



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

**Caracterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas.
Análise do Comportamento.**

Miguel Resendes Dutra

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil**

Júri

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Professor Doutor Pedro Gameiro Henriques

Co-orientadora: Professora Doutora Maria do Rosário Veiga

Vogal: Professor Doutor Pedro Vaz Paulo

Março 2010

Caracterização de Revestimentos em Fachadas.

Análise do Comportamento.

Miguel Resendes Dutra

RESUMO

Esta dissertação incide sobre a técnica construtiva de fachadas ventiladas. Após a caracterização desta técnica, aborda diversos tipos de revestimento e sistemas de fixação, isolantes térmicos e patologias que as fachadas ventiladas podem apresentar. Os conceitos definidos revestem-se de especial importância para se perceber o correcto funcionamento deste sistema e para a compreensão das vantagens que apresenta.

Para além de se destacarem as diversas vantagens, foram desenvolvidos ensaios laboratoriais (ensaios de humidade, capilaridade, condutibilidade térmica e ensaios de choque) com o objectivo de avaliar o funcionamento deste tipo de fachada em situações gravosas, em presença de chuva associada ao vento e ainda nos casos de choque.

Com o trabalho experimental efectuado concluiu-se que o sistema de fachadas ventiladas com fixação indirecta através de gatos em suporte de alvenaria de tijolo furado, com caixa-de-ar, isolamento térmico (lã de rocha e XPS) e revestimento em painéis de calcário moleano, com juntas abertas, apresenta-se como uma boa solução para paredes expostas ao vento e à chuva, pois a água encontra muita dificuldade em chegar à parede de suporte. Por outras palavras, a caixa-de-ar e o isolamento térmico apresentam-se como uma barreira que, não sendo estanque, permite a entrada de uma quantidade de água muito pequena.

Em relação ao isolante térmico, dos dois tipos que foram ensaiados (XPS e lã-de-rocha), o XPS revela-se como o mais indicado e eficaz para a função de isolamento térmico, uma vez que este material apresenta índices de capilaridade muito baixos e que tenderá a manter as suas qualidades de isolante térmico inalteradas, mesmo quando em contacto com a água que entra pelas juntas do revestimento. Não esquecer contudo que a lã-de-rocha apresenta um comportamento muito melhor perante o fogo que o XPS levando a que em muitas situações esta seja escolhida como isolante térmico em detrimento do XPS.

Palavras chave: Fachada ventilada, ensaio à humidade, isolamento térmico, revestimento.

Characterization of Coatings in Facades. Behavior Analysis

Miguel Resendes Dutra

ABSTRACT

This dissertation presents the state of art in ventilate façade where address since coatings fixation, thermal insulation and pathologies. The defined terms are very important to understand the correct work of the system and understand the benefits of this technical.

Were also carried out laboratory tests (humidity, capillarity, thermal conductivity, impact test) to conclude about the function of this kind of façade in situations of rain, wind and extreme impacts.

With the laboratory test We can conclude that the system of ventilated façades with a coating of moleanos stone fixed indirectly to the wall with clinchers, with open joints between the panels, ventilated air space, and thermal coating, may present itself as a good solution for the construction of buildings since, as it was demonstrated in this experimental study, the humidity which reaches the supporting wall is insignificant.

We can also conclude that XPS presents a lower value of capillarity than rockwool, it being for this reason expected that it has a better performance on site, tending to effectively keep water from entering the supporting wall, without losing its qualities of thermal resistance. Taking into consideration the fact that rockwool reveals lesser capillarity than XPS, there must be some care in avoiding it from being reached by the water that may eventually enter through the joints of the coating.

Rockwool behaves much better in case of fire than XPS with the result that in many situations this is chosen as insulation instead of the XPS.

Keywords: Ventilated façades, thermal insulation, Humidity test, Coatings.

AGRADECIMENTOS

Concluído o trabalho, quero deixar em registo a minha estima, o meu apreço e a minha gratidão:

À Engenheira Doutora Maria do Rosário Veiga pelo interesse demonstrado neste trabalho, sempre disponível para me ouvir, aconselhar e incentivar, pela forma como me foi dando indicações e por ter disponibilizado as instalações do LNEC para a realização dos ensaios;

Ao Professor Pedro Gameiro Henriques (orientador científico) que esteve presente de forma exemplar e disponível neste trabalho, pela sua orientação e pelo seu empenho pessoal na realização desta dissertação, nunca descurando indicações, sugestões, incentivos e métodos;

Ao Bento Sabala pela sua múltipla disponibilidade, empenho, tempo dispendido e ideias para que este estudo experimental fosse correctamente executado;

À empresa Termipol II,Lda em especial ao Sr. Aurélio Tábuas pela lâ-de-rocha e XPS gentilmente cedidos para este estudo experimental;

À empresa Simes Lda, em especial ao Sr. Verissimo pelo fornecimento de gatos, camisas e resina de fixação;

À empresa Filstone Lda, pela disponibilização dos revestimentos de pedra calcário moleano;

À empresa Tendemassa pela mão-de-obra facultada para que todo o sistema de fachadas ventiladas fosse “posto de pé”;

À empresa Cerâmica Avelar pelos tijolos cedidos para a construção da parede de suporte;

Aos meus pais pela ajuda incansável, pelos seus conselhos e pelo apoio neste trabalho;

Ao meu tio Weber pela sua ajuda na revisão do texto.

À minha amiga Maria pelo tempo dispendido e pela ajuda em pontos específicos.

Aos meus amigos J. P. , “Cebola” e Toni pela ajuda.

Ao Sr. José Caria pelo tempo dispendido e pela disponibilidade demonstrada.

E a todos os meus amigos e familiares que me ajudaram directa ou indirectamente.

Índice de Texto

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Preâmbulo	1
1.1.1. Objectivos	1
1.1.2. Estrutura	2
1.2. Relevância do Tema	2
2. FACHADAS.....	3
2.1. Evolução das Fachadas em Portugal.....	3
2.2. Exigências das Paredes e Fachadas.....	4
3. FACHADA VENTILADA	6
3.1. Classificação de Fachadas Ventiladas	7
3.1.1. Constituição das Fachadas Ventiladas segundo o Material Utilizado.....	7
3.1.2. Classificação Segundo os Sistemas de Fixação.....	8
3.2. Revestimento - Características dos Materiais Utilizados em Fachadas Ventiladas.....	9
3.2.1. Painéis de Pedra	9
3.2.2. Painéis Cerâmicos	11
3.2.3. Painéis de Alumínio Composto	12
3.2.4. Painéis Fenólicos	12
3.2.5. Painéis de Betão Polímero	13
3.3. Isolamento Térmico	14
3.3.1. Materiais de Isolamento	17
3.3.1.1. Lã Mineral	17
3.3.1.3. Poliuretano.....	17
3.3.1.4. Poliuretano Projectado	18
3.3.1.5. Poliestireno Expandido (EPS)	19
3.3.1.6. Poliestireno Extrudido (XPS)	20
3.3.1.7. Cortiça	20

