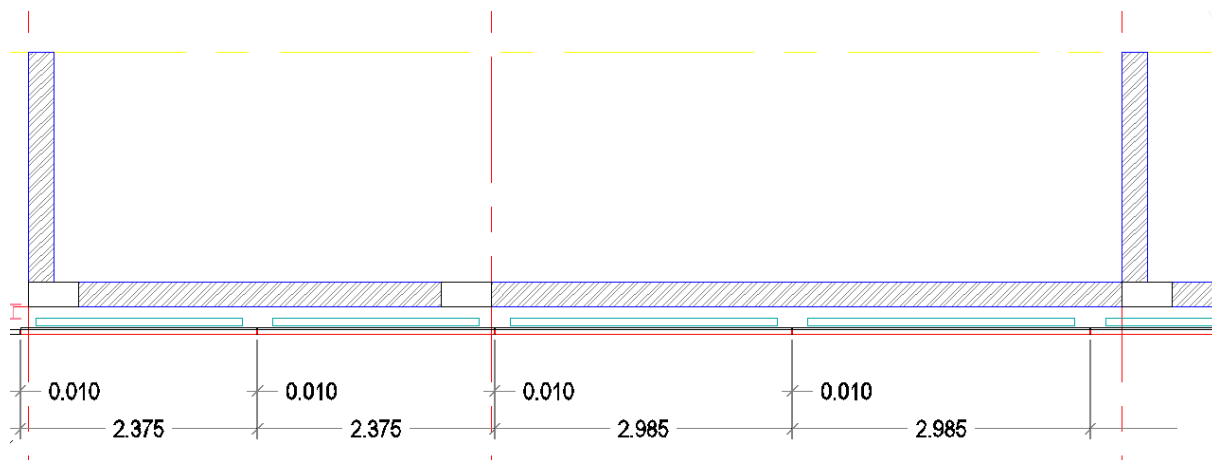


Fig. 5.38 – Troço representativo da planta da fachada do edifício orientada a poente.

A figura 5.39 representa o caso de zona de ponte térmica plana, de pilar intermédio, existente nas fachadas poente e sul do edifício em análise. Os pilares inseridos nas paredes de fachada, em betão armado (coeficiente de condutibilidade térmica adotado $\lambda = 2,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), possuem dimensões de $0,50 \times 0,25 \text{ m}^2$ (isto é, $0,25 \text{ m}$ de espessura).

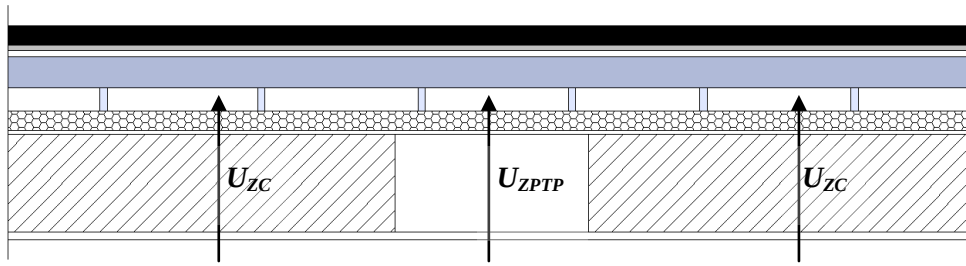


Fig. 5.39 – Zona de ponte térmica plana de pilar intermédio.

O coeficiente de transmissão térmica da zona corrente foi calculado anteriormente, tomando o valor $U_{ZC} = 0,394 \text{ W/m}^2\text{°C}$, sendo necessário efetuar o cálculo do da zona de ponte térmica plana (U_{ZPTP}), cujos cálculos são demonstrados seguidamente:

$$R_{ZPTP} = 0,04 + \frac{0,050}{0,037} + \frac{0,010}{0,55} + \frac{0,250}{2,3} + \frac{0,020}{0,30} + 0,13 = 1,715 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

$$U_{ZPTP} = \frac{1}{1,715} = 0,583 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Neste momento, é necessário proceder às verificações regulamentares:

$$U_{ZPTP} \leq 2xU_{ZC} \Rightarrow 0,583 \leq 0,788 \text{ W/m}^2\text{°C} \quad \text{OK!}$$

$$U_{ZPTP} \leq U_{m\acute{a}x} \Rightarrow 0,583 \leq 1,60 \text{ W/m}^2\text{°C} \quad \text{OK!}$$

Portanto, as duas condições regulamentares são verificadas para este caso de ponte térmica plana, não sendo necessário recorrer a qualquer tipo de correção.

5.3.4.3. Condensações superficiais

Nesta secção é analisada a possibilidade de ocorrência de condensações superficiais interiores nas paredes de fachada do edifício, apenas nas paredes revestidas com painéis de GRC, durante a estação de aquecimento. Para tal, são necessários alguns dados climáticos, nomeadamente temperaturas interiores e exteriores e níveis de humidade relativa do ar. Deste modo, foi efetuado o levantamento da temperatura mínima do ar verificada em Barcelos, para a caracterização do cenário mais desfavorável, durante a estação de aquecimento. Os parâmetros necessários foram obtidos através das informações de dados climáticos disponíveis no *site* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) [31] para a estação convencional de aquecimento, que abrange os meses de Outubro a Abril, cuja duração é de 6,7 meses. Com base nesta informação, a temperatura mínima do ar verificada para a estação de aquecimento, em Barcelos, foi de -4°C , respeitante ao mês de Fevereiro de 2012.

Deste modo, foi considerada uma temperatura exterior (θ_e), necessária para os cálculos posteriores da análise higrotérmica, correspondente ao valor da temperatura mínima verificada. O valor da humidade relativa do ar exterior (HR_e) também foi obtido pelos dados disponíveis no IPMA, sendo o valor apresentado para esta zona de 80%.

Para a temperatura do ar interior (θ_i) foi adotado o valor de 20°C , que corresponde ao valor de referência do RCCTE para a temperatura interior de conforto na estação de aquecimento.

Uma vez que a obra ainda não foi concluída e, portanto, os espaços interiores não se encontram ocupados, não é possível determinar a humidade relativa interior (HR_i). Deste modo, o problema é colocado ao contrário, ou seja, determina-se qual o valor limite de HR_i , com base nos dados disponíveis, para o caso de não ocorrerem condensações superficiais interiores. Para tal, é imposta a seguinte condição:

$$\theta_{si} \geq t_{po} \Rightarrow \theta_{si} = \theta_{po} \text{ (no limite)} \quad (3)$$

Em que:

θ_{si} – temperatura superficial interior [$^{\circ}\text{C}$];

θ_{po} – temperatura ponto de orvalho ($HR = 100\%$) [$^{\circ}\text{C}$].

O cálculo da temperatura superficial interior é efetuado através da aplicação da Lei de Fourier, pois o fluxo de calor que atravessa a parede é constante, expressa pela seguinte relação:

$$U \times (\theta_i - \theta_e) = \frac{1}{R_{si}} \times (\theta_i - \theta_{si}) \quad (4)$$

Em que:

U – coeficiente de transmissão térmica da parede exterior [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$];

R_{si} – resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$];

θ_i – temperatura do ambiente interior [$^{\circ}\text{C}$];

θ_e – temperatura do ambiente exterior [$^{\circ}\text{C}$];

θ_{si} – temperatura superficial interior [$^{\circ}\text{C}$].

Para a solução de fachada implementada no edifício em questão, os dados, anteriormente determinados, para o cálculo da temperatura superficial interior (θ_{si}) são os seguintes:

$$U = 0,394 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$\theta_e = -4^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$$

$$HR_e = 80\%$$

Pela aplicação da expressão (4), obtém-se o valor da temperatura superficial interior correspondente à temperatura exterior -4°C ($\theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}}$):

$$0,394 \times (20 - (-4)) = \frac{1}{0,13} \times (20 - \theta_{si}) \Leftrightarrow \theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}} = 18,8^{\circ}\text{C}$$

Considerando a temperatura ponto de orvalho (θ_{po}) igual à temperatura superficial interior (θ_{si}) é possível determinar a humidade relativa interior (HR_i) recorrendo ao diagrama psicrométrico e tomando o valor da temperatura do ambiente interior (θ_i) igual a 20°C . Este processo encontra-se representado pelas linhas vermelhas no diagrama da figura 5.40.

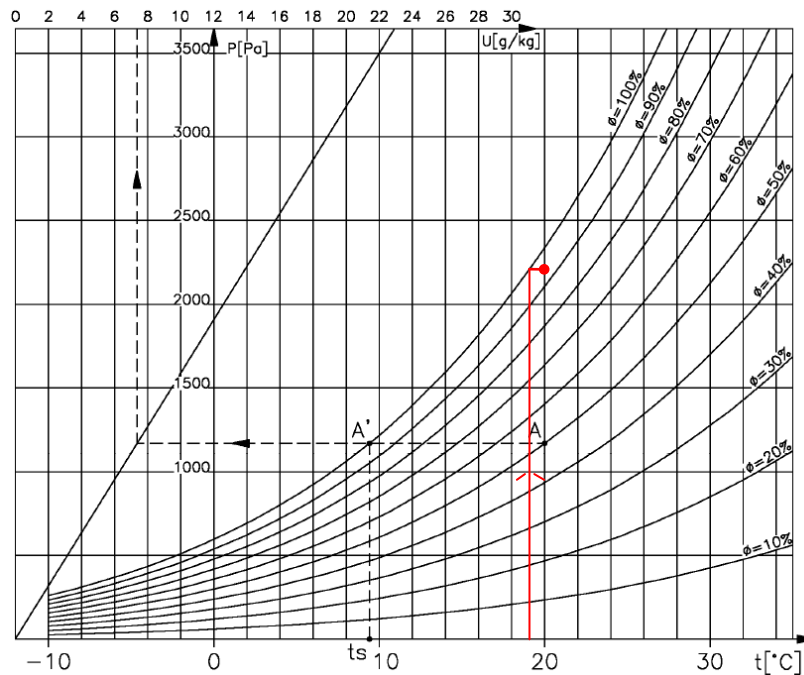


Fig. 5.40 – Diagrama psicrométrico para determinação da humidade relativa interior (HR_i).

O valor limite de humidade relativa interior (HR_i) obtido é de aproximadamente 92%, valor este bastante elevado e pouco habitual. Nestas condições, é possível afirmar que não haverá risco de condensações superficiais interiores, pois a humidade relativa interior dificilmente atingirá este valor, normalmente ronda os 60 a 70%. Humidade relativa interior inferior a 25% ($HR_i < 25\%$) pode ser prejudicial à saúde, associada ao aumento do desconforto.

Se, por exemplo, a humidade relativa interior (HR_i) tomar o valor 50%, a temperatura ponto de orvalho (θ_{po}) será cerca de 9° C o que significa que $\theta_{si} = 18,8^\circ \text{C} > \theta_{po} = 9^\circ \text{C}$, logo não haverá risco de condensações superficiais (ver figura 5.40, A-A', para a determinação da temperatura ponto de orvalho, representada pela sigla ts).

5.3.4.4. Condensações Internas

Até agora, realizou-se a análise em termos de condensações superficiais. Nesta fase do estudo procede-se à quantificação de condensações internas no elemento construtivo, neste caso na parede de fachada em análise, recorrendo ao programa de cálculo automático *Condensa 2000*. Para tal, foram introduzidos no programa os seguintes dados base:

- temperatura exterior $\theta_e = -4^\circ \text{C}$;
- humidade relativa do ar exterior $HR_e = 80\%$;
- temperatura do ar interior $\theta_i = 20^\circ \text{C}$;
- humidade relativa interior $HR_i = 50\%$.

A humidade relativa interior (HR_i) foi considerada igual a 50% uma vez que o edifício vai possuir sistema de “ar condicionado” (sistema AVAC), resultando no teor de humidade do ar interior inferior.

Foram preenchidos os campos relacionados com as características das 4 camadas contabilizadas para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica que compõem o elemento (ver figura 5.36), tais como espessura (e), coeficiente de condutibilidade térmica (λ) e coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (π) de cada material correspondente. Os valores deste último parâmetro para cada material foram retirados da NIT002. O Quadro 5.5 resume os parâmetros introduzidos na folha de cálculo do programa.

Quadro 5.5 – Características higrotérmicas das camadas (parâmetros introduzidos no programa de cálculo)

Nº Camada	Espessura [m]	λ [W/m°C]	π [g/m.h.mmHg]x10 ⁻⁵
1	0,050	0,037	86,4
2	0,010	0,55	864
3	0,250	0,327	1200
4	0,020	0,30	816

O programa fornece os resultados dos fluxos de entrada e saída do elemento construtivo, assim como o fluxo condensado, na presença de condensações, sendo possível, deste modo, quantificar e localizar as condensações entre camadas da parede, através do gráfico apresentado na figura 5.41, no qual é representado no eixo das abcissas a resistência à difusão de vapor de água (R_D) acumulada para cada camada do elemento construtivo, neste caso, da parede de fachada em questão, e em ordenadas a pressão (pressão instalada e saturada, representada pelas curvas a vermelho e azul, respetivamente).

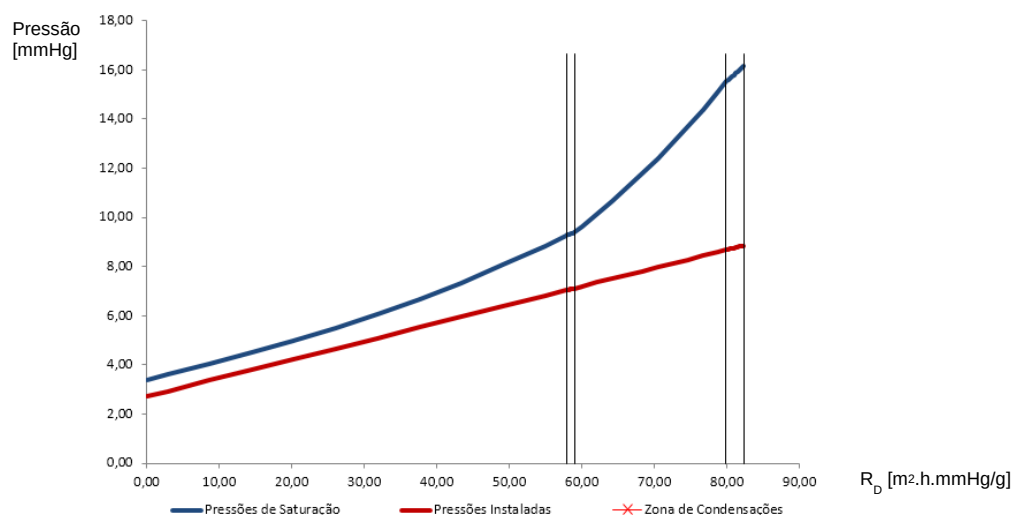


Fig. 5.41 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas.