3.4. Comportamento em Caso de Incêndio	21
3.5. Considerações do Projecto	22
3.6. Ventilação	27
3.6.1. Ventilação de Paredes.....	27
3.6.2. Efeito Chaminé.....	27
3.7. Humidade	29
3.8. Juntas.....	30
3.9. Base Suporte de Fixação	32
3.10. Fixações	36
3.10.2.1. Fixação de Elementos de Grande Espessura	41
3.10.2.2. Fixação à Vista para Elementos de Espessura Fina	41
3.10.2.3. Sistemas Sobrepostos	42
3.10.2.4. Fixação Oculta para Elementos de Espessura Fina	43
3.11. Anomalias	43
4. ENSAIOS EXPERIMENTAIS SOBRE UM SISTEMA CONSTRUTIVO.....	50
4.1. Ensaio de Capilaridade	50
4.1.1. Objectivo	50
4.1.2. Metodologia do Ensaio	50
4.1.3. Descrição do Ensaio	51
4.1.4. Resultados do Ensaio	52
4.1.5. Apreciação dos Resultados	54
4.2. Ensaio de Condutibilidade Térmica	55
4.2.1. Objectivos	55
4.2.2. Metodologia do Ensaio	55
4.2.3. Descrição do Ensaio	55
4.2.3.1. Condições do Ensaio	55
4.2.3.2. Material Utilizado.....	55
4.2.4. Resultados do Ensaio	56
4.2.5. Apreciação dos Resultados	57
4.3. Ensaio do Sistema em Fachada Ventilada.....	57

4.3.1. Parede	57
4.3.2. Afixação de Sensores	58
4.3.3. Isolantes	58
4.3.4. Revestimento	59
4.3.6. Juntas entre as Placas de Revestimento	60
4.3.7. Caixa-de-ar entre Revestimento e Isolante.....	61
4.3.8. Fixações.....	61
4.4. Ensaio de Humidades	63
4.4.1. Metodologia do Ensaio	64
4.4.2. Descrição do Ensaio	64
4.4.3. Condições de Realização dos Ensaios	65
4.4.4. Preparação do Ensaio.....	66
4.4.5. Resultados do Ensaio	69
4.4.6. Apreciação dos Resultados	73
4.5. Ensaio de Choque.....	74
4.5.1. Objectivo	74
4.5.2. Metodologia de Ensaio	74
4.5.3. Ensaio de Choque de Corpo Duro de 10 J	74
4.5.3.1. Resultados do Ensaio de Choque de Corpo Duro 10 J	75
4.5.4. Ensaio de Choque de Corpo Duro de 3 J	76
4.5.4.1. Resultado do Ensaio de Choque de Corpo Duro 3 J	76
4.5.4.2. Apreciação dos Resultados	77
4.6. Conclusões Finais da Parte Experimental	77
5. CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução histórica das paredes em Portugal (Ferreira, 2008).	4
Figura 2 - Classificação das paredes estruturais segundo o EC6 (Ferreira, 2008).	4
Figura 3 - Perfil de uma fachada ventilada (Siqueira Júnior, 2003).	6
Figura 4 - Fixação visível.....	8
Figura 5 - Fixação oculta.....	8
Figura 6 - Centro Cultural de Belém.	10
Figura 7 - Revestimento em cerâmico (www.Arquiwall.pt, 2009).	11
Figura 8 - Alumínio composto (Siqueira Júnior, 2003).	12
Figura 9 – Fenólico (Loureiro C. e Loureiro M, 2006).....	12
Figura 10 - Edifício com revestimento em painel fenólico	13
Figura 11- Betão polímero (ULMA, 2009).	14
Figura 12 - Gráfico ilustrativo de isolamento de fachada pelo exterior em França (Tamburrini, 1994).....	14
Figura 13 - Poliuretano projectado (Dias, 2009).	19
Figura 14 - Poliestireno expandido (Dias, 2009).	19
Figura 15 – Placas corta-fogo em fachadas ventiladas (Lucas, 2001).	22
Figura 16 – Fluxograma do projecto.....	26
Figura 17 - Pormenor da zona de entrada e saída de ar numa fachada ventilada (Cunha, 2006)	28
Figura 18 – Funcionamento da caixa de ar numa fachada ventilada (Siqueira. Júnior, 2003)	28
Figura 19 – Humidade de precipitação(Siqueira Júnior,2003).....	29
Figura 20 - Junta com chuva.	30
Figura 21 - Diferença de pressão nas juntas (UAF, 2003).	31
Figura 22 - Movimento das gotículas nas juntas (UAF, 2003)	31
Figura 23 - Juntas ascendentes e descendentes (UAF, 2003).	32
Figura 24 - Esquema do sistema de fachada ventilada (UAF, 2003).	32
Figura 25 - Proposta de zonas eólicas para Portugal (Pinto et al, 2006).	33
Figura 26 - Pormenor de um cunhal (Lucas, 2006).	34
Figura 27 - Pormenor de fixação. a) Ancoragem pontual mecânica com argamassa; b) Fixação com produto químico (espuma resinosa).	37
Figura 28 - Ancoragens pontuais. a) Sistema de fixação regulável (www.Inopla.pt, 2009) b) Gato torcido de posicionamento vertical (Universidade Nova de Lisboa, 2004) c) Perfil de sustentação pelo tardo (Universidade Nova de Lisboa, 2004) d) Ancoragem pontual (www.Inopla.pt e 2009).....	38
Na Figura 29 apresentam-se esquematizados em pormenor os constituintes de um sistema de fixação por gatos.....	38
Figura 30 – Pormenor de um gato de fixação (Universidade Nova de Lisboa ,2004).....	39
Figura 31 - Esquema de uma ancoragem pontual com produtos químicos (Universidade Nova de Lisboa, 2004).	39
Figura 32 - Fixação através de estrutura intermédia (www.ulmapolimero.com/img/3d.jpg, 2009).....	40
Figura 33 - Fixação para revestimentos de grande espessura (Loureiro C e Loureiro M., 2006).	41

Figura 34 - Revestimento para espessura fina a) b) (Loureiro. C e Loureiro. M., 2006).....	42
Figura 35 - Fixação sobreposta a) b) (Loureiro. C e Loureiro, M., 2006).....	42
Figura 36 - Fixação oculta para espessura fina a) e b) (Loureiro C e Loureiro M., 2006).	43
Figura 37 - Oxidação.....	44
Figura 38 - Pormenor de rebarba.....	45
Figura 39 - a) Falta de verticalidade b) Ataque de animais.....	46
Figura 40 - a) Diferentes tonalidades b) Diferente tonalidade num fenólico.....	47
Figura 41 - Desgaste.....	47
Figura 42 - a) Quebra na zona de fixação b) Quebra na zona de fixação.....	47
Figura 43 - a) Quebra no painel de fenólico b) Quebra no painel de pedra.....	48
Figura 44 – a) Vandalismo em painel metálico b) Vandalismo em fenólico.....	48
Figura 45 - a) Sujidade b) Desprendimento.....	49
Figura 46 - a) Queda de membros da fachada b) Quebra de membros da fachada.....	49
Figura 47 – Material de Ensaio.....	51
Figura 48 - Provetes na tina com água.....	52
Figura 49 – Secagem dos provetes.....	52
Figura 50 – Equipamento termofluximétrico.....	56
Figura 51 – Preparação da argamassa para a construção da parede.....	58
Figura 52 – Construção da parede.....	58
Figura 53 – XPS e Lã de Rocha na parede.....	59
Figura 54 – Pedra moleano para utilização no revestimento da parede.....	59
Figura 55 – Assentamento das pedras da fachada ventilada.....	60
Figura 56 – Parede concluída, com o revestimento.....	60
Figura 57 – Esquema do revestimento em pedra.....	60
Figura 58 – Caixa-de-ar.....	61
Figura 59 - Gato de fixação.....	61
Figura 60 - Camisa de fixação.....	61
Figura 61 - Introdução do gato na camisa para fixação dos painéis de revestimento.....	62
Figura 62 - Resina na camisa.....	62
Figura 63 - Conjunto gato, camisa e resina.....	62
Figura 64 – Pormenor das pedras ligadas aos gatos de fixação com espaçador e pino.....	63
Figura 65 - Pedras da fachada ventilada a serem alinhadas.....	63
Figura 66 - Parede e revestimentos concluídos.....	63
Figura 67 – Pormenor do tapete para reter a água do ensaio.....	63
Figura 68 – Equipamento de ensaio. Câmara de Ensaios Higrotérmicos do Laboratório de Revestimentos de Paredes do Departamento de Edifícios do LNEC(Alves, 2001).....	65
Figura 69 – Interior da Câmara de Ensaios Higrotérmico.....	65
Figura 70 – Aplicação de sensores para ligação ao Humidímetro.....	66
Figura 71 – Sensores na parede. a) b).....	66

Figura 72 – Humidímetro.....	67
Figura 73 – Implantação do isolamento de XPS e lã-de-rocha.	68
Figura 74 – Humidímetro ligado ao computador.....	68
Figura 75 – Ventilador.	69
Figura 76 – Tensores a prender a câmara ao sistema de fachada ventilada.	69
Figura 77 - Gotas de água no isolamento XPS.	70
Figura 78 - Gráfico de ensaios de humidades.....	71
Figura 79 - Humidade na parede de suporte.....	72
Figura 80 – Esquema ilustrativo de um ensaio de choque (Lucas, 2006)	74
Figura 81 - Aparelho destinado a ensaiar a resistência do revestimento ao choque (ensaio de 10 J).....	75
Figura 82 - Aparelho destinado a ensaiar a resistência do revestimento ao choque (Baronnie Martinet) (ensaio de 3 J).....	75
Figura 83 - Quebra de painel devido ao choque de 10 J.....	76
Figura 84 – Danos provocados pelo ensaio de choque de corpo duro de 3 J.....	77

Índice de Quadros

Quadro 1 - Características das pedras (Pinto <i>et al</i> , 2006).....	9
Quadro 2 - Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar (Teixeira, 2006).....	16
Quadro 3 - Lã mineral (Bazzocchi F. <i>et al</i> , 2002).....	17
Quadro 4 - Espuma de vidro (Bazzocchi F. <i>et al</i> , 2002).....	17
Quadro 5 - Poliuretano (Bazzocchi F. <i>et al</i> , 2002).....	18
Quadro 6 - Poliuretano projectado (Dias, 2009).....	18
Quadro 7 - Poliestireno expandido (EPS) (Bazzocchi F. <i>et al</i> , 2002).....	19
Quadro 8 - Poliestireno extrudido (Bazzocchi F. <i>et al</i> , 2002).....	20
Quadro 9 - Aglomerado de Cortiça (www.Amorim.com, 2009).....	20
Quadro 10 - Exigências funcionais de fachadas ventiladas (Adaptado de Lucas,1990).....	23
Quadro 11 – Coeficientes de pressão do vento nos edifícios (Pinto <i>et al</i> , 2006).....	34
Quadro 12 - Suportes e processos de fixação (Lucas, 1990).....	35
Quadro 13 - Dados de ensaio de capilaridade.....	53
Quadro 14 – Resultados Ensaio de capilaridade.....	54
Quadro 15 - Ensaio de condutibilidade térmica da lâ-de-rocha.....	56
Quadro 16 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica da lâ-de-rocha.....	57

Lista de Siglas, Símbolos e Abreviaturas

EC6	Eurocódigo 6
ETICS	External Thermal Insulation Composite Systems(Em ingles)
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
EPS	Poliestireno expandido moldado
XPS	Poliestireno extrudido.
N.P.	Norma Portuguesa
E.N.	European Norm (Em inglês)
B.S.	British Standarts (Em inglês)
ASTM	American Society Testing Materials (Em ingles)
EF	Estável ao fogo.
PC	Para chamas
CF	Corta fogo
UEAtc	Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (Em francês)

1. Introdução

1.1. Preâmbulo

A fachada ventilada surgiu como inovação construtiva, na sequência de um processo evolutivo das fachadas das edificações e, neste momento, apresenta-se como uma mais-valia tanto nas vertentes estética e económica como na funcional.

Considerando que a informação existente sobre esta matéria é ainda bastante reduzida; considerando que a fachada de um edifício constitui uma parte importante da construção, pelo impacto visual que proporciona, pela protecção exterior do edifício, pelos custos da construção; tendo em atenção que estas questões despertaram o interesse por esta matéria, levando à necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre o tema, contribuindo para a divulgação de informação com alguma precisão sobre o assunto, decidiu-se elaborar um estudo sobre o tema *fachadas ventiladas*.

1.1.1. Objectivos

Ao longo desta dissertação, proponho-me estudar o tema, através da recolha de informação e da pesquisa bibliográfica, observar e analisar construções com revestimento do tipo *fachada ventilada* e realizar um trabalho experimental com ensaios laboratoriais que serão executados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Com realização dos ensaios referidos tenciono avaliar :

- comportamento e o funcionamento de uma fachada ventilada, através da simulação das condições climáticas reais existentes na natureza;
- a capilaridade de isolantes térmicos;
- a condutibilidade térmica de materiais isolantes térmicos;
- a resistência à penetração de água da chuva (humidade) num sistema de fachada ventilada, com isolamento térmico;
- a resistência do revestimento de uma fachada ventilada ao choque.

A pesquisa bibliográfica proporcionar-me-á um maior conhecimento do assunto e será imprescindível como suporte teórico para o desenvolvimento dos ensaios que pretendo realizar, assim como na análise dos resultados e nas conclusões a que poderei chegar.

1.1.2. Estrutura

A estrutura da presente dissertação será orientada no sentido de avaliar experimentalmente os itens apontados nos objectivos. O trabalho será estruturado essencialmente em duas partes. A primeira aborda os conceitos teóricos e informações acerca das fachadas e fachadas ventiladas (sistemas de fixação, tipos de materiais usados no revestimento, isolantes térmicos), precedida de uma breve introdução. A segunda parte é constituída pela descrição e pela análise dos ensaios laboratoriais: comportamento e funcionamento de uma fachada ventilada; capilaridade de isolantes térmicos; condutibilidade térmica de materiais isolantes; resistência à penetração de água da chuva; resistência do revestimento de uma fachada ao choque. Seguem-se as conclusões, as referências bibliográficas e os anexos.

1.2. Relevância do Tema

A fachada é por excelência um elemento de valorização de um edifício. Para além de invólucro, a fachada é a “imagem”, é o primeiro impacto, pelo que é da maior importância que apresente um aspecto visual e estético agradável e atraente. Mas a fachada é também responsável pela garantia de conforto, tanto a nível higrotérmico, como a nível acústico. Foi com base nestas premissas que começaram a desenvolver-se processos de construção com revestimentos não colados à estrutura. As fachadas com revestimento não colado à parede são uma evolução técnica construtiva introduzida por Wagner (1888).