Nota: As linhas verticais correspondem às interfaces entre camadas.

Pela análise do gráfico da figura 5.41 é possível afirmar que neste caso, para a solução implementada no projeto, não ocorrem condensações internas, entre camadas da parede de fachada do edifício, uma vez que a curva das pressões instaladas não intersesta a curva de pressões de saturação.

5.3.5. ACABAMENTOS E PORMENORIZAÇÃO FINAL

O acabamento dos painéis da solução implementada consiste apenas, como já anteriormente mencionado, na aplicação de um hidrorrepelente Sika Gard 700 S [27]. Na obra, após conclusão da aplicação de todos os painéis de revestimento nas fachadas, são efetuadas algumas correções de modo a corrigir os possíveis danos provocados durante as fases de transporte, elevação e montagem.

5.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO

Este tipo de solução, em painéis *stud frame*, apresenta algumas vantagens assim como desvantagens.

Como vantagens podem ser referidos os seguintes aspetos:

- É possível a produção de painéis com maiores dimensões, como é o caso de alguns dos painéis aplicados nesta construção;
- Formas arquitetónicas mais ousadas;
- Os sistemas de fixação são simplificados;

Este tipo de solução também pode apresentar algumas desvantagens, relacionadas com:

- o custo do aço em Portugal, que é circunstancial (neste momento, o custo do aço encontra-se mais acessível relativamente há uns anos atrás);
- grande variedade de perfis de aço galvanizado no mercado, no entanto aqueles que interessam para a produção dos painéis não são tão diversos, o que pode originar algum prejuízo em detrimento da produção.

5.4. ESTUDO DE UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA

No âmbito deste estudo e após análise da solução de fachada implementada no projeto, é analisada uma solução alternativa e, posteriormente, realizada uma análise comparativa entre as duas soluções.

Esta solução, proposta ao autor desta dissertação, consiste na construção das paredes de fachada do edifício através de painéis de GRC do tipo sanduíche, existindo uma camada de ar da espessura dos pilares do edifício (0,250 m), preenchendo o espaço entre estes e o revestimento interior, de modo a que os pilares não fiquem à vista, o que caso contrário não seria do agrado do Arquiteto, com blocos de alvenaria de tijolo furado de 7 cm.

O principal objetivo do estudo desta solução está relacionada com questões económicas, na medida em que com este tipo de painel seria possível, através da instalação prévia dos painéis, vedar a obra, de modo a serem construídas as alvenarias para o revestimento do paramento interior posteriormente, poupando custos de estaleiro. Deste modo, a aplicação dos painéis de GRC funcionaria como uma obra de renovação.

Os parâmetros analisados para esta solução são semelhantes aos seguidos anteriormente para análise da solução implementada no projeto, salvo algumas diferenças como sistemas de reforço do painel que neste tipo de painéis não é aplicado e relativamente ao tipo de fixações, mais simples neste caso.

5.4.1. GEOMETRIA E MODULAÇÃO DOS PAINÉIS

O painel de GRC escolhido para a solução alternativa é do tipo sanduíche, apresentando face plana, sem relevos e qualquer reentrância. É constituído por duas camadas de GRC que limitam

exteriormente o painel e uma camada de isolamento térmico EPS no seu interior, interrompido nos bordos do painel e na zona de união dos painéis- nas juntas. Os limites dos painéis são constituídos exclusivamente por GRC, funcionando como nervuras de reforço da peça.

A disposição dos painéis nas fachadas orientadas a sul e poente assim como as suas dimensões são semelhantes às apresentadas no projeto, no caso dos painéis *stud-frame*.

5.4.2. FIXAÇÕES DO PAINEL À ESTRUTURA

A fixação dos painéis é realizada através de ancoragem no tardo, por meio de cantoneiras muito simples, diretamente à laje do edifício. A figura 5.42 pretende exemplificar o tipo de cantoneiras aplicadas nesta situação.

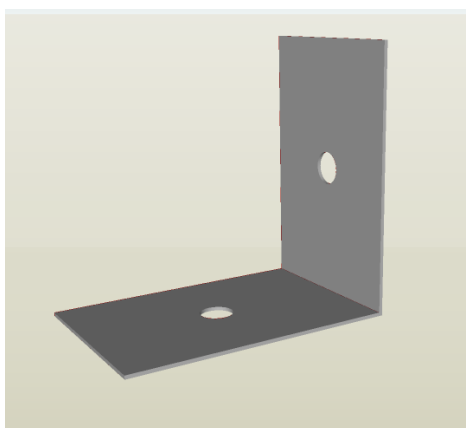


Fig. 5.42 – Cantoneira de fixação dos painéis sanduíche para a solução alternativa.

5.4.3. JUNTAS DOS PAINÉIS

As juntas correspondem às zonas de união dos painéis de GRC ao longo da fachada do edifício. Neste caso, para painéis do tipo sanduíche, estamos perante juntas seladas. A largura das juntas estabelecida foi 1,5 cm (15 mm). O dimensionamento da largura deve ser efetuado através da expressão (4) referida anteriormente no capítulo 4 deste trabalho, respeitando o valor mínimo de 19 mm, requisito imposto pelo PCI e referido nesse mesmo capítulo, no entanto, para painéis deste tipo e com as dimensões referidas adota-se o valor mencionado de 15 mm.

Como se trata de juntas seladas, é necessário calcular a profundidade do selante e o diâmetro do limitador de junta a aplicar.

Uma vez que a largura das juntas não ultrapassa 25 mm e a profundidade do selante é função desta variável, adota-se profundidade igual a $\frac{1}{2}$ da largura. Deste modo, a profundidade do selante é igual a 7,5 mm. Mastique de silicone será o material escolhido para o selante das juntas.

Relativamente ao limitador de junta, o seu diâmetro (ϕ) deve ser aproximadamente superior a 25% da largura da junta (J), ou seja:

$$\phi = 1,25 \times J \Leftrightarrow \phi = 1,25 \times 15 = 18,75 \text{ mm}$$

Dado que o valor comercial de diâmetros disponível imediatamente superior ao valor obtido é 20 mm, então será este o diâmetro adotado para o limitador de junta. O material constituinte do cordão

utilizado é espuma de polietileno expandido extrudido (PEF). De salientar que antes da aplicação do selante, é inserido o material limitador de junta.

A figura 5.43 representa o pormenor das juntas dos painéis, assinalando os materiais constituintes, referidos anteriormente, através de um corte longitudinal, em zona de junta vertical.

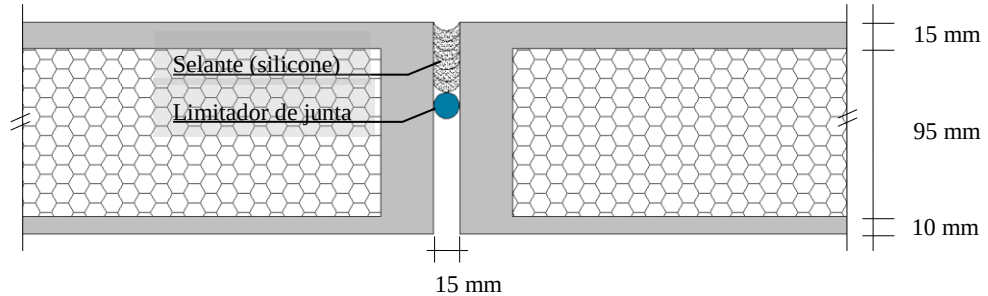


Fig. 5.43 – Pormenor da junta dos painéis.

5.4.4. DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DA SOLUÇÃO ALTERNATIVA

5.4.4.1. Cálculo térmico

Para a solução alternativa, é seguidamente efetuada a análise a nível térmico da heterogeneidade existente na fachada, devido a aparecerem três zonas distintas: zona corrente, que abrange todas as camadas do painel sanduíche de GRC e da parede, zona maciça, correspondente ao bordo do painel e camadas da parede e, finalmente, a zona da junta, que abrange apenas a junta do painel e a as camadas constituintes da parede de fachada.

A figura 5.44 representa o pormenor de um corte transversal da parede de fachada, em zona corrente, na qual é possível distinguir as diferentes camadas constituintes desta solução.

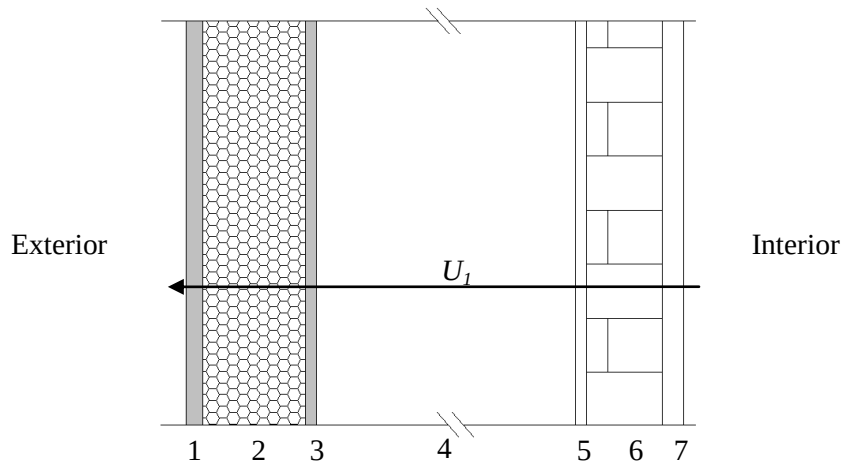


Fig. 5.44 – Pormenor de corte transversal da parede de fachada, em zona corrente.

Em que:

- 1- Camada exterior de GRC (espessura= 0,015 m; $\lambda = 0,60 \text{ W/m}^\circ\text{C}$);
- 2- Isolamento térmico EPS (espessura= 0,095 m; $\lambda = 0,042 \text{ W/m}^\circ\text{C}$);
- 3- Camada interior de GRC (espessura= 0,010 m; $\lambda = 0,60 \text{ W/m}^\circ\text{C}$);

- 4- Espaço de ar (espessura= 0,250 m; $R= 0,18 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$);
- 5- Reboco hidrófugo (espessura= 0,010 m; $\lambda= 0,55 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$)
- 6- Bloco de alvenaria de tijolo de 7 cm (espessura= 0,070 m; $R= 0,19 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$);
- 7- Gesso projetado (espessura= 0,020 m; $\lambda= 0,30 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$).

Nota: camadas 1+2+3 constituem o painel sanduíche de GRC.

A partir de um corte longitudinal, na zona de junta vertical, é possível distinguir as três zonas distintas que contribuem para a heterogeneidade da fachada, situação representada pela figura 5.45.

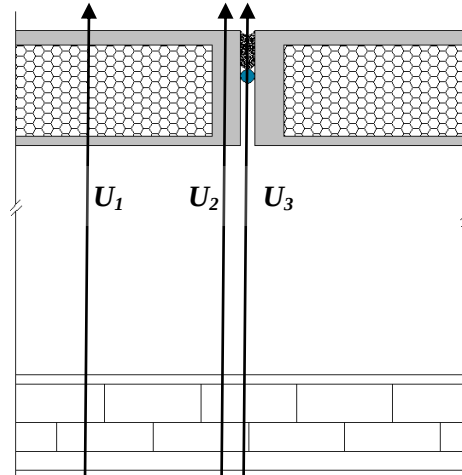


Fig. 5.45 – Pormenor de corte longitudinal da parede de fachada, em zona de junta vertical da solução alternativa.

Seguem-se os cálculos dos respetivos coeficientes de transmissão térmica para as três zonas em questão. Os valores tabelados pelo LNEC no ITE 50 [24] necessários para os cálculos foram anteriormente referidos, exceto os referentes à condutibilidade térmica dos materiais aplicados nas juntas seladas dos painéis, sendo estes os seguintes:

- Material selante: mástique de silicone (profundidade = 0,0075 m; $\rho = 1450 \text{ kg}/\text{m}^3$; $\lambda= 0,50 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$);
- Limitador de junta: PEF (espessura= 0,020 m; $\lambda= 0,050 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$).

Zona corrente (U_1)

$$R_1 = 0,04 + \frac{0,015}{0,60} + \frac{0,095}{0,042} + \frac{0,010}{0,60} + 0,18 + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,3} + 0,13 = 2,929 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$U_1 = \frac{1}{2,929} = 0,341 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$$

Zona maciça (U_2)

$$R_2 = 0,04 + \frac{0,12}{0,60} + 0,18 + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,3} + 0,13 = 0,825 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$$

$$U_2 = \frac{1}{0,825} = 1,212 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zona da junta (U_3)

$$R_3 = 0,04 + \frac{0,0075}{0,50} + \frac{0,020}{0,050} + 0,18 + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,3} + 0,13 = 1,040 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W}$$

$$U_3 = \frac{1}{1,040} = 0,962 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Após a determinação dos diferentes coeficientes de transmissão térmica, é necessário proceder às verificações regulamentares, exigidas pelo RCCTE, a nível de pontes térmicas planas.

A primeira verificação consiste na comparação dos coeficientes de transmissão térmica obtidos com os valores máximos indicados pelo Regulamento. O valor máximo, já anteriormente referido na análise da solução do projeto, depende da zona climática na qual a obra se insere (zona climática de Inverno I_2), e corresponde a $1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. A segunda verificação baseia-se na confirmação que o coeficiente de transmissão térmica da zona de junta e da zona maciça não ultrapassa o dobro do coeficiente de transmissão térmica do elemento em zona corrente. Deste modo, e para melhor perceção, a análise é feita pelas três zonas da fachada distintas.

Zona corrente (U_1)

$$U_1 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 0,341 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

Nesta zona, apenas é necessário verificar se o limite máximo de coeficiente de transmissão térmica é respeitado. Como se observa, não apresenta qualquer tipo de problema existindo ainda uma margem bastante considerável. O coeficiente de transmissão térmica de referência indicado no Regulamento para a zona em questão e para paramentos verticais exteriores é de $0,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, estando assim o valor obtido abaixo do indicativo sobre a qualidade mínima que deve ser acautelado em fase de projeto.

Zona maciça (U_2)

$$U_2 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 1,212 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

$$U_2 \leq 2xU_1 \Rightarrow 1,212 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \geq 0,682 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{KO!}$$

Neste caso, um dos requisitos não é verificado, logo será necessário proceder à aplicação de um reforço a nível térmico.

Zona da junta (U_3)

$$U_3 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 0,962 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

$$U_3 \leq 2xU_1 \Rightarrow 0,962 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \geq 0,682 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{KO!}$$

Na zona da junta volta a não ser verificado o requisito do coeficiente de transmissão térmica da zona em causa não poder ultrapassar o dobro do coeficiente de transmissão térmica do elemento em zona

corrente. Tal como sucede na zona maciça, será necessário proceder à correção térmica, acrescentando, para este efeito, material ao longo da sua área com a finalidade de aumentar a resistência térmica.

Este tipo de correção fez parte do objetivo e caso de estudo da dissertação “Tratamento de Juntas em Painéis de GRC” [2], na qual o procedimento é pormenorizadamente descrito (ver capítulo 6- Estudo do Caso).

Procede-se, deste modo, com base no método de correção térmica sugerido pelo autor da dissertação referida, às correções necessárias a aplicar na zona maciça e zona de junta dos painéis, de forma a verificar os requisitos impostos pelo RCCTE. O autor do estudo referido sugere duas soluções de correção com a aplicação de dois materiais distintos: a aplicação de poliestireno expandido (EPS) em forma de cunha na zona de junta dos painéis, e a aplicação de poliuretano projetado.

Considera-se para o tratamento de ponte térmica plana, existente na zona de junta vertical, a primeira solução que consiste na aplicação de poliestireno expandido (EPS) na zona de baixa resistência térmica, em forma de cunha na zona da junta dos painéis, como exemplifica a figura 5.46.

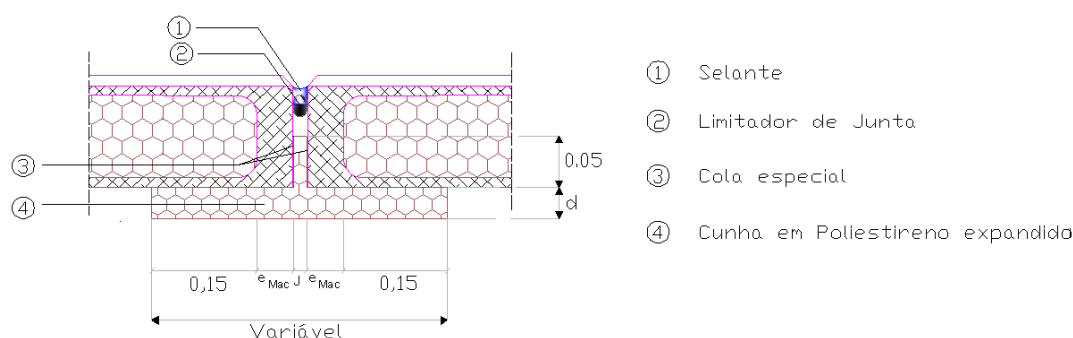


Fig. 5.46 – Correção da junta vertical em EPS (disposição construtiva) [2].

O poliestireno expandido (EPS) foi o material escolhido para o reforço uma vez que apresenta baixa condutibilidade térmica, permitindo assim obter níveis de resistência térmica elevada, apesar das baixas espessuras de material aplicado. Outra das vantagens do EPS é a sua versatilidade em termos de formas e tamanhos, permitindo o ajuste à solução preconizada. Ao contrário de outros isolantes térmicos, o mercado disponibiliza peças deste material com o formato em cunha e as dimensões desejadas. Finalmente, relativamente a outros isolantes, realça-se a sua leveza e baixo custo [2]. Este último aspeto convém realçar, uma vez que vai de encontro com o objetivo principal desta solução alternativa, que é precisamente a da redução de custo final.

O autor do estudo anteriormente referido considera que o reforço em EPS deve entrar no plano dos painéis aproximadamente 5 cm, como se pode observar na figura 5.46. Para obtenção desta dimensão considera-se a espessura do painel, que neste caso concreto correspondem a 12 cm, subtraído do espaço ocupado pelo material selante e o limitador de junta, podendo este ser variável, tendo em conta a movimentação térmica dos painéis (expansão ou retração). O autor do estudo referido considera para a largura da cunha de GRC um acréscimo de 15 cm dos limites da zona maciça em GRC, cobrindo as áreas que não respeitam os limites impostos na regulamentação. Esta largura permite maiores garantias a nível térmico, uma vez que aumenta o caminho percorrido pelo calor que atravessa o painel e consequentemente um acréscimo da resistência térmica [2]. Para o caso particular em análise a espessura da zona maciça (e_{Mac} na figura 5.46) dos painéis é de 3 cm.

A espessura do reforço situada fora do plano dos painéis, que corresponde ao parâmetro d na figura 5.46, resulta da aplicação da fórmula 5. Neste caso foi reformulada, e por sua vez resulta da dedução da condição imposta pelo RCCTE, anteriormente referida. Mais especificamente, a imposição que o coeficiente de transmissão térmica (U), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não ultrapasse o dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos indicados no Quadro 5.1 (correspondente ao Quadro IX.1 do RCCTE).

$$d \geq \frac{\lambda_{EPS}}{2} \times \left(-0,17 + \frac{e_{GRC}^{ext}}{\lambda_{GRC}} + \frac{e_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{e_{GRC}^{int}}{\lambda_{GRC}} - 2 \times \frac{e^{painel}}{\lambda_{GRC}} \right) \quad (5)$$

Em que:

d – espessura do reforço [m];

λ_{EPS} – condutibilidade térmica do reforço, em EPS [W/m.°C];

e_{GRC}^{ext} – espessura da camada exterior de GRC [m];

λ_{GRC} – condutibilidade térmica do GRC [W/m.°C];

e_{iso} – espessura do isolamento interior do painel [m];

λ_{iso} – condutibilidade térmica do isolante térmico [W/m.°C];

e_{GRC}^{int} – espessura da camada interior de GRC [m];

e_{painel} – espessura total do painel de GRC [m];

Para este caso em particular, as espessuras das camadas de GRC exterior e interior do painel são diferentes, com valores 1,5 cm e 1,0 cm, respetivamente. Sendo assim, não foi considerada a simplificação $e_{GRC}^{ext} = e_{GRC}^{int}$ aplicada pelo autor do referido estudo ao longo da dedução da expressão para o cálculo da espessura d . Esta espessura, obtida para o reforço térmico em EPS para juntas verticais, resulta da aplicação da expressão 5 para este caso particular.

$$d \geq \frac{\lambda_{EPS}}{2} \times \left(-0,17 + \frac{e_{GRC}^{ext}}{\lambda_{GRC}} + \frac{e_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{e_{GRC}^{int}}{\lambda_{GRC}} - 2 \times \frac{e^{painel}}{\lambda_{GRC}} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d \geq \frac{0,042}{2} \times \left(-0,17 + \frac{0,015}{0,60} + \frac{0,095}{0,042} + \frac{0,010}{0,60} - \frac{2 \times 0,12}{0,60} \right) \Rightarrow d \geq 0,0364m$$

O valor obtido para a espessura do reforço deve ser arredondado por excesso na ordem dos centímetros, devido às dimensões das placas de EPS disponíveis no mercado. Assim, obtém-se a espessura de 4 cm (40 mm).

No caso do edifício em análise, as juntas horizontais não se encontram na laje do edifício, mas sim no plano da parede, ocorrendo assim ponte térmica plana, sendo necessária também a sua correção térmica. O cálculo da espessura do reforço a colocar nesta situação é feito recorrendo mais uma vez à expressão (5) e as disposições construtivas são semelhantes às das juntas verticais. A única diferença corresponde à colocação do material isolante para reforço, que é aplicado horizontalmente, no decorrer do desenvolvimento da junta [2].

Nesta fase é possível recalcular as alterações a nível térmico no comportamento da fachada, devido à introdução do reforço pela cunha de EPS, e proceder posteriormente às verificações dos limites impostos pelo RCCTE para pontes térmicas planas.

Para esta nova configuração, o coeficiente de transmissão térmica da zona corrente (U_1) mantém-se, sendo apenas alterados os correspondentes às zonas maciça e de junta dos painéis.

Zona corrente (U_1)

$$R_1 = 2,929 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$U_1 = \frac{1}{2,929} = 0,341 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zona maciça (U_2)

$$R_2 = 0,04 + \frac{0,12}{0,60} + \frac{0,040}{0,042} + 0,18 + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,3} + 0,13 = 1,777 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$U_2 = \frac{1}{1,777} = 0,563 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zona da junta (U_3)

$$R_3 = 0,04 + \frac{0,0075}{0,50} + \frac{0,020}{0,050} + \frac{0,050 + 0,040}{0,042} + 0,18 + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,3} + 0,13 = 3,183 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$U_3 = \frac{1}{3,183} = 0,314 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Verificações dos limites impostos pelo Regulamento:

$$U_{1,2,3} \leq U_{\text{máx}}$$

$$U_{2,3} \leq 2xU_1$$

Zona corrente (U_1)

$$U_1 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 0,341 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

Zona maciça (U_2)

$$U_2 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 0,563 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

$$U_2 \leq 2xU_1 \Rightarrow 0,563 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 0,682 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

Zona da junta (U_3)

$$U_3 \leq U_{\text{máx}} \Rightarrow 0,314 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

$$U_3 \leq 2xU_1 \Rightarrow 0,314 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \geq 0,682 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{OK!}$$

Como se verifica, o valor do coeficiente de transmissão térmica destas heterogeneidades, pontes térmicas planas, calculado de forma unidimensional na direção normal, satisfaz as duas condições existentes no RCCTE. De notar que com este tipo de solução, colocação de uma cunha de poliestireno expandido (EPS), a zona mais forte termicamente passa a ser a zona de junta. Isto deve-se ao facto de serem colocados 5 centímetros adicionais de EPS no interior da junta para facilitar a sua fixação à estrutura. De qualquer forma, esse facto só traz melhorias a nível térmico, não tendo qualquer repercussão negativa ao nível de comportamento do edifício e de satisfação do RCTTE.

Em relação à zona da fachada que abrange pilares intermédios, a situação referida anteriormente para o caso da solução implementada no projeto, demonstrada pela figura 5.38, volta-se a repetir no caso da solução alternativa proposta, uma vez que as dimensões dos painéis de GRC do tipo sanduíche para a solução proposta são semelhantes, ao longo das fachadas do edifício orientadas a sul e poente. Assim, através do corte longitudinal representado pela figura 5.47, é possível observar a zona de ponte térmica plana para a qual é necessário efetuar a verificação das condições regulamentares, tal como já foi feito anteriormente para a solução de projeto.

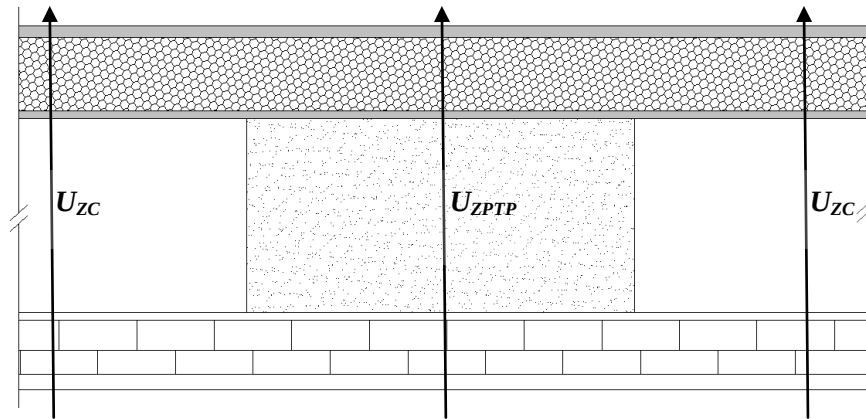


Fig. 5.47 – Zona de ponte térmica plana de pilar intermédio.

O coeficiente de transmissão térmica da zona corrente foi calculado anteriormente, tomando o valor $U_{ZC} = 0,341 \text{ W/m}^2\text{°C}$, sendo necessário efetuar o cálculo do da zona de ponte térmica plana (U_{ZPTP}), cujos cálculos são demonstrados seguidamente:

$$R_{ZPTP} = 0,04 + \frac{0,015}{0,60} + \frac{0,095}{0,042} + \frac{0,010}{0,60} + \frac{0,250}{2,3} + \frac{0,010}{0,55} + 0,19 + \frac{0,020}{0,30} + 0,13 = 2,857 \text{ m}^2\text{°C/W}$$

$$U_{ZPTP} = \frac{1}{2,857} = 0,350 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Neste momento, é possível proceder às verificações regulamentares:

$$U_{ZPTP} \leq 2xU_{ZC} \Rightarrow 0,350 \leq 0,682 \text{ W/m}^2\text{°C} \quad \text{OK!}$$

$$U_{ZPTP} \leq U_{m\acute{a}x} \Rightarrow 0,350 \leq 1,60 \text{ W/m}^2\text{°C} \quad \text{OK!}$$

Portanto, as duas condições regulamentares são verificadas para este caso de ponte térmica plana, não sendo necessário recorrer a qualquer tipo de correção.