Há um século, este professor da Academia de Belas Artes de Viena introduziu uma nova técnica construtiva ao distinguir dois conceitos diferentes: o de estrutura e o de revestimento. Esta técnica nasceu da necessidade de conter gastos e tempo de execução de obra.

Segundo Wagner (1888), seria possível a utilização de placas de pequena espessura de materiais mais nobres para melhorar o aspecto exterior do edifício. Com esta ideia ele pretendia diminuir a quantidade de pedra a ser aplicada na fachada em comparação com o método tradicional utilizado, podendo assim empregar materiais mais nobres. Foi esta uma das ideias base que levou a que se desenvolvesse este tipo de tecnologia construtiva, as *fachadas ventiladas*, que são o tema deste trabalho. Estas são cada vez mais utilizadas em vários países da Europa com sucesso e, desde alguns anos, também em Portugal.

2. Fachadas

2.1. Evolução das Fachadas em Portugal

A edificação de construções em Portugal tem vindo a evoluir progressivamente ao longo do tempo em diversas vertentes, devido ao progresso técnico e tecnológico, aos materiais inovadores utilizados e ainda devido a uma preocupação constante de melhorar as condições higrotérmicas, de prolongar a sua durabilidade, tornando-as mais resistentes aos agentes da natureza, de potenciar o espaço e de melhorar o seu aspecto visual e qualidade estética.

Existem diversos factores a ter em conta na evolução dos aspectos construtivos de uma parede, tais como: aligeiramento das paredes de alvenaria; regularidade de dimensões dos blocos de alvenaria; utilização de elementos pré-fabricados e ainda a dimensão dos mesmos elementos.

Em Portugal existem diversas soluções construtivas para paredes, como, por exemplo:

- Taipa;
- Betão armado;
- Betão ciclópico;
- Betão simples;
- Alvenaria:
- Adobe;
- Tijolos de barro vermelho;
- Blocos de betão simples;
- Betão celular autoclavado;
- Painéis pré-fabricados: -pesados/leves.

Alguns destes tipos de construção praticamente já não se usam.

No século XX a técnica de construção de fachadas apresentou uma grande evolução (Figura 1). Nos anos 40 as fachadas eram principalmente constituídas por um pano de elevada espessura, em alvenaria de pedra ou tijolo maciço. Na década seguinte surgiram as paredes duplas, em que se notava um pano exterior de alvenaria de pedra e um pano interior em alvenaria de tijolo. Nos anos 60, a construção tornou-se mais ligeira, começando a pôr-se de parte a alvenaria de pedra, utilizando com maior frequência a alvenaria de tijolo furado, em ambos os panos. No início, o pano exterior era substancialmente mais espesso que o interior, tendo-se notado uma redução da sua espessura até à década de 70. Nesta década ambos os panos já apresentavam uma espessura semelhante e relativamente reduzida. Nos anos 80 começaram a utilizar-se materiais de isolamento térmico para preenchimento total ou parcial da caixa-de-ar das paredes.

Em Portugal, nos anos 90, apareceram sistemas de isolamento pelo exterior e pelo interior, sendo que os últimos são vulgarmente aplicados na reabilitação dos edifícios.

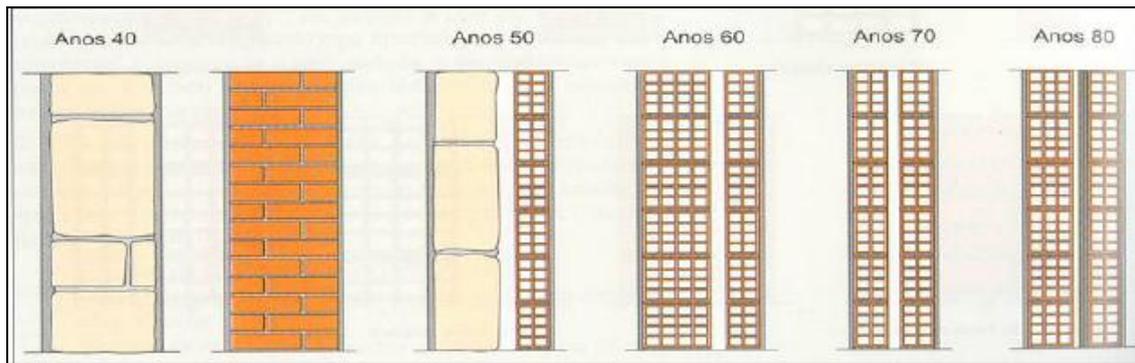


Figura 1 - Evolução histórica das paredes em Portugal (Ferreira, 2008).

As paredes apresentam diversas classificações segundo o EC6 (Figura 2)

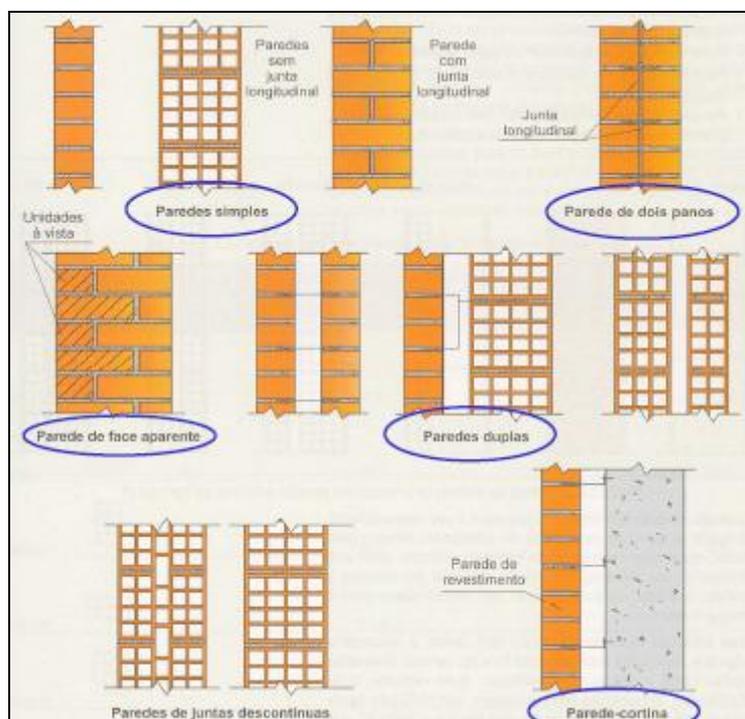


Figura 2 - Classificação das paredes estruturais segundo o EC6 (Ferreira, 2008).

2.2. Exigências das Paredes e Fachadas

Na construção de uma parede de um edifício, deve ter-se em consideração algumas exigências funcionais que serão determinantes no seu comportamento, durabilidade, segurança, conforto, qualidade e economia, tais como:

a) Exigências de segurança:

- Segurança e estabilidade estrutural;
- Segurança contra risco de incêndios(materiais incombustíveis);
- Segurança contra intrusões;
- Capacidade de permitirem suspensão de equipamentos pesados.

b) Exigências de saúde e de conforto:

- Conforto higrotérmico;
- Conforto acústico;
- Estanqueidade ao ar e à água;
- Conforto visual;
- Conforto tátil;
- Higiene.

c) Exigências de economia:

- Custos iniciais;
- Custos de exploração e manutenção;
- Adaptabilidade e versatilidade;
- Durabilidade e funcionalidade.