5.4.4.2. Condensações superficiais

Para a solução alternativa de fachada, os dados, anteriormente determinados, para o cálculo da temperatura superficial interior ($\theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}}$) para o caso mais desfavorável, correspondente a $\theta_e = -4^{\circ}\text{C}$, em zona corrente da parede são os seguintes:

$$U_{ZC} = 0,341 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$\theta_e = -4^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$$

$$HR_e = 80\%$$

Pela aplicação da Lei de Fourier, representada pela expressão (4), obtém-se o valor da temperatura superficial interior ($\theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}}$):

$$0,341 \times (20 - (-4)) = \frac{1}{0,13} \times (20 - \theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}}) \Leftrightarrow \theta_{si}^{-4^{\circ}\text{C}} = 18,9^{\circ}\text{C}$$

Considerando a temperatura ponto de orvalho (θ_{po}) igual à temperatura superficial interior (θ_{si}), no limite, é possível determinar a humidade relativa interior (HR_i) recorrendo ao diagrama psicrométrico e tomando o valor da temperatura do ambiente interior (θ_i) igual a 20°C , processo semelhante ao representado anteriormente pela figura 5.40.

O valor limite de humidade relativa interior (HR_i) obtido é de aproximadamente 92%, valor este bastante elevado e pouco habitual. Nestas condições, é possível afirmar que não haverá risco de condensações superficiais interiores, pois a humidade relativa interior dificilmente atingirá este valor, normalmente ronda os 60 a 70%.

Para as zonas maciça e de junta da parede, incluindo correções térmicas, os valores limite obtidos para a humidade relativa interior (HR_i) não variam muito, atingindo cerca de 90% e 93%, respetivamente, sendo possível concluir, deste modo, que não ocorrerá risco de condensações superficiais interiores, devido a dificilmente a humidade relativa no interior do edifício alcançar estes valores.

5.4.4.3. Condensações internas

A quantificação do risco de ocorrência de condensações internas na parede de fachada para a solução alternativa foi efetuada com base nos resultados fornecidos pelo programa de cálculo *Condensa*.

Neste caso, os painéis de GRC são contabilizados para a componente térmica da fachada e o valor da permeabilidade ao vapor do GRC (π_{GRC}) considerado para os cálculos foi o estabelecido pelo manual do PCI, referido no capítulo 2 deste trabalho, correspondente a $16 \times 10^{-12} \text{ kg/m.s.Pa}$ ($7,68 \times 10^{-3} \text{ g/m.h.mmHg}$). Os dados introduzidos no programa relacionados com as características das camadas, para além dos já mencionados anteriormente, relativos a temperaturas e humidades relativas, foram os seguintes, apresentados no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Características higrotérmicas das camadas (parâmetros introduzidos no programa de cálculo)

Nº Camada	Espessura [m]	λ [W/m°C]	π [g/m.h.mmHg]x10 ⁻⁵
1	0,015	0,60	768
2	0,095	0,042	300
3	0,010	0,60	768
4	0,250	-	8640
5	0,010	0,55	864
6	0,070	0,37	499
7	0,020	0,30	816

Para a zona corrente da parede, obteve-se os resultados expressos pelo gráfico da figura 5.48.

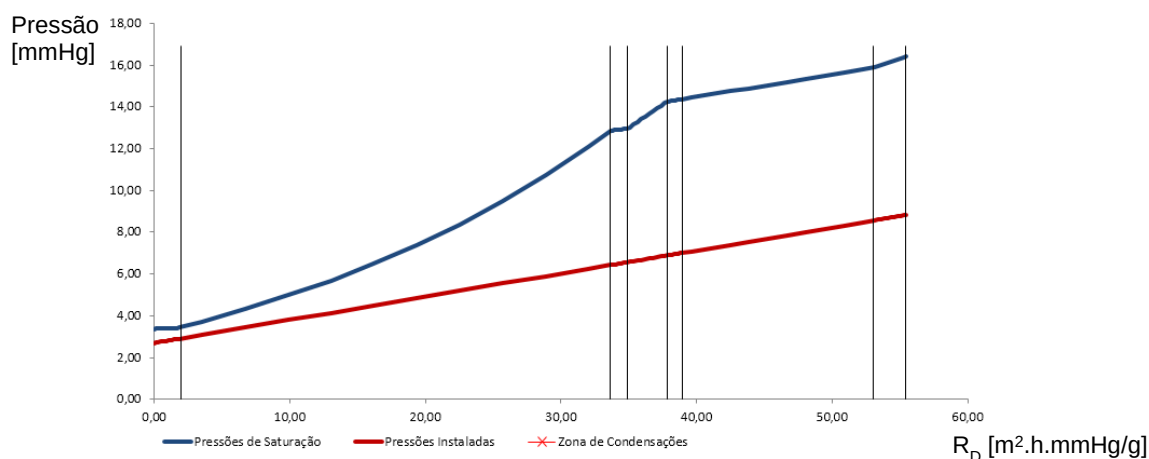


Fig. 5.48 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas na zona corrente da parede da solução alternativa para o caso mais desfavorável de $\theta_e = -4$ °C.

Pela análise do gráfico é possível afirmar que para a zona corrente desta solução não ocorre risco de condensações internas, entre camadas da parede de fachada do edifício, uma vez que a curva das pressões instaladas não intersesta a curva de pressões de saturação.

Para a zona maciça da fachada, após aplicação de reforço térmico, os resultados obtidos de modo a quantificar a ocorrência de condensações internas são os representados pelo gráfico da Figura 5.49.

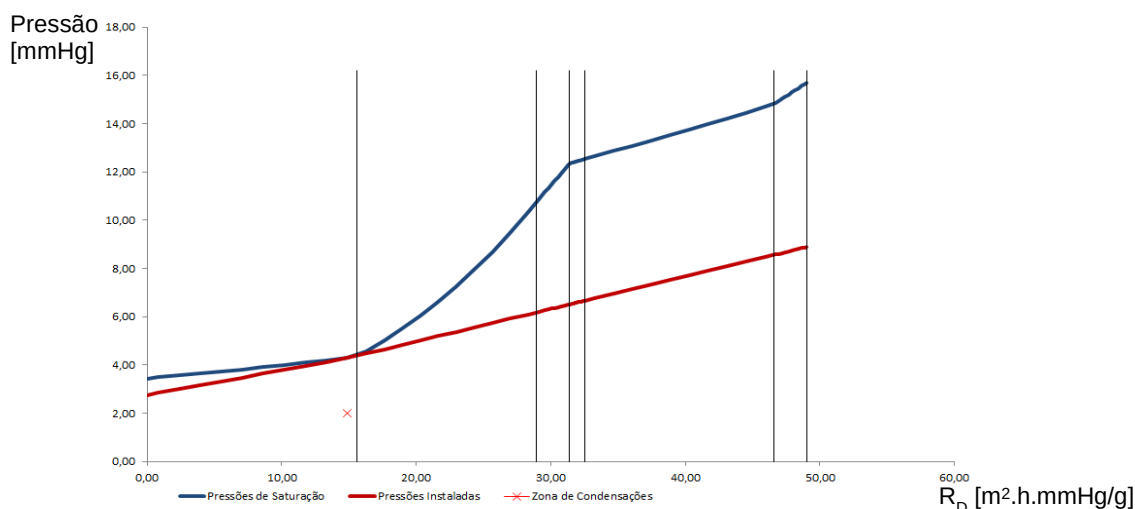


Fig. 5.49 – Gráfico obtido pelo programa de cálculo automático para a quantificação de condensações internas na zona maciça da parede da solução alternativa para o caso de $\theta_e = -4^\circ C$.

Neste caso, para a zona maciça, após aplicação de reforço térmico em EPS, há risco de ocorrência de condensações internas na interface das camadas 1 e 2, isto é, entre a camada de GRC e a placa de EPS do reforço, pois a curva das pressões instaladas interceta a curva das pressões saturadas nesta zona.

O fluxo condensado estimado, obtido pelo programa de cálculo é aproximadamente igual a $32,204 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{h}$.

No caso da zona de junta dos painéis, uma vez que as juntas são seladas com silicone, pode-se estimar que não haverá risco de ocorrência de condensações internas, uma vez que o silicone é um material impermeável à água, apresentando coeficiente de permeabilidade ao vapor de água reduzido ($\pi \approx 0 \text{ kg/m.s.Pa}$).

5.4.5. ACABAMENTOS E PORMENORIZAÇÃO FINAL

O acabamento dos painéis no caso da solução alternativa, com painéis sanduíche de GRC é semelhante ao realizado para a solução executada na obra, através da aplicação do hidrorrepelente Sika Gard 700 S. Na obra, tal como realizado para a solução executada, são efetuados os acabamentos e correções necessários finais, devido a algum desgaste ocorrido durante o transporte e aplicação dos painéis.

5.4.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO

Assim como qualquer outra solução, esta alternativa com painéis sanduíche de GRC apresenta vantagens e desvantagens.

Como vantagens é possível referir:

- Isolamento térmico e acústico já inserido no interior do painel, de acordo com especificações do projeto;
- Execução de uma parede de fachada mais simples, mais económica, na medida em que o isolamento já está inserido no interior do painel, sendo assim dispensável recorrer à aplicação de alvenarias com desempenhos térmicos elevados;

- Possibilidade de vedação da obra, aquando da aplicação dos painéis para o fechamento das fachadas do edifício previamente, possibilitando a execução das restantes tarefas no interior da obra, do edifício, sem a preocupação das questões climáticas, como principalmente a ocorrência de precipitação, um dos fatores preponderantes para o atraso de certas tarefas.

Desvantagens:

- Formas arquitetónicas mais limitadas;
- Devido a variações de temperatura entre as faces externa e interna são geradas tensões no perímetro do painel que une as duas faces podendo assim ocorrer o risco de fissuras nessa região;
- Esta solução com painel sanduíche pode sofrer empenamentos rigorosos devido a diferenças de temperatura e humidade entre as faces do painel;
- Ocorrência de pontes térmicas na zona da junta dos painéis, o que pode originar patologias, nomeadamente condensações e formação de bolores na superfície interior de elementos construtivos do edifício.

5.5. ANÁLISE ECONÓMICA DAS DUAS SOLUÇÕES

Após a análise técnica de ambas as soluções anteriormente descritas, procede-se à estimativa de preços para ambas as soluções de fachada, de modo a concluir qual a solução mais económica.

Este estudo foi realizado tendo como base os preços disponíveis na ferramenta informática “Gerador de Preços” do CYPE [30], ferramenta que permite obter preços para a construção com previsões de custos ajustadas à realidade. São disponibilizados os dados relativos ao mapa de trabalhos e quantidades, para execução de um elemento de construção específico e material característico, fornecendo uma estimativa orçamental.

Deste modo, os preços estimados para a execução da fachada executada no edifício do Centro de I&D do IPCA e para a solução alternativa são sistematizados no quadro 5.7. O orçamento inclui os custos de mão-de-obra, equipamentos e materiais necessários à execução da solução de fachada correspondente. Para detalhes relativos a estes valores, ver anexos A6, A7, A8 e A9. Chama-se a especial atenção para o facto de o preço de execução da alvenaria aplicada, de bloco térmico *proETICS* da “Artebel” de 250 mm, não se encontrar disponível na base de dados desta ferramenta. Procede-se, assim ao contacto com o fabricante “Artebel”[28] para fornecimento destes dados, mais especificamente, o valor de preço unitário do bloco térmico. Relativamente à execução da alvenaria, foram considerados os mesmos valores de orçamento que os relativos à execução de alvenaria de tijolo de 7 cm, ajustando apenas o preço unitário.

No âmbito do GRC, os preços dos painéis foram fornecidos por parte do fabricante []. O preço fornecido é o mesmo para ambos os tipos de painel, no qual são contabilizadas a produção, fixações, execução e montagem na obra dos diferentes tipos de painel de GRC. Para a solução B, o preço do reforço em placas de EPS (espessura 40 mm, massa volúmica 13 a 15 kg/m³ – anexo A5) para a correção térmica na zona das juntas dos painéis é também contabilizado para o orçamento final da solução em painéis sanduíche [29][30].

Como se pode observar pela leitura do Quadro 5.7, a solução B apresenta um ganho significativo na vertente económica, por ser uma solução mais barata, em termos relativos. Considerando apenas a área total da fachada do edifício correspondente às fachadas revestidas com painéis de GRC, que atinge cerca de 500 m², a diferença de custos é significativa ao se optar pela solução B.

Quadro 5.7 – Orçamento solução A vs solução B

Solução A	Preços [€/m ²]	Solução B	Preços [€/m ²]
Painel de GRC <i>stud-frame</i>	128	Painel de GRC sanduíche	128
XPS	17,45	Correção térmica EPS	7,16
Reboco exterior	19,55	Reboco	19,55
Bloco térmico	21,62	Alvenaria tijolo 7	8,18
Gesso projetado	8,45	Gesso projetado	8,45
Total	195,07	Total	171,34

O custo das fachadas executadas com a solução A atinge então cerca de 97 500€. Relativamente à solução B, convém notar que, tal como explicado anteriormente, a correção térmica em EPS é apenas aplicada nas juntas. Assim, para o cálculo do custo efetivo da solução B, dois procedimentos de cálculo distintos têm de ser realizados: o cálculo para os 500m² de fachada sem correção térmica em EPS (164,18 €/m²), adicionando posteriormente o custo da aplicação da correção térmica apenas para a área correspondente às juntas verticais e horizontais.

Para este fim, medem-se as alturas e desenvolvimento das juntas verticais e horizontais, respetivamente, ao longo das fachadas na qual são aplicados os painéis de GRC. Toma-se o valor da largura do reforço em EPS de 0,375 m, resultante do somatório das distâncias exemplificadas na figura 5.46. Assim, chega-se a uma estimativa dos valores do custo da aplicação do reforço térmico, em ambos os casos. Para as juntas verticais obtém-se 370€ e para as horizontais 179 €, o que totaliza 549€ para o reforço de todas as juntas. Deste modo, o custo da fachada executada com a solução B atinge 82 639€, refletindo-se numa poupança de aproximadamente 15 000€ relativamente à execução das fachadas com a solução A, em painéis *stud-frame*.

5.6. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

5.6.1. DEFINIÇÃO

A análise multicritério é um instrumento de apoio à decisão, aplicada na análise comparativa de projetos alternativos ou medidas heterogéneas. Pode ser organizada com vista a produzir uma conclusão sintética simples no final da avaliação ou, pelo contrário, com vista a produzir conclusões adaptadas às preferências e prioridades de diferentes parceiros

O objetivo desta técnica consiste em estruturar e combinar as diferentes análises a ter em consideração no processo de tomada de decisão, sendo que a tomada de decisão se baseia em escolhas múltiplas e o tratamento dado a cada uma das escolhas condiciona, em grande medida, a decisão final.

Para implementação desta técnica é necessário definir, em primeiro lugar, os projetos ou ações para apreciação. Seguidamente, são definidos os critérios de apreciação e atribuída uma ponderação a cada um. Finalmente, é efetuado o cálculo das pontuações globais das medidas através de uma média ponderada e a agregação das apreciações e conclusões.

5.6.2. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS (EXEMPLIFICAÇÃO PARA O ESTUDO DO CASO)

Para a exemplificação deste método, a análise multicritério, proposta pelo autor desta dissertação, é aplicada às duas soluções de fachada: solução do projeto, designada por solução A, e a solução alternativa, solução B.

Os critérios definidos estão relacionados com:

- 1) Desempenho térmico;
- 2) Fator económico;
- 3) Modo de execução;
- 4) Peso;
- 5) Fixações.

A avaliação do critério relacionado com o desempenho térmico diz respeito ao valor do coeficiente de transmissão térmica calculado para a solução de fachada correspondente. O fator económico está relacionado com os custos das soluções e o terceiro critério definido, relacionado com a execução, refere-se à ordem da execução das camadas da parede de fachada, isto é, se são montadas as alvenarias em primeiro lugar ou os painéis de GRC. O quarto critério definido refere-se ao peso médio dos painéis, numa e noutra solução de fachada, e no último o caso das fixações utilizadas na ancoragem dos painéis à estrutura rígida aplicadas nas diferentes soluções.

5.6.3. PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A ponderação atribuída a cada critério está relacionada com a ordem de importância no caso de fachadas executadas em GRC. Esta ponderação baseia-se no cariz prático, tendo como base informações obtidas por parte do fabricante de painéis de GRC, relativamente à importância dos critérios mais relevantes na escolha da solução para execução deste tipo de fachadas. Deste modo, o desempenho térmico é o que prevalece, seguindo-se o fator económico e em terceiro lugar o critério relacionado com a execução. Quanto à ponderação atribuída aos critérios peso do painel e fixações será semelhante entre ambas. A ponderação proposta pelo autor deste estudo para cada critério será, assim, a apresentada pelo Quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Ponderação dos critérios para a análise multicritério

Critérios	Ponderação (%)
1	35
2	30
3	25
4	5
5	5

5.6.4. CONDICIONANTES

É importante referir e incluir nesta análise as condicionantes relacionadas com os requisitos mínimos regulamentares preconizados pelo RCCTE, no âmbito do desempenho térmico, tais como:

- A primeira verificação consiste na comparação dos coeficientes de transmissão térmica obtidos com os valores máximos indicados pelo Regulamento (I);
- Nas zonas de ponte térmica, o coeficiente de transmissão térmica (U), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não ultrapasse o dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos indicados no Quadro 5.1 (II).

5.6.5. ESCALAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA OS DIFERENTES CRITÉRIOS

Para cada critério definido é apresentada a escala de classificação correspondente, para a aplicação posterior da análise multicritério a este exemplo e decisão final. Os quadros 5.9 a 5.13 apresentam as respetivas escalas de classificação.

Quadro 5.9 – Escala de classificação para o critério 1 (desempenho térmico)

U	Nível
$U = U_{\text{ref}}$	1
$U \approx 0.75U_{\text{ref}}$	2
$U \approx 0.60U_{\text{ref}}$	3
$U \approx 0.50U_{\text{ref}}$	4

A escala de classificação atribuída ao critério 1, relacionado com o desempenho térmico, tem como base a classificação de níveis de qualidade térmica da envolvente opaca proposta pelo Professor Vasco Freitas, nos apontamentos da disciplina *Térmica de Edifícios*, no âmbito do MIEC [25]. O nível 4 corresponde à melhor classificação e, portanto o nível 1 equivale à classificação mais fraca. O coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{ref}) corresponde ao valor de referência para a zona climática de Inverno na qual se encontra inserido o edifício em análise (I_2), mencionado anteriormente, de $0,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

O critério 2, relacionado com o fator económico, mais particularmente com o custo/ m^2 para as fachadas de edifícios, é classificado segundo a escala proposta no quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Escala de classificação para o critério 2 (fator económico)

Custo €/m ²	Nível
> 175	1
130- 175	2
< 130	3

Salienta-se o facto de o valor limite inferior para o custo/ m^2 proposto ser de 130€/m^2 uma vez que é este o preço base aproximado, por excesso, para a execução de painéis de GRC.

Relativamente ao terceiro critério, referente à forma de execução da fachada, a classificação consiste apenas em dois níveis. O nível 1 é atribuído à execução da fachada de modo a que os painéis de GRC

são aplicados como revestimento, na fase após conclusão de alvenarias e isolamentos. Por outro lado, o nível 2 corresponde ao caso em que os painéis de GRC são executados em primeiro lugar, efetuando a vedação da obra, em que a fase de execução de alvenarias e revestimentos é posterior. O quadro 5.11 sistematiza estes conceitos.

Quadro 5.11 – Escala de classificação para o critério 3 (modo de execução)

Modo de execução	Nível
1º alvenarias + 2º painéis	1
1º painéis + 2º alvenarias	2

O critério 4 refere-se ao peso médio dos painéis, em kg/m^2 . Quanto mais leve for o painel, melhor a solução. Deste modo, a classificação máxima corresponde ao menor peso. Para o caso particular em análise o peso médio dos painéis do tipo *stud-frame* é cerca de 50 a 70 kg/m^2 enquanto que os painéis sanduíche são um pouco mais pesados, atingindo valores que rondam os 80 kg/m^2 . De qualquer modo, estes valores são significativamente inferiores ao peso de painéis de betão que podem atingir, no caso de painéis com 15 cm de espessura, 400 kg/m^2 . O quadro 5.12 apresenta a escala de classificação proposta para o critério 4.

Quadro 5.12 – Escala de classificação para o critério 4 (peso dos painéis)

Peso dos painéis [kg/m^2]	Nível
70- 90	1
50- 70	2

Finalmente para o último critério proposto, o critério 5 relativo às fixações dos painéis, é também aplicada uma escala de classificação segundo dois níveis. Estes níveis correspondem à simplicidade ou complexidade do tipo de fixações implementado, relacionados com o número de furações, geometria, entre outros aspetos, apresentado no quadro 5.13.

Quadro 5.13 – Escala de classificação para o critério 5 (fixações)

Fixações	Nível
Complexas	1
Simples	2

5.6.6. ANÁLISE E DECISÃO FINAL

Segue-se a aplicação da análise proposta para a situação de estudo, como método de comparação entre as duas soluções de fachada analisadas.

Para o critério 1 relembram-se os coeficientes de transmissão térmica para cada solução, calculados anteriormente: $U_A = 0,394 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $U_B = 0,341 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Acontece que para ambas as soluções a relação U/U_{ref} é muito semelhante, no entanto a relação U/U_{ref} da solução A encontra-se entre os níveis 2 e 3, enquanto que a da solução B situa-se entre os níveis 3 e 4. Deste modo, para haver distinção entre estas, atribui-se a classificação de nível 3 para a solução A e nível 4 para a solução B.

Outra questão importante salientar é o facto de ter sido efetuada a correção térmica nas zonas das juntas de painéis sanduíche para a solução B, cumprindo assim os requisitos referidos.

O resultado da aplicação da análise multicritério proposta ao caso de estudo é o apresentado no Quadro 5.14.

Quadro 5.14 – Aplicação da análise multicritério

Critérios	Ponderação (%)	Solução A	Solução B
1	35	3	4
2	30	1	2
3	25	1	2
4	5	2	1
5	5	1	2
Cond. I		OK	OK
Cond.II		OK	OK
Média		1.75	2.65

No caso deste exemplo, a solução escolhida seria a solução B, que obteve melhor classificação final.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O betão reforçado com fibra de vidro (GRC) é um material que oferece características muito atrativas a vários níveis, nomeadamente na engenharia, arquitetura e construção. Assim, múltiplas aplicações poderão ser contempladas com este material, com ganhos bastante prometedores face a soluções convencionais. O GRC é aplicado a nível mundial principalmente na execução de fachadas pré-fabricadas, sob a forma de painéis de revestimento.

Este trabalho incidiu sobre a caracterização das diretrizes de projeto para a aplicação de painéis de GRC do tipo *stud frame*, aplicadas ao caso de estudo do revestimento de fachadas do edifício do centro de I&D do IPCA, particularmente na análise da solução de fachada executada. Foi realizado o estudo do desempenho térmico e higrotérmico da solução implementada e ainda, analisada uma solução alternativa, com base nos mesmos parâmetros, viabilizando a redução de custos de execução e estaleiro. No final, foi efetuada uma análise comparativa entre as duas soluções, tendo sido proposta pelo autor uma análise multicritério para aplicação em situações reais de decisão da melhor solução de fachada com painéis de GRC a ser implementada.

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foi necessário a recolha de toda a informação possível acerca deste material, relativamente à caracterização do compósito GRC, assim como acerca das diretrizes do projeto de aplicação de painéis de GRC, nomeadamente do tipo *stud frame*. Foi também elaborada uma pesquisa intensiva sobre exemplos de aplicação de painéis de GRC em obras, em Portugal e a nível internacional. A leitura cuidada do RCCTE, particularmente no âmbito das exigências no caso de pontes térmicas foi relevante para o estudo do desempenho térmico de ambas as soluções descritas ao longo deste documento.

Surgiram algumas dificuldades no decorrer deste trabalho, tal como a verificação da conformidade das fachadas revestidas com painéis de GRC entre a fase de projeto e a fase de execução, no âmbito de materiais aplicados e dimensões das camadas constituintes das fachadas.

Como principais conclusões da análise do caso de estudo, é essencial acrescentar uma vantagem à solução B, solução alternativa, relativamente à questão do custo da solução, por apresentar uma solução mais económica. Para além deste facto, esta solução promove todas as vantagens de obra, ou seja, é possível executar a fachada do edifício imediatamente a seguir à estrutura, proporcionando a realização de tarefas no interior com o edifício fechado. Como impacto ambiental e comercial, o edifício permanece em aspeto "de construção" por muito menos tempo.

Relativamente à solução A, a implementada nas fachadas do edifício em questão, esta apresenta mais uma desvantagem relacionada com a questão da aplicação de uma solução mais dispendiosa com painéis *stud frame* que não estão a exercer qualquer papel no desempenho térmico da fachada. Este

tipo de painéis foram aplicados essencialmente por questões estéticas, arquitetónicas, o que se traduz num “desperdício” na medida em que se está a desprezar potencialidades do material GRC.

6.2. PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO

O presente estudo intensivo desenvolvido sobre uma aplicação deste material em particular pode servir como referência para trabalhos desta área, tanto do ponto de vista técnico como científico. Como trabalhos futuros propõe-se proceder a:

- Correção das zonas de ponte térmica da solução alternativa analisada, de forma a cumprir os requisitos do RCCTE, aplicando um material diferente do que foi proposto;
- Realização de ensaios laboratoriais de desempenho térmico, acústico, reação ao fogo e resistência ao impacto das soluções de fachada analisadas no decorrer desta tese;
- Análise de uma outra solução de fachada tendo em vista o melhoramento de outro parâmetro, para além do fator económico e questões de estaleiro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Knowles, E. S., Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels, Precast/Prestressed Concrete Institute, U.S.A., 1993.
- [2] Fernandes, J., *Tratamento de Juntas em Painéis de GRC*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2008.
- [3] Faccio, J. F., *Fachadas Pré Fabricadas em GRC*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi, 2004.
- [4] Peruzzi, A. d. P., *Comportamento das Fibras de Vidro CONvencionais em Matriz de Cimento Portland Modificada com Látex e Adição de Sílica Ativa*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.
- [5] GRC, C.-F., *Cem-FIL® GRC Technical Data*. Cem-FIL International Limited, -, -
- [6] <http://www.grca.org.uk/>. 3 de Outubro de 2012.
- [7] GRC In Action. Today's GRC for Architects and Engineers, Liquorice Suite, England, 2003.
- [8] Abrantes, V., Abrantes, N. *Reabilitação da envolvente exterior dos edifícios*. GEQUALTEC, 1 de Março de 2011, 24, Vila d'Este, Via Nova de Gaia.
- [9] Abrantes, V. *Tecnologias Construtivas na Reabilitação*. Seminário Técnico | EnerDia. , 20 de Outubro de 2011, 84, Centro de Congressos da Exponor, Leça da Palmeira.
- [10] Abrantes, N. P. F., *Requalificação Arquitétonica Na Reabilitação De Edifícios De Habitação Social. Um Caso De Estudo: Vila De Este*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2009.
- [11] Sousa, F. M. F. d., *Fachadas Ventiladas de Edifícios. Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2010.
- [12] <http://www.iberopref.com/>. 24 de Outubro de 2012.
- [13] CATTO, E., BARTH, F., VEFAGO, L. H. M., DUARTE, R. B. *Sistema Construtivo Com Paineis Sanduíche Pré-fabricados de Concreto no Brasil*. Revista Internacional Construlink, Abril/2009, 10, Portugal.
- [14] Barth, F., Vefago, L. H. M. *Fachadas com Painéis de GRC No Brasil*. Revista Internacional Construlink, Outubro/2009, 8, Portugal.
- [15] Simões, I., Branco, F. G., Tiago, P. M. *Painéis de Fachada em Grc*. Revista Internacional Construlink, Outubro/2009, 12, Portugal.
- [16] www.pregaia.com. 22 de Outubro de 2012.
- [17] www.glasscrete.pt. 5 de Outubro de 2012.
- [18] <http://www.mota-engil.pt/AreaDetail.aspx?contentId=2513&parentContentId=37&parentContent2Id=119&Language=1>. 30 de Novembro de 2012.
- [19] <http://www.pci.org/intro.cfm>. 10 de Novembro de 2012.
- [20] Silva, V. G. d., *Diretrizes para o Projeto de Painéis de Fachada em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1998.
- [21] Silva, M. G. d., Silva, V. G. d., *Manual de Construção em Aço - Painéis de Vedação*. Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2004
- [22] CPCI, *Architectural Precast Concrete* Canadian Precast Concrete Institute, Canada, -
- [23] Decretos-Lei, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Decreto-Lei 80/2006, Lisboa, 4 de Abril de 2006
- [24] Santos, C., Matias, L., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Lisboa, 2006
- [25] Freitas, V. P. d., *Apontamentos da disciplina Térmica de Edifícios*. FEUP, Porto, 2012