3. Fachada Ventilada

Os sistemas de isolamento pelo exterior mais conhecidos e utilizados em Portugal são os ETICS (rebocos armados, aplicados directamente sobre o isolamento térmico) e as fachadas ventiladas, sendo estas últimas o tema a estudar neste trabalho.

O sistema de fachada ventilada (Figura 3) é composto basicamente por um suporte de fixação, por uma camada de material de isolamento térmico, pela câmara-de-ar ventilada, pelos dispositivos de fixação (subestrutura auxiliar), pelo material de revestimento e pelas juntas entre placas, além dos demais componentes necessários para o seu normal funcionamento.

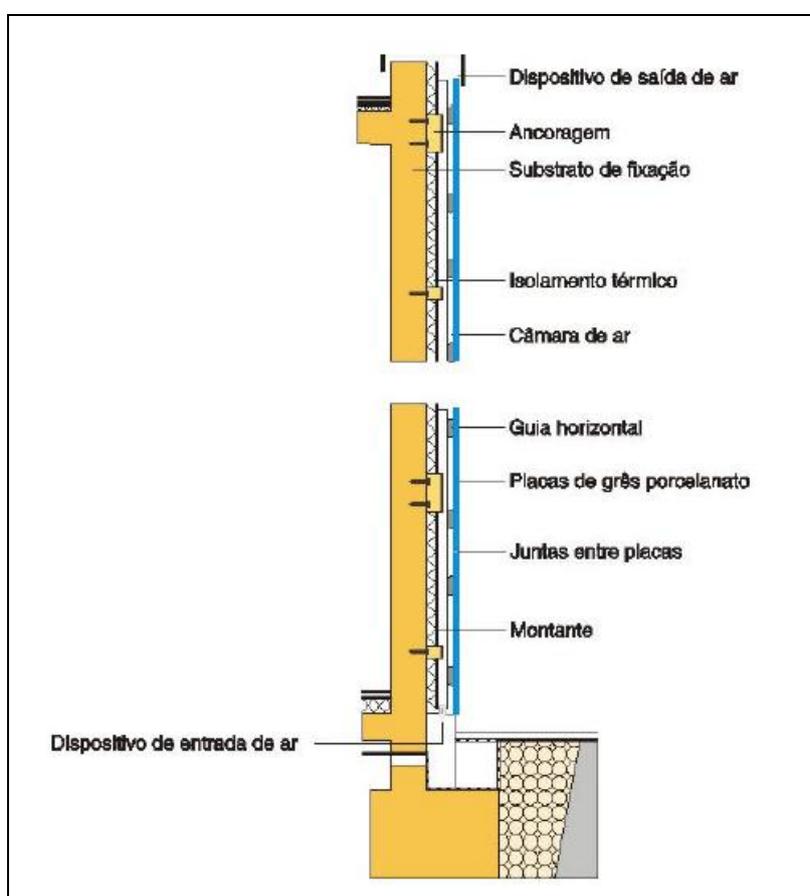


Figura 3 - Perfil de uma fachada ventilada (Siqueira Júnior, 2003).

É vulgar confundir-se os conceitos de fachada ventilada e de fachada cortina, pois a sua concepção e aspecto são similares.

A fachada ventilada pode ser definida como um sistema de protecção e de revestimento exterior, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando assim uma câmara-de-ar ventilada (Loureiro C. e Loureiro M., 2006)

Siqueira Júnior (2003) e Cunha (2006) definem também o conceito de fachada ventilada e fazem referência a painéis ou placas que constituem o material de revestimento deste sistema,

fixados à base suporte do edifício por uma estrutura auxiliar. A fixação destes painéis é efectuada de modo a permitir a remoção do ar aquecido existente no interior da câmara-de-ar situada entre o revestimento e a parede de suporte, através do efeito chaminé.

Para além destas definições, Pina dos Santos (2007) ainda faz referência ao tipo de revestimento descontínuo da fachada ventilada devido à existência de juntas e à forma de fixação, mecânica (pontual ou linear) à parede de suporte. Caracteriza ainda a fachada ventilada pela existência de isolamento térmico aplicado (por colagem ou por fixação mecânica) sobre o suporte de alvenaria e de um espaço de ar ventilado entre ambos.

A norma italiana citada por Siqueira Júnior (2003) define fachada ventilada como um sistema de revestimento externo caracterizado pela existência de uma camada isolante sobre a parede de vedação e uma camada externa de revestimento estanque à água, composta de painéis modulares, fixados ao edifício por uma estrutura metálica.

Fachada cortina pode definir-se como um sistema formado por placas ou painéis fixos externamente à base suporte do edifício por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior de uma edificação (Cunha, 2006).

Cilia Serrasqueiro (2007) considera que uma fachada cortina consiste na formação de um revestimento que abarca a totalidade da fachada exterior do edifício, constituído por uma estrutura auxiliar situada e encaixada à frente da estrutura sobre a qual se acoplam os elementos ligeiros de revestimento.

3.1. Classificação de Fachadas Ventiladas

3.1.1. Constituição segundo o Material Utilizado

Segundo Siqueira Júnior (2003), as fachadas cortina podem ser classificadas *i)* pelo material usado no revestimento, e *ii)* pelos sistemas de fixação. No entanto, considerando a semelhança entre fachada cortina e fachada ventilada, quanto ao revestimento e dispositivos de fixação, pode estender-se a classificação acima referida às fachadas ventiladas.

Segundo o material utilizado, as fachadas ventiladas podem ser constituídas por:

- Revestimentos com placas de fenólico;
- Revestimentos de pedra natural;
- Revestimento em alumínio composto;
- Revestimentos em placas cerâmicas;
- Revestimento em betão polímero.

3.1.2. Classificação Segundo os Sistemas de Fixação

Siqueira Júnior (2003) considerou que, segundo o processo de fixação, a fachada cortina, pode classificar-se em visível ou oculta. Tendo em conta a semelhança entre fachada cortina e fachada ventilada, no que se refere ao tipo de fixação, esta definição pode abranger a fachada ventilada. As fachadas ventiladas podem ser classificadas também de acordo com os sistemas de fixação utilizados nas placas de revestimento ou segundo os dispositivos empregues para ancorar a fachada do edifício.

A fachada considera-se com fixação visível (Figura 4) quando os fixadores/clipes utilizados para prender as placas de revestimento ficarem expostos.

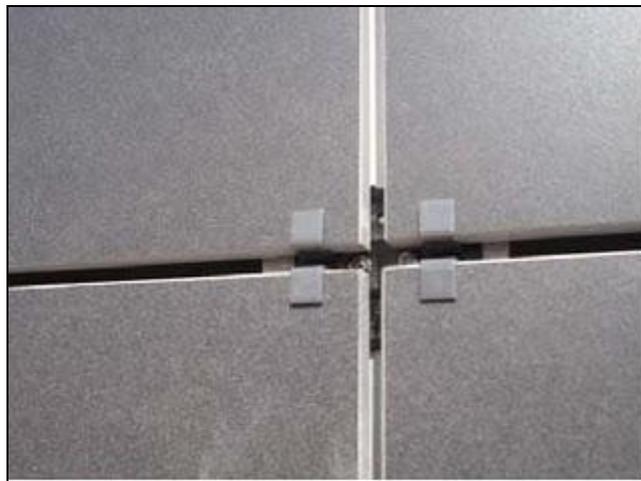


Figura 4 - Fixação visível.