- [26] Freitas, V. P. d., Pinto, P. d. S., *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas. Nota de Informação Técnica NIT. 002*. Laboratório de Física das Construções - LFC, FEUP, Lisboa, 1998
- [27] <http://prt.sika.com/>. 26 de Novembro de 2012.
- [28] www.artebel.pt/. 30 de Novembro de 2012.
- [29] www.sotecnisol.pt. 30 de Novembro de 2012.
- [30] <http://geradordeprecos.cype.pt/>. 30 de Novembro de 2012.
- [31] www.ipma.pt. 30 de Novembro de 2012.
- [32] Mendonça, P., *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Dissertação de Doutoramento. Universidade do Minho, Faculdade de Engenharia, 2005.
- [33] PlastecGRC, *Glassfibre Reinforced Concrete (GRC) - Technical Specification*. PLASTERCEIL INDUSTRIES PTE LTD, Singapore, -
- [34] www.secil.pt/. 25 de Outubro de 2012.
- [35] www.cimpor-portugal.pt. 31 de Outubro de 2012.
- [36] www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.092/178. 10 de Outubro de 2012.
- [37] www.construlink.com. 10 de Outubro de 2012.
- [38] www.grc-construct.com. 5 de Outubro de 2012.

ANEXOS

A1 – Ficha técnica de parafuso M16 da “Hilti”

	Empresa:	Página 1 de 6
	Projectista:	Cálculo:
	Endereço:	Projecto N.º:
	Telefone/Fax: - / -	Responsável:
Versão PROFIS 1.11.20	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012
http://www.hilti.pt/		

Recomendações do Projectista:

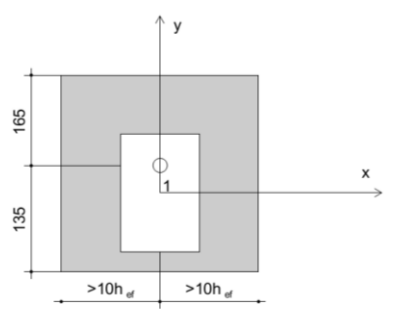
Designação e Métrica: HSA-M16
Embebimento efectivo: $h_{ef} = 84$ mm
Material: unspec
Homologação N.º: ETA-99/0001
Validade: 08.03.2005 / 08.03.2010
Dimensionamento com: método de cálculo ETAG No. 001 Anexo C
Afastamento da chapa de fixação: $e_b = 0$ mm (sem afastamento) ; $t = 10$ mm
Chapa de fixação: S235 (ST37) ; $l_x \times l_y \times t = 100 \times 150 \times 10$ mm
Material Base: não fendilhado Betão C20/25, $f_{cc} = 25.00$ N/mm² ; $h = 10000$ mm
Armadura: Espaçamento da armadura ≥ 150 mm
sem armadura longitudinal de bordo

Fixações

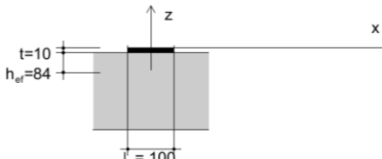



Geometria [mm]

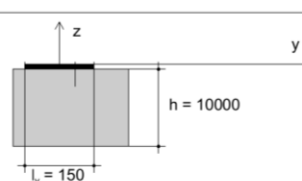
Pianta



Corte A



Corte B

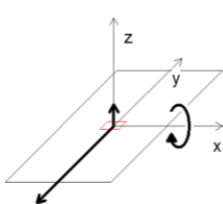


Forças

Forças resultantes [kN, kNm]

$N = 1.20$
 $M_z = 0.00$

$V_y = -6.00$
 $M_y = 0.00$



$V_x = 0.00$
 $M_x = 1.50$

Forças de cálculo [kN, kNm]

N	1.20
V _x	0.00
V _y	-6.00
M _x	1.50
M _y	0.00
M _z	0.00

Excentricidade (do perfil) [mm]
 $e_x = 0$; $e_y = 0$

Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG, FL-9494 Schaan, Hilti é uma marca registada da Hilti AG, Schaan

	Empresa:	Página 3 de 6
	Projectista:	Cálculo:
	Endereço:	Projecto N.º:
	Telefone/Fax: - / -	Responsável:
Versão PROFIS 1.11.20 http://www.hilti.pt/	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012

Corte (ETAG, Anexo C, Capítulo 5.2.3)

Verificação a	Forças de Cálculo [kN]		Utilização β_v [%]	Resultado
	Actuante	Resistente		
Cedência do Aço (sem braço de binário)	6.00	26.73	22	OK
Cedência por Efeito de Alavanca ("Pryout")	6.00	51.74	12	OK
Cedência do bordo na direcção y-	6.00	18.36	33	OK

Cedência do Aço (sem braço de binário)

$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}^h$ [kN]	V_{sd}^h [kN]
39.30	1.470	26.73	6.00

Cedência por Efeito de Alavanca ("Pryout")

$A_{s,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k-factor
63504.0	63504.0	126	252	2.000

$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{fb,N}$	$\psi_{acr,N}$
1.000	1.000	1.000	1.000	1.400

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,c1}^h$ [kN]	V_{sd}^h [kN]
27.72	1.500	51.74	6.00

Cedência do bordo na direcção y-

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	c_1 [mm]	$A_{c,v}$ [mm ²]	$A_{c,v}^0$ [mm ²]
84	16	135	82013.0	82013.0

$\psi_{s,v}$	$\psi_{fb,v}$	$\psi_{ac,v}$	$\psi_{ec,v}$	$\psi_{acr,v}$
1.000	1.000	1.000	1.000	1.400

$V_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{sd} [kN]
19.67	1.500	18.36	6.00

Interação Tracção-Corte (ETAG, Anexo C, Capítulo 5.2.4)

β_N	β_v	α	Utilização $\beta_{N,v}$ [%]	Resultado
0.707	0.327	1.5	78	OK

$\beta_N^0 + \beta_v^0 \leq 1$
 $(\beta_N + \beta_v) / 1.2 \leq 1$

Armadura de bordo

Para evitar fendilhação do betão, é necessária a seguinte armadura paralela ao bordo
 Armadura de bordo: 1 x 8 mm
 Não é necessária armadura de bordo para assegurar a resistência do bordo de betão.

Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG, FL-9494 Schaan, Hilti é uma marca registada da Hilti AG, Schaan

 Versão PROFIS 1.11.20 http://www.hilti.pt/	Empresa:	Página 2 de 6		
	Projectista:	Cálculo:		
	Endereço:	Projecto N.º:		
	Telefone/Fax: - / -	Responsável:		
	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012		

Combinação (Forças de cálculo):

Reacções nas Fixações [kN]
 Tracção: (+Tracção -Compressão)

Fixações	Tracção	Corte
1	15.92	6.00

deformação max. do betão [‰]: 0.35
 tensão de compressão máxima no betão [N/mm²]: 8.95
 força de tracção resultante [kN]: 15.92
 força de compressão resultante [kN]: 14.72



Tracção (ETAG, Anexo C, Capítulo 5.2.2)

Verificação a	Forças de Cálculo [kN]		Utilização β_N [%]	Resultado
	Actuante	Resistente		
Cedência do Aço	15.92	43.79	36	OK
Cedência por Cone de Betão	15.92	25.87	62	OK
Cedência por Fendilhação	15.92	22.52	71	OK

Cedência do Aço

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}^h$ [kN]	N_{Sd}^h [kN]
66.12	1.510	43.79	15.92

Cedência por Cone de Betão

$A_{c,N}$ [mm²]	$A_{c,N}^0$ [mm²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]
63504.0	63504.0	126	252

$\Psi_{ec1,N}$	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{ucr,N}$
1.000	1.000	1.000	1.000	1.400

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
27.72	1.500	25.87	15.92

Cedência por Fendilhação

$A_{c,N}$ [mm²]	$A_{c,N}^0$ [mm²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]
136200.0	206116.0	227	454

$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{ec1,N}$	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{ucr,N}$	$\Psi_{h,sp}$
0.878	1.000	1.000	1.000	1.400	1.500

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
27.72	1.500	22.52	15.92

Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG, FL-9494 Schaan, Hilti é uma marca registada da Hilti AG, Schaan

 Versão PROFIS 1.11.20 http://www.hilti.pt/	Empresa:	Página 4 de 6
	Projectista:	Cálculo:
	Endereço:	Projecto Nº.:
	Telefone/Fax: - / -	Responsável:
	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012

Deslocamentos (fixação mais solicitada)

Carga de curta duração

$N_{Sk}^h = 11.76$ [kN]	$\delta_N = 0.203$ [mm]
$V_{Sk}^h = 4.44$ [kN]	$\delta_V = 0.444$ [mm]
	$\delta_{NV} = 0.488$ [mm]

Carga de longa duração

$N_{Sk}^h = 11.76$ [kN]	$\delta_N = 0.811$ [mm]
$V_{Sk}^h = 4.44$ [kN]	$\delta_V = 0.678$ [mm]
	$\delta_{NV} = 1.057$ [mm]

Comentário: Deslocamentos devido à carga de tracção são válidos com metade do torque de aperto para não fendilhado betão!
 Deslocamentos devido à carga de corte são válidos sem atrito entre a chapa de fixação e o betão! A folga entre o furo da chapa e a fixação não é considerada neste cálculo!

As deformações permitidas pelas fixações deverão ser definidas pelo projectista!

Verificação da transferência das forças ao material base

Transferência das forças para o material base
 A verificação da transferência das forças para o material base deve estar de acordo com o ETAG, capítulo 7.1!

Resistência ao corte do material base
 A resistência ao corte do material base deve ser verificada de acordo com as aprovações ou com: Eurocódigo 2/BS8110

Avisos

A capacidade resistente do bordo do betão é calculada de acordo com a CEN Draft 7, Out. 2003

A fixação escolhida está de acordo com os critérios de cálculo

Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG, FL-9494 Schaan, Hilti é uma marca registada da Hilti AG, Schaan

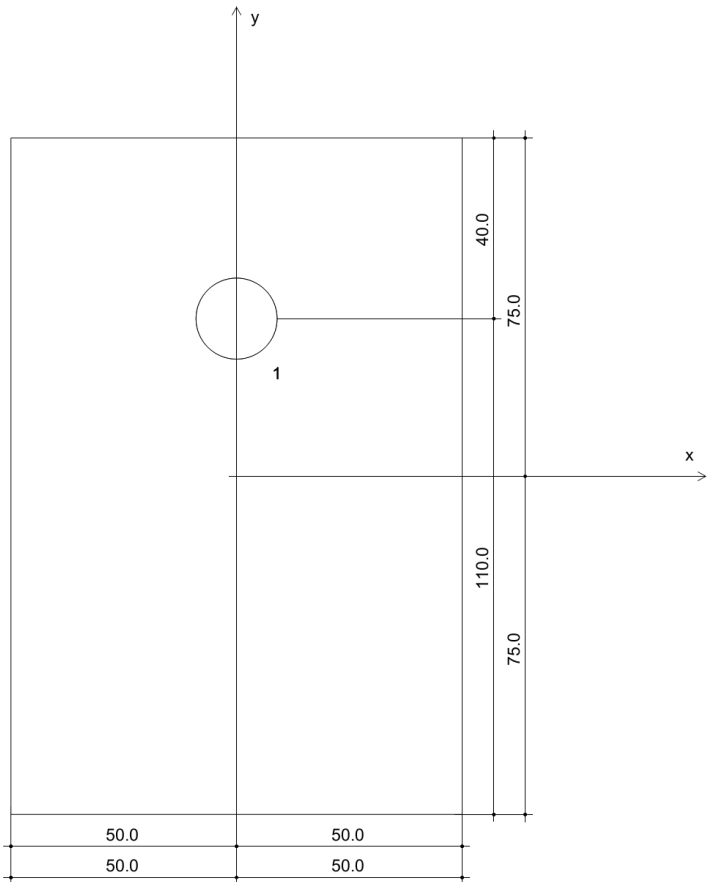
 Versão PROFIS 1.11.20 http://www.hilti.pt/	Empresa:	Página 5 de 6
	Projectista:	Cálculo:
	Endereço:	Projecto N°:
	Telefone/Fax: - / -	Responsável:
	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012

Chapa de fixação, aço: S235 (ST37)

Perfil: - no profile (0 x 0 x 0)

Diâmetro do furo da chapa de fixação $d_f = 18 \text{ mm}$

Espessura recomendada da chapa de fixação: não calculado



Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG, FL-9494 Schaan, Hilti é uma marca registada da Hilti AG, Schaan

	Empresa:	Página 6 de 6
Versão	Projectista:	Cálculo:
PROFIS 1.11.20	Endereço:	Projecto Nº.:
http://www.hilti.pt/	Telefone/Fax: - / -	Responsável:
	E-Mail:	Local/Data: - / 10-10-2012

Coordenadas da fixação [mm]

Fixações	x	y
1	0	35

Chapa de fixação [mm]

x	y	x	y
-50	75	50	-75
50	75	-50	-75

Os dados inseridos no programa e os resultados, devem ser verificados de acordo com as condições existentes no local e de plausibilidade!