Nas fachadas de fixação oculta, os meios de fixação das placas não ficam expostos na fachada, sendo geralmente inseridos no tardóz da placa (Figura 5).



Figura 5 - Fixação oculta.

3.2. Revestimento - Características dos Materiais Utilizados em Fachadas Ventiladas

3.2.1. Painéis de Pedra

Os revestimentos de fachada ventilada em pedra natural apresentam-se como uma solução versátil, de origem natural e revelam uma elevada durabilidade e resistência. Oferecem elevadas vantagens, tanto do ponto de vista estético, como do ponto de vista da valorização do património.

Um dos principais problemas destes materiais é a dificuldade de prever com precisão o seu comportamento face às diferentes solicitações físicas a que estarão expostos na sua vida útil em obra. Assim, é necessário que os materiais do revestimento tenham sempre as suas características (

Quadro 1) elencadas com detalhe. Será sempre necessário especificar:

- A qualidade do material;
- Definição petrológica e categoria comercial;
- Local de extracção;
- Característica de aspecto;
- Massa volúmica;
- Absorção de água;
- Porosidade;
- Coeficiente de dilatação térmica;
- Módulo de flexão e elasticidade.

Quadro 1 - Características das pedras (Pinto *et al*, 2006)

Tipos litológicos	Densidade aparente (Kg/m ³)	Absorção de água à pressão atmosférica (% do peso)	Porosidade aberta(%do volume)	Resistência à compressão (Kg/m ²)
Granitos	2600 a 2800	0,2 a 0,5	0,4 a 1,5	1150 a 2400
Dioritos e Gabros	2800 a 3000	0,1 a 0,4	0,2 a 1,0	1500 a 3000
Basaltos	2900 a 3100	0,1 a 0,3	0,2 a 0,8	1700 a 3500
Mármore	2600 a 2900	0,2 a 0,8	0,3 a 1,8	600 a 1800
Calcários	2200 a 2700	0,1(5) a 1,7	0,3(5) a 2,5	400 a 1800
Arenitos	1900 a 2600	0,6 a 13,8	1,6 a 6,0	200 a 1000
Xistos	2600 a 2800	0,4 a 1,5	1,2 a 3,5	300 a 650

Uma parte dos materiais pétreos, utilizados na execução de fachadas, comporta-se de um modo característico face às precipitações, absorvendo rapidamente a água por capilaridade e eliminando-a, de maneira muito lenta, através da evaporação.

A retenção da água nos poros da pedra pode afectar a sua durabilidade de duas formas. As baixas temperaturas provocam o congelamento da água acumulada nos capilares, provocando a ruptura dos mesmos e, conseqüentemente, a degradação da pedra. Para além disso, a água dissolve as substâncias constituintes da pedra transformando-as em sais que, quando transportados para a superfície, cristalizam, dando origem a eflorescências. Estas mudanças na textura e cor das pedras expostas às condições atmosféricas, dependem muito também do grau de poluição atmosférica da zona onde se encontra o edifício e sua orientação solar. Todos estes factores devem ser considerados, desde a fase de projecto ou da fase de selecção do material para o revestimento (Cunha, 2006).

Outros factores a ter em conta:

- Características petrográficas que possam eventualmente influir na durabilidade do revestimento pétreo, tais como: estado micro-fissural, presença de materiais deletéricos e alterados;
- Viabilidade da pedra ser submetida a processos de transformação, necessários à obtenção dos aspectos desejados (superfície polida, serrada, picada);
- Os materiais de revestimento em pedra natural são os que menos transformações requerem, tendo a particularidade de serem também os mais utilizados.

É importante ter em conta certos aspectos no uso de placas de pedra natural (Figura 6). Por exemplo, a pedra indicada para uso exterior deverá ser de um tipo mais impermeável e mais resistente a acções dos agentes erosivos do meio ambiente. Na utilização da pedra em reabilitação, deverão ter-se em conta os parâmetros descritos acima. Deverão ser seleccionados os tipos de pedra mais adequados para responder às anomalias detectadas em reabilitação de edifícios (Pinto *et al*, 2006).



Figura 6 - Centro Cultural de Belém.

3.2.2. Painéis Cerâmicos

Segundo Bazzocchi (2002), a designação genérica de cerâmicos abrange todos os produtos obtidos por cozedura de argila. Os factores mais importantes a ter em conta neste tipo de materiais são: a pureza da matéria-prima, a relação com os aditivos, bem como o seu grau de cozimento.

Os painéis cerâmicos (Figura 7) para aplicação em fachada ventilada têm evoluído para grandes formatos em relação ao seu peso, tornando este produto extremamente competitivo, no que se refere à qualidade, ao desempenho e ao custo. As dimensões mais utilizadas variam de 30cm x 60 cm a 60 cm x 120 cm, sendo os painéis aplicados aos edifícios através de estruturas auxiliares de suporte.

No que respeita aos requisitos mecânicos dos materiais cerâmicos, estes têm uma excelente resistência mecânica à compressão e menor resistência à tracção.

A nível de durabilidade, a porosidade da pasta é muito importante. Pode dizer-se que quanto mais compacta for a pasta do cerâmico maior será a sua durabilidade em relação à acção do gelo/degelo e em relação ao uso.

A nível de resistência a acções do vento, as placas cerâmicas apresentam elevada resistência ao arrancamento e ao choque. Porém, para evitar que um objecto, ao atingir o revestimento com força suficiente, possa provocar ruptura dos seus componentes, recomenda-se a aplicação de uma tela de fibra de vidro, colada no tardo da peça, para impedir a sua queda, evitando acidentes ou a ocorrência de maiores danos à fachada.

A leveza do sistema permite reduzir o peso da estrutura de suporte, além de facilitar a sua instalação. Deve ter-se a preocupação de reduzir ao máximo o peso da estrutura, desde as placas às estruturas auxiliares e a todos os outros acessórios.

Com o peso mais reduzido dispensa-se também a utilização de equipamentos especiais para o transporte vertical das placas.



Figura 7 - Revestimento em cerâmico (www.Arquiwall.pt, 2009).

3.2.3. Painéis de Alumínio Composto

As placas de alumínio são constituídas por um material composto que aglutina chapas de liga de alumínio com 0,5 mm de espessura nominal a uma camada intermédia de polietileno. Esta camada de polietileno que se encontra situada entre as chapas de alumínio do painel pode ter uma espessura de 2 a 5 mm (Figura 8).