PROFIS © 2003 HILTI AG. FL-9494 Schaan. Hilti é uma marca registada da Hilti AG. Schaan

A2 – Ficha técnica de hidrorrepelente Sika Gard 700 S

Ficha Técnica

Edição de Março 2004
N.º de identificação: 3.40
Versão nº 6
Sikagard® 700 S

Sikagard® 700 S**Impermeabilização invisível de fachadas****Descrição do produto**

Sikagard 700 S é um produto de impregnação formulado com base em silicone (siloxane) e solventes, fornecido em um só componente.

Utilizações

Como impregnação repelente de água em variados materiais de construção de base mineral utilizados em fachadas (betão, rebocos, pedras naturais, tijolo, tijoleira não vidrada, fibrocimento, caiações, etc.); actua como protecção antigelo e evita a infiltração de água em superfícies porosas. É recomendado como primário sob pinturas de Sikagard 680 ES Betoncolor, no tratamento de betão ou rebocos de cimento, quando existirem fortes solicitações.

Sikagard 700 S, por conter solventes activos, não deve ser aplicado sobre as tradicionais pinturas para fachadas.

Vantagens

Sikagard 700 S penetra no suporte em profundidade e resiste ao contacto com álcalis. Quando aplicado sobre elementos constituídos por cimento, depois de totalmente endurecidos, constitui um tratamento muito resistente quimicamente. A repelência da água da chuva batida é excelente, mas não forma barreira de vapor e possibilita a evaporação da água contida nos materiais constituintes da construção (por exemplo: betão, rebocos). A resistência à geada e à água de condensação é substancialmente melhorada e diminuirá a aderência e depósito de impurezas. Como primário para Sikagard 680 ES Betoncolor, Sikagard 700 S fornece uma protecção adicional como repelente de água em poros eventualmente existentes, zonas deficientemente pintadas e fissuras (mesmo que surjam posteriormente, até 0,2 mm de largura). Este processo é particularmente recomendado contra a penetração e o congelamento da água de condensação e orvalho, mas só deve ser utilizado em bases que possuam uma determinada capacidade de absorção.

Dados do produto

Tonalidade Líquido incolor.

Fornecimento 5 e 25 litros.

Armazenagem O produto deve estar armazenado em local fresco e seco, na embalagem de origem.

Conservação Conserva-se 18 meses a partir da data de fabrico.

Dados técnicos

Massa volúmica (23° ± 2°C) Aprox. 0,8 kg/l.



Modo de emprego

Preparação da superfície Deve encontrar-se isenta de poeiras e outras impurezas; eventuais eflorescências calcárias e restos de tintas antigas devem ser removidos. Fissuras existentes devem ser cuidadosamente colmatadas. O melhor efeito é obtido quando a aplicação é efectuada sobre superfícies secas e com suficiente absorção. No entanto, Sikagard 700 S pode ser aplicado com êxito em zonas ligeiramente humedecidas (teor de humidade máximo: 10%). Se elementos de betão ou rebocos, já tratados com Sikagard 700 S, apresentarem juntas carecidas de selagem com mastiques não ocorre qualquer problema de aderência, nem existe impedimento na utilização dos primários para os respectivos mastiques. Embora juntas tratadas com Sikagard 700 S possam ser colmatadas com vários mastiques do nosso programa de fabrico, a experiência recomenda, como mais eficaz, Sikaflex HP1. Elementos de caixilharia que vão receber uma posterior pintura devem ser isolados, quando se efectuar a aplicação de Sikagard 700 S. Igual cuidado é extensivo aos vidros de janelas, pois Sikagard 700 S não pode ser retirado das superfícies onde aderir. Sikagard 700 S não ataca o PVC, mas exerce uma acentuada agressão em poliestireno expandido e borracha sintética, provocando o seu amolecimento, entumescimento e mesmo ruptura. Recomenda-se por tais motivos, que a colocação ou montagem destes elementos se efectue somente após aplicação de Sikagard 700 S. Se tal não for possível, impõe-se o seu isolamento cuidado, quando decorrerem as operações de pintura.

Aplicação Sikagard 700 S é fornecido pronto a aplicar.

Método de aplicação Empregar pincéis ou pulverizadores normais, aplicando-se farta e uniformemente.

Esquemas de pintura 1-2 x Sikagard 700 S; quando da utilização de 2 demãos, a aplicação efectua-se fresco sobre fresco.

Rendimento Aprox. 4 m²/l, por demão.

Tempos de espera Quando utilizadas 2 demãos, Sikagard 700 S aplica-se fresco sobre fresco. Como primário para Sikagard 680 ES Betoncolor deve reservar-se um tempo de secagem não inferior a 5 horas. Neste esquema a 1ª demão de Sikagard 680 ES Betoncolor (incolore ou colorido) deve diluir-se com aproximadamente 10% de Diluente C.

Limpeza de ferramentas Com Diluente B.

Risco e segurança

Medidas de segurança No estado líquido, Sikagard 700 S e Diluente B podem contaminar a água, pelo que não devem ser vazados nas canalizações ou terrenos. Se a aplicação de Sikagard 700 S se efectuar em locais não arejados é aconselhada uma ventilação cuidada. Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente com água e consultar o médico. Para mais informações, consultar a ficha de segurança do produto.

"O produto está seguro na Cª Seguros Metrópole, SA (Apólice nº 4036758), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar as versões mais recentes das fichas técnicas dos respectivos produtos, que serão entregues sempre que pedidas.

Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113 Tel. +351 22 377 69 00
4400-292 V. N. Gaia Fax +351 22 370 20 12
Portugal www.sika.pt



A3 – Ficha técnica do bloco térmico “proETICS” da “Artebel”



BLOCO TÉRMICOproETICS®

EN 771-3:2003/A1:2005



2006

IDENTIFICAÇÃO DO FABRICANTE		
ARTEBEL, S.A. NIPC: 500 688 281 www.artebel.pt comercial@artebel.pt	Fábrica 1 (Sede)	Fábrica 2
	Meirinhas de Gima – Pombal ● 3105-219 Meirinhas	Venda da Cruz – Pombal ● 3100-300 Pelariga
	Pombal	Pombal
	Telef : +351 236.949.180	Telef : +351 236.211.742
	Fax : +351 236.949.189	Fax : +351 236.219.692

DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE

Norma de Conformidade / Tipo de Material / Utilização recomendada

EN 771-3:2003/A1: 2005 – Especificações para blocos de alvenaria – Parte 3: Blocos de betão de agregados (densos e leves). Blocos de betão constituídos por agregados correntes e leves (argila expandida), cuja utilização principal seja alvenaria, revestida ou à vista, em edifícios ou obras de engenharia civil. Adequados para utilizações onde as alvenarias normais não se revelam as mais apropriadas em termos construtivos. Blocos categoria II, de baixa densidade (LD), sem requisitos estruturais para não ficar expostos à água e com requisitos térmicos e acústicos específicos.

A empresa declara sob responsabilidade que o(s) produto(s) mencionados cumprem com os requisitos da diretiva 89/106/CEE do Conselho das Comunidades Europeias à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos estados membros no que respeita aos produtos da construção (diretiva dos produtos da construção – CPD), alterada pela diretiva 93/68/CEE do Conselho das Comunidades Europeias, encontrando-se em conformidade com a(s) norma(s) /utilização referenciada(s).

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS, MECÂNICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E TÉRMICAS DO PRODUTO					
PROPRIEDADES CARACTERÍSTICAS	PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO	CATEGORIA DECLARADAS	UNIDADE DE MEDIDA	NOTAS	
Configuração, aparência, dimensões nominais externas Tolerâncias dimensionais	EN 771-3:2003 A1:2005 EN 771-2-16	Ver esboço Categoria D1	mm	«**»	
Resistência média à compressão ⊥ à face de assentamento ⊥ à face de topo	EN 772-1	≥ 2.5	Mpa N/mm ²	«L1»	
Reação ao Fogo	EN 772-3 EN 13501-1	Classe A1	«**»	«**»	
Absorção de água	EN 772-11	D.N.D.	% Massa	«d.c»	
Massa volúmica seca	EN 772-13	BTE 15 BTE 20 BTE 25 BTE 30	1080 1110 1078 1090	Kg/m ³	«d.c»
Resistência térmica	EN 12664:2002		«D.N.D.» 0.93 1.00 1.05	m ² °C/W	«L2»
Coefficiente de transmissão térmica (U) Valor médio dos limites superior e inferior	EN 1745:2002 ISO 6946		«D.N.D.» 1.07 1.00 0.95	W/m ² °C	+5cm ETICS «D.N.D.» 0.46 0.44 0.43 «L2»
Isolamento sonoro Sons aéreos nas condições finais de utilização	EN 20140-3 ISO 717-1		41 47 48 49	dB	«L4» «L1»
Durabilidade Resistência ao gelo/degelo	«**»	D.N.D.	«**»	«**»	
Substâncias perigosas	«**»	«**»	«**»	«L3»	

Os valores / classes declaradas são produtos com idade superior ou igual a 28 dias

NOTA / SIMBOLOGIA UTILIZADA:

⊥	Perpendicular a..
«**»	Campo inutilizado
≈	Aproximado
<<	Muito inferior a
«D.N.D.»	Desempenho não determinado
«a.d.»	A determinar conforme solicitado
«d.c.»	Determinado aquando a primeira caracterização do produto
«L1»	Laboratório interno da empresa
«L2»	Laboratório externo
«L3»	Informação apenas fornecida quando e onde requerida e em documento próprio
«L4»	Com reboco exterior e interior de 2.0 e 1.5 cm respetivamente.



APROVAÇÃO DA ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO

A última atualização efetuada a este documento foi verificada, avaliada e aprovada por:

«Rubrica (s) ou assinatura do (s) responsáveis pela aprovação»

Este documento é propriedade intelectual da empresa, não podendo o mesmo ser reproduzido, divulgado ou copiado, no seu todo ou parte, sem autorização expressa emitida pelos responsáveis. A empresa reserva-se todos os direitos de acordo com a legislação em vigor. Este documento é de caráter informativo, sendo que a empresa reserva-se o direito de alterar o seu conteúdo sem aviso prévio, sempre que se justifique e em função da evolução das características do produto. A nossa responsabilidade limita-se à garantia de qualidade do produto fornecido, declinando-se quaisquer anomalias resultantes da sua manipulação, armazenamento, acondicionamento e aplicação indevida.



BLOCO TÉRMICOproETICS®

EN 771-3:2003/A1:2005



FICHA TÉCNICA DO PRODUTO

DESCRIÇÃO DO PRODUTO:

O **TÉRMICOproETICS®** é um bloco em betão leve de agregados de argila expandida.

O seu comportamento térmico regulamentar, constitui alternativa a soluções de parede dupla, dispensando o recurso a outros materiais subsidiários.

Apresenta encaixe macho-fêmea, permitindo a realização de juntas verticais secas.

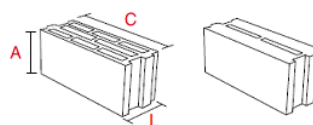
UTILIZAÇÕES:

Destinado à execução de paredes simples ou duplas, onde a exigência de isolamento térmico se impõe. As paredes exteriores simples, constituem o universo de utilização do bloco **TÉRMICOproETICS® artebel®**.

CONFIGURAÇÃO, APARÊNCIA, DIMENSÕES NOMINAIS GENÉRICAS:

Modelo Variante	Comprimento (C) + 3 mm - 5 mm	Altura (A) + 3 mm - 5 mm	Largura (L) + 3 mm - 5 mm	Massa Kg / Un ±5%
BTE 15	500	200	150	12
BTE 20			200	13
BTE 25			250	14.5
BTE 30			300	15

Os blocos podem ser providos de reentrâncias, ou dispositivos de encaixe e apresentar arestas vivas, boleadas ou chanfradas
Espessura dos septos (quando existentes) ≥ 17 mm • Percentagem de furação (quando existente) ≥ 50%



VANTAGENS:

- Isolamento térmico;
- Isolamento acústico;
- Elevada rentabilidade;
- Simplicidade na aplicação;
- Reduzido consumo de argamassa de assentamento;
- Estabilidade dimensional;
- Reduzida absorção por capilaridade;
- Verticalidade e planimetria de superfícies.

RECOMENDAÇÕES/FASES PARA A APLICAÇÃO:

O bloco deverá apresentar-se limpo e livre de gorduras.

O assentamento deverá ser realizado contrafiado, com o cuidado de deixar as duas faces da parede regulares. O bloco é assente sem argamassa nas juntas, com espessura entre 10 mm. a 15 mm., preferencialmente com argamassa pré-doseada ou em alternativa com uma argamassa bastarda, com um traço volumétrico aproximado de 1; ½; 8, (cimento; cal hidráulica; areia). Caso as condições atmosféricas se encontrem com humidade reduzida, os blocos deverão ser humedecidos.

A abertura dos roços deverá ser efetuada de preferência com abre-roços elétrico, reduzindo ao mínimo as dimensões e o número de septos afetados.