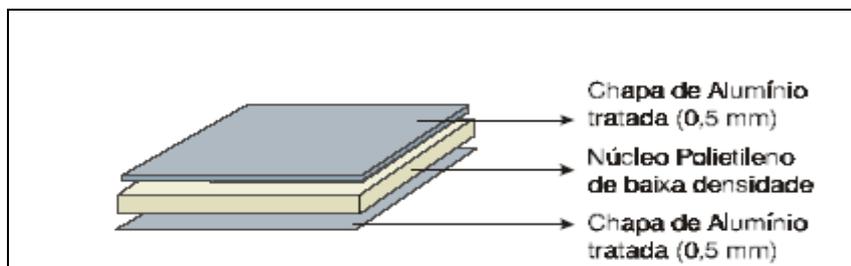


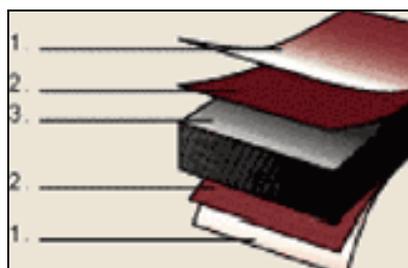
Figura 8 - Alumínio composto (Siqueira Júnior, 2003).

Este material apresenta uma vastíssima gama de padrões lisos, metálicos, estampados, além de características de resistência à vibração, à exposição às intempéries e às atmosferas industriais.

Em Portugal, a espessura da maioria das placas de alumínio composto varia entre 3,4,5,6,8 e 10 mm. Uma característica importante deste material é a possibilidade de ser moldado em obra por intermédio de máquinas moldadoras e cortadoras. Esta particularidade permite uma aplicação muito vasta, em que o aplicador não se cingirá ao produto tal como foi fabricado, mas poderá moldar os painéis da forma mais conveniente à obra em questão, tornando-os ideais para pilares, cantos e bandas circulares.

3.2.4. Painéis Fenólicos

Um dos revestimentos muito utilizados em fachada ventilada é o fenólico (Figura 9). Os fenólicos são compostos à base de resinas termo endurecidas (xenófilas), homogeneamente reforçadas com fibras de madeira e fabricadas sob altas pressões e temperaturas. Também pode ser utilizado como adesivo interior para as fibras no processo de transformação de aglomerados de madeira, contribuindo assim para as suas propriedades de grande resistência química e mecânica .



Legenda:

1 - Película protectora.

2 - Folha decorativa.

3 - Núcleo.

Figura 9 – Fenólico (Loureiro C. e Loureiro M, 2006)

Os painéis fenólicos utilizados em fachadas ventiladas têm a seguinte constituição:

Película protectora – Película impregnada em resina melamínica;

Folha decorativa – É composta por uma folha de papel com o efeito que se pretende ou então por uma folha de madeira natural impregnada em resina melamínica, que torna este material muito resistente à abrasão.

Núcleo - É composto por folhas de papel kraft impregnadas com resinas fenólicas para que o núcleo apresente elevada estabilidade e rigidez.



Figura 10 - Edifício com revestimento em painel fenólico

Este material composto é sujeito a um tratamento especial que consiste em submetê-lo a elevadas temperaturas e pressões, temperaturas e pressões estas que fazem com que o material se funda e endureça. O resultado final é um produto homogéneo, de porosidade quase nula, plano, regular, podendo dizer-se que este material é muito versátil e apresenta uma variada gama de diferentes cores, tamanhos e acabamentos (Figura 10).

3.2.5. Painéis de Betão Polímero

O betão polímero utiliza uma combinação de agregados de sílice e quartzo, ligados através de resinas de poliéster estável (Figura 11). Esta mistura apresenta como resultado um material com resistências mecânicas superiores às do betão convencional. A leveza deste material facilita a sua utilização e a sua reduzida percentagem de absorção garante a estanquidade.

O betão polímero, material homogéneo, graças à combinação de sílica, quartzo, resinas de poliéster estável, consegue manter excelentes características físicas e mecânicas e também apresenta uma variada gama de cores e texturas.



Figura 11- Betão polímero (ULMA, 2009).

3.3. Isolamento Térmico

A protecção do ambiente e a redução do consumo energético são preocupações que devem estar presentes na construção, aliadas ao conforto térmico. Para responder a estas crescentes exigências de conforto térmico é necessário isolar a envolvente dos edifícios, propiciando menores trocas de calor com o exterior, a conseqüente redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento e também a diminuição dos riscos de ocorrência de condensações. Existem várias tecnologias usadas no isolamento térmico de fachadas pelo exterior (Figura 12).

O isolamento térmico de fachadas pelo exterior é de utilização corrente em diversos países do continente europeu, quer em novas construções, quer em reabilitação de edifícios cuja envolvente vertical apresente índices de isolamento térmico insatisfatórios, infiltrações de humidade ou aspecto degradado.

Este tipo de sistema constitui uma solução melhorada, tanto do ponto de vista energético, como do ponto de vista construtivo.

Em geral, os sistemas de isolamento térmico pelo exterior são formados por uma camada de isolamento térmico aplicado sobre o suporte e um paramento exterior para protecção das condições climáticas e solicitações mecânicas.

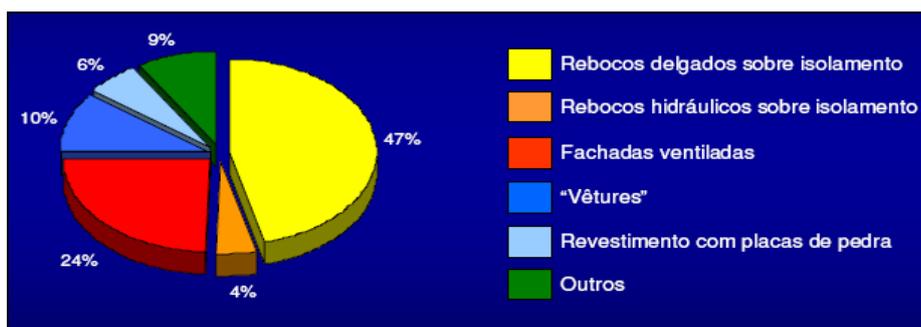


Figura 12 - Gráfico ilustrativo de isolamento de fachada pelo exterior em França (Tamburrini, 1994).

Segundo Teixeira (2006) os sistemas de isolamento de fachadas pelo exterior podem classificar-se em:

- Revestimentos descontínuos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia ou pontual - fachadas ventiladas;
- Componentes pré-fabricados constituídos por isolamento e um paramento, fixados directamente ao suporte, as “vêtures”;
- Rebocos armados directamente aplicados sobre isolamento térmico, os ETICS.

Na actualidade, o isolamento térmico pelo exterior é, de forma incontestável, reconhecido como uma solução de alta qualidade, podendo ser aplicado com caixa-de-ar ventilada ou directamente fixada à parede (Quadro 2) e permitindo os seguintes ganhos:

- Reduzir as pontes térmicas;
- Reduzir riscos de condensações;
- Aumentar a inércia térmica dos edifícios, pois a maior parte da massa das paredes encontra-se pelo interior da camada de isolamento térmico; favorecendo o melhor desempenho térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de Verão, devido à capacidade de regulação da temperatura interior;
- Poupar energia devido à redução das necessidades nos gastos de aquecimento e do arrefecimento do interior;
- Reduzir a espessura das paredes exteriores com conseqüente aumento da área habitável.
- Diminuir o peso das paredes e conseqüentemente das cargas permanentes sobre a estrutura;
- Reduzir o gradiente de temperatura a que são sujeitas as camadas interiores das paredes.