Este documento é propriedade intelectual da empresa, não podendo o mesmo ser reproduzido, divulgado ou copiado, no seu todo ou parte, sem autorização expressa emitida pelos responsáveis. A empresa reserva-se todos os direitos de acordo com a legislação em vigor. Este documento é de caráter informativo, sendo que a empresa reserva-se o direito de alterar o seu conteúdo sem aviso prévio, sempre que se justifique e em função da evolução das características do produto. A nossa responsabilidade limita-se à garantia de qualidade do produto fornecido, declinando-se quaisquer anomalias resultantes da sua manipulação, armazenamento, acondicionamento e aplicação indevida.



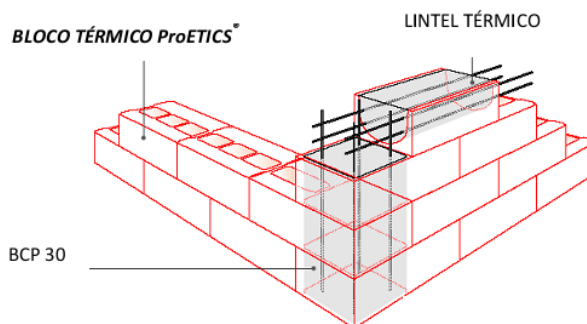
BLOCO TÉRMICOproETICS®

EN 771-3:2003/A1:2005



OBSERVAÇÕES:

1. A artebel® propõe a conjugação do bloco *TÉRMICOproETICS*® ao bloco de *COFRAGEM DE PILAR (BCP)* e ao *LINTEL TÉRMICO*. Os três elementos permitem simplificar o processo construtivo e aumentar a rapidez de execução das paredes, dispensando o recurso a materiais subsidiários para cofragem, tendo uma vasta aplicação em construções de baixo porte, tais como moradias.
2. O bloco *TÉRMICOproETICS*® constitui solução ideal para os sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS), pela elevada inércia e coeficientes de transmissão térmica que proporciona.



Este documento é propriedade intelectual da empresa, não podendo o mesmo ser reproduzido, divulgado ou copiado, no seu todo ou parte, sem autorização expressa emitida pelos responsáveis. A empresa reserva-se todos os direitos de acordo com a legislação em vigor. Este documento é de carácter informativo, sendo que a empresa reserva-se o direito de alterar o seu conteúdo sem aviso prévio, sempre que se justifique e em função da evolução das características do produto. A nossa responsabilidade limita-se à garantia de qualidade do produto fornecido, declinando-se quaisquer anomalias resultantes da sua manipulação, armazenamento, acondicionamento e aplicação indevida.

DT – BLOCO TÉRMICOproETICS® • Última Atualização: 2013-01-08 • Página 3 de 3

A4 – Ficha técnica do Gesso Projetado “Seral”



FICHA TÉCNICA

SERAL 610®

Gesso de estuque aligeirado de projectar (EN 13279-1).

PRODUTO

Produto à base de gesso sob forma de sulfato de cálcio semi-hidratado, cargas minerais, silicatos expandidos e aditivos específicos.

APLICAÇÃO

Aplicar como revestimento para paramentos interiores de paredes e tectos.

SUPORTES

Suportes convencionais dos paramentos de paredes e tectos, nomeadamente betão moldado em obra e alvenarias não rebocadas de tijolo e de blocos de betão. Os suportes devem estar secos, livres de poeiras e produtos estranhos. Nas superfícies de betão devem ser removidas eventuais marcas de óleo, gordura, ceras, etc. Nos suportes de betão moldado em obra, caso a superfície se encontre muito lisa e compacta, devem sofrer uma preparação aplicando um primário à base de resina ou um crespido em camada descontínua com argamassa fluída de cimento ou picagem da superfície de forma a criar pontos de aderência.

MODO DE EMPREGO

- 1- Na projecção com máquina de doseamento automático de água, a água a usar deve ser a menor quantidade que permita a trabalhabilidade desejada.
- 2- Devem manter-se constantes a quantidade de água, a distância à parede e o ângulo de aplicação.
- 3- Depois de aplicado sobre o suporte a superfície é alisada com uma régua metálica e após cerca de 2 horas (início de presa) o revestimento é apertado/raspado com talocha metálica para regularização de superfície.

PRECAUÇÕES E RECOMENDAÇÕES

- Respeitar a água da amassadura. Utilizar água isenta de impurezas e não adicionar quaisquer produtos.
- Não aplicar com temperaturas < a 5°C nem > a 35°C.
- Não aplicar em suportes húmidos.
- Deve aplicar-se com uma espessura de entre 2 a 3cm.
- Durante a aplicação do gesso de estuque recomenda-se particular atenção às alvenarias, nomeadamente as fissuras entre tijolos devem ser preenchidas, buracos na alvenarias devem ser tapados. Particular atenção ao prumo das paredes, usando baguetes ou perfis nos ângulos e guias verticais nas paredes.
- O revestimento deve respeitar as juntas existentes no suporte, como o caso das juntas de dilatação, sendo aí interrompidas.
- Após aplicação do revestimento de gesso devem criar-se condições mínimas a fim de evitar a penetração da chuva, para evitar o aparecimento de manchas de humidade e amolecimento.
- Os equipamentos e utensílios de aplicação devem ser lavados na interrupção da aplicação do produto.

EMBALAGEM E VALIDADE

O SERAL 610® é fornecido em sacos de 20kg.

O produto, desde que as condições originais de embalagem se mantenham, tem uma validade de ± 6 meses em condições de armazenamento ao abrigo de temperaturas extremas e humidade.



CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

Aspecto: Pó branco

Consumo Teórico: 10-11 Kg/m²/cm espessura

Densidade do Produto Pó (Kg/m³): 770-880

Água de Amassadura (%): 40-45

Início de presa (min.): ≥ 120

Resistência à Flexão (N/mm²): ≥ 1,0

Resistência à Compressão (N/mm²): ≥ 2,0

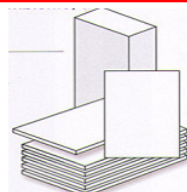


A5 – Ficha de poliestireno expandido (EPS) da “sotecnisol”



TABELA DE PREÇOS DE VENDA

POLIESTIRENO EXPANDIDO



Refª / Dens (Kg/m3)	STD (10)	EPS 30 (12)	EPS 60 (15)	EPS 100 (20)	EPS 150 (25)
------------------------	-------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------

Espessura (mm)	PREÇO / M2					Nº. Plac. Emb. (1000x1000 mm)
5			0,39€	0,50€	0,71€	106
10	0,57€	0,66€	0,78€	1,00€	1,43€	60
15	0,86€	0,99€	1,16€	1,50€	2,14€	40
20	1,14€	1,33€	1,55€	2,00€	2,86€	30
25	1,43€	1,66€	1,94€	2,50€	3,57€	24
30	1,71€	1,99€	2,33€	3,00€	4,29€	20
35	2,00€	2,32€	2,71€	3,50€	5,00€	17
40	2,29€	2,65€	3,10€	4,00€	5,71€	15
45	2,57€	2,98€	3,49€	4,50€	6,43€	13
50	2,86€	3,32€	3,88€	5,00€	7,14€	12
60	3,43€	3,98€	4,65€	6,00€	8,57€	10
70	4,00€	4,64€	5,43€	7,00€	10,00€	8
80	4,57€	5,31€	6,20€	8,00€	11,43€	7
90	5,14€	5,97€	6,98€	9,00€	12,86€	6
100	5,71€	6,63€	7,76€	10,00€	14,29€	6

Medidas Standard: 1000x1000 mm / 2000x1000 mm / 1000x500 mm

EPS 100 – medida standard: 1000x500 mm (também possível sem custos acrescidos nas medidas standard mencionadas acima)

Medida sob consulta: 2000x500 mm

Estes preços são acrescidos da taxa do IVA em vigor .
Estes preços podem ser alterados sem aviso prévio .
Tabela emitida em 23 de Novembro de 2012

A6 – Resultado de preços para parede de fachada de alvenaria de tijolo de 7cm (gerador de preços da “CYPE”)

FFR010 m² Pano interior de fachada, de alvenaria de tijolo cerâmico para revestir.

Pano interior de parede de fachada **de 7 cm de espessura, de alvenaria de tijolo cerâmico furado duplo, para revestir, 30x20x7 cm, assente com argamassa de cimento M-5.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt04lpt010b	Ud	Tijolo cerâmico furado duplo, para revestir, 30x20x7 cm, segundo NP EN 771-1.	16,800	0,10	1,68
mt09mor010c	m³	Argamassa de cimento CEM II/B-L 32,5 N tipo M-5, confeccionada em obra com 230 kg/m³ de cimento e uma proporção em volume 1/6.	0,006	115,30	0,69
mo019	h	Oficial de 1ª construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,228	16,08	3,67
mo105	h	Operário não qualificado construção em trabalhos auxiliares de pedreiro.	0,114	14,63	1,67
	%	Meios auxiliares	3,000	7,71	0,23
	%	Custos indirectos	3,000	7,94	0,24
Custo de manutenção decenal: 0,65€ nos primeiros 10 anos.				Total:	8,18

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 771-1:2003 Especificações para elementos de alvenaria – Parte 1: Tijolos cerâmicos EN 771-1:2003/A1:2005	142005	142006	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade

A7 – Resultado de preços para a execução de gesso projetado (gerador de preços da “CYPE”)

RPG015 m² Gesso projectado.

Revestimento de gesso de construção B1, projectado, **aplicado diretamente**, sobre paramento **vertical, até 3 m de altura, prévia colocação de malha anti-álcalis nas mudanças de material, acabamento estucado com gesso de aplicação em camada fina C6, de 15 mm de espessura, com perfil para proteção de arestas.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt28vye020	m ²	Rede de fibra de vidro tecida, de 5x5 mm de vão, flexível e imputrescível no tempo, de 70 g/m ² de massa superficial e 0,40 mm de espessura do fio, para armar gessos.	0,105	0,76	0,08
mt09pye010c	m ³	Pasta de gesso de construção para projectar com misturadora-bombadora B1, segundo EN 13279-1.	0,012	94,66	1,14
mt28vye010	m	Cantoneiras de plástico e metal, estáveis à ação dos sulfatos.	0,215	0,35	0,08
mt09pye010a	m ³	Pasta de gesso para aplicação em camada fina C6, segundo EN 13279-1.	0,003	88,58	0,27
mq06pym010	h	Misturadora-bombadora para argamassas e gessos projectados, de 3 m ³ /h.	0,197	7,95	1,57
mo031	h	Oficial de 1 ^a gesseiro.	0,191	16,08	3,07
mo066	h	Ajudante de gesseiro.	0,117	15,62	1,83
	%	Meios auxiliares	2,000	8,04	0,16
	%	Custos indirectos	3,000	8,20	0,25
Custo de manutenção decenal: 1,44€ nos primeiros 10 anos.				Total:	8,45

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13279-1:2008 Gesso e produtos à base de gesso para a construção - Parte 1: Definições e requisitos	1102009	1102010	

- (1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência
 (2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE
 (3) Sistema de avaliação da conformidade

A8 – Resultado de preços para a execução de reboco exterior (gerador de preços da “CYPE”)

RPR010 m² Reboco liso sobre paramento exterior.

Reboco **liso com acabamento lavado** realizado com argamassa de cal sobre um paramento **exterior**, **prévia colocação de malha anti-álcalis nas mudanças de material e nas testas de laje**.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt09mor050d	m ³	Argamassa de cal aérea ou apagada (1:4), confeccionada em obra.	0,010	123,30	1,23
mt09mor050c	m ³	Argamassa de cal aérea ou apagada (1:3), confeccionada em obra.	0,007	126,30	0,88
mt09var030a	m ²	Malha de fibra de vidro tecida, com impregnação de PVC, de 10x10 mm, anti-álcalis, de 115 a 125 g/m ² e 500 µ de espessura, para armar rebocos tradicionais, emboços e argamassas.	0,210	1,55	0,33
mo037	h	Oficial de 1ª rebocador.	0,344	16,08	5,53
mo074	h	Ajudante de rebocador.	0,344	15,62	5,37
mo102	h	Operário especializado rebocador.	0,344	15,33	5,27
	%	Meios auxiliares	2,000	18,61	0,37
	%	Custos indirectos	3,000	18,98	0,57
Custo de manutenção decenal: 9,19€ nos primeiros 10 anos.				Total:	19,55

A9 – Resultado de preços para a execução de isolamento pelo exterior com poliestireno extrudido XPS (gerador de preços da “CYPE”)

NAF040 **m²** **Isolamento pelo exterior em fachadas ventiladas.**

Isolamento pelo exterior em fachada ventilada formado por **painel rígido de poliestireno extrudido, de superfície lisa e bordo lateral macho-fêmea, de 50 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 300 kPa, fixado mecanicamente.**

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt16aaa020ib	Ud	Fixação mecânica para painéis isolantes de poliestireno extrudido, colocados diretamente sobre a superfície suporte.	6,000	0,19	1,14
mt16pxa010c	m ²	Painel rígido de poliestireno extrudido, segundo EN 13164, de superfície lisa e bordo lateral macho-fêmea, de 50 mm de espessura, resistência à compressão ≥ 300 kPa, resistência térmica $1,5 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,034 \text{ W/(m}^2\text{C)}$, Euroclasse E de reacção ao fogo, com código de designação XPS-EN 13164-T1-CS(10/Y)250-DLT(2)5-DS(TH)-WL(T)0,7.	1,050	10,48	11,00
mo049	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,141	16,08	2,27
mo092	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,141	15,62	2,20
	%	Meios auxiliares	2,000	16,61	0,33
	%	Custos indirectos	3,000	16,94	0,51
Custo de manutenção decenal: 0,35€ nos primeiros 10 anos.				Total:	17,45

Referência e título da norma	Aplicabilidade (1)	Obrigatoriedade (2)	Sistema (3)
EN 13164:2008 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios - Produtos manufacturados de espuma de poliestireno extrudido (XPS) - Especificação	192009	192010	

(1) Data de entrada em aplicação da norma harmonizada e início do período de coexistência

(2) Data final do período de coexistência / entrada em vigor da marcação CE

(3) Sistema de avaliação da conformidade