Quadro 2 - Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar (Teixeira, 2006)

Características a comparar	Tipo de sistema de isolamento térmico	
	Com lâmina de ar ventilada	Sem lâmina de ar
Funções do isolante	- Isolamento térmico	- Isolamento térmico - Suporte do revestimento - Impermeabilização à água
Processo de fixações do suporte	- Fixação mecânica por pontos - Fixação estrutural	- Colagem
Elementos responsáveis pela impermeabilização	- Revestimentos -Lâmina de ar	- Revestimento - Isolante
Resolução do problema das variações dimensionais diferenciais	-Variações absorvidas pela geometria da ligação revestimento-estrutura de fixação	- Necessidade de escolha de revestimento
Dificuldades de aplicação	- Paredes inadequadas à fixação	- Deficiências de planeza ou de regularidade superficial - Existência de revestimento antigo não aderente
Possibilidade de eliminação de riscos de condensação corrente	- Ventilação da lâmina de ar	- Compatibilidade das permeabilidades ao vapor de água do revestimento e do isolante.

A espessura corrente do isolante térmico aplicado nas soluções de isolamento térmico pelo exterior é, em geral, de 30 mm, de 40 mm com menor expressão e, em casos pontuais, valores superiores. Uma solução bem concebida e aplicada, caso se pretenda, através da aplicação de espessuras mais elevadas, poderá conduzir a valores reduzidos do coeficiente de transmissão térmica, quer em superfície corrente, quer nas zonas de ponte térmica plana (o mais importante). Algumas precauções adicionais, nomeadamente a adequação do revestimento exterior e a escolha de uma cor clara do respectivo paramento exposto à acção do clima exterior, poderão favorecer a redução do coeficiente de transmissão térmica (Pina dos Santos, 2007).

3.3.1. Materiais de Isolamento

3.3.1.1. Lã Mineral

A Lã mineral é um material isolante muito utilizado, produzido à base de rocha liquefeita, não inflamável, com eficácia em isolamento térmico, sendo também um bom isolante acústico. As suas propriedades incombustíveis asseguram total tranquilidade durante a sua montagem, aplicação e vida útil (Quadro 3).

Quadro 3 - Lã mineral (Bazzocchi F. *et al*, 2002)

Condutibilidade térmica	0.035/0.040 W/mk
Massa volúmica	15-200 kg/m ³
Limite máximo de temperatura em uso	100-200°C
Coefficiente de dilatação térmica	0/0.7 mm/m

3.3.1.2. Espuma de Vidro

A espuma de vidro é um material não combustível e estável com o tempo. É obtido através da expansão do vidro a quente (perto de 18 vezes o seu volume) (Quadro 4).

Quadro 4 - Espuma de vidro (Bazzocchi F. *et al.*, 2002)

Condutibilidade térmica	0.040/0.055 W/mK
Massa volúmica	105-165 kg/m ³
Limite máximo de temperatura em uso	430°C
Coefficiente térmico de dilatação	0.85 mm/m
Resistência à compressão	0.50/1.70 N/mm ²

3.3.1.3. Poliuretano

O poliuretano apresenta as seguintes características: facilidade de montagem, baixa condutibilidade térmica, alta resistência térmica, evita condensações, não atrai insectos, facilidade de limpeza, insensibilidade à água, imputrescibilidade, facilidade de instalação (Quadro 5).

Quadro 5 - Poliuretano (Bazzocchi F. et al., 2002)

Condutibilidade térmica	0.025/0.040 W/mK
Massa volúmica	30/100 kg/m ³
Limite máximo de temperatura em uso	90°C
Resistência à compressão	0.10/0.90 N/mm ²
Coefficiente térmico de dilatação	5.0/8.0 mm/m

3.3.1.4. Poliuretano Projectado

O poliuretano projectado apresenta as seguintes características: é impermeável à água, leveza, propriedades acústicas, aplicação contínua sem juntas, baixo coeficiente de condutibilidade térmica (Quadro 6).

Quadro 6 - Poliuretano projectado (Dias, 2009)

Massa volúmica	25-60 kg/m ³
Resistência à compressão	0,18-0,35 N/mm ²
Condutibilidade térmica	0,016 - 0,2 W/mK
Resistência ao fogo	M4
Temperatura máxima de trabalho	110 °C

Evita ainda condensações, não atrai insectos nem roedores, apresenta baixa permeabilidade ao vapor de água, boa resistência aos produtos químicos, imputrescibilidade (Figura 13).



Figura 13 - Poliuretano projectado (Dias, 2009).

3.3.1.5. Poliestireno Expandido (EPS)

O poliestireno expandido (EPS) (Figura 14) é um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico.

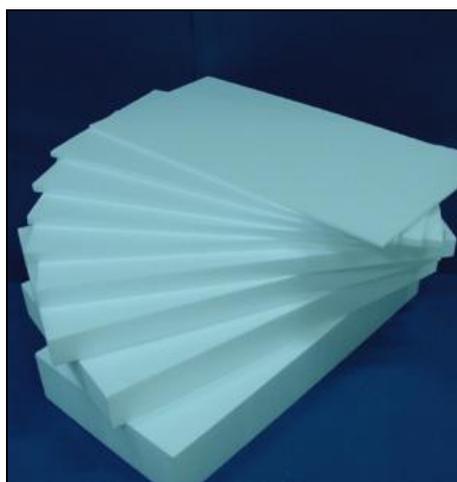


Figura 14 - Poliestireno expandido (Dias, 2009).

O uso de poliestireno expandido tem várias vantagens, tais como: baixa condutibilidade térmica, leveza, fácil manuseamento, resistente ao envelhecimento, higiénico e totalmente inócuo (Quadro 7).

Quadro 7 - Poliestireno expandido (EPS) (Bazzocchi F. et al., 2002)

Condutibilidade térmica	0.035/0.040 W/mK
Massa volúmica	25/45 kg/m ³
Limite máximo de temperature	85°C
Resistência maxima à compressão	0.2/0.7 N/mm ²

3.3.1.6. Poliestireno Extrudido (XPS)

O poliestireno extrudido (XPS) é um composto que apresenta as seguintes características: excelentes desempenhos térmicos, insensibilidade à água, grande resistência à passagem de vapor, elevada resistência à compressão, imputrescibilidade, facilidade de instalação, resistência ao manuseamento de obra, durabilidade (Quadro 8).

Quadro 8 - Poliestireno extrudido (Bazzocchi F. et al., 2002)

Condutibilidade térmica	0.035/0.040 W/mK
Massa volúmica	25-45 kg/m ³
Limite máximo de temperatura em uso	90°C
Resistência à compressão	0.10/0.90
Coefficiente térmico de dilatação	5.0/8.0 mm/m

3.3.1.7. Cortiça

O aglomerado de cortiça apresenta as seguintes características: proporciona bom isolamento térmico e acústico; é constituído por matéria-prima renovável e natural; é fabricado por processo industrial natural (sem aditivos); apresenta durabilidade prolongada; reciclável; estabilidade dimensional, mesmo quando sujeito a elevadas variações térmicas (Quadro 9).

Quadro 9 - Aglomerado de Cortiça (www.Amorim.com, 2009)

Condutibilidade térmica	0.043 W/mK
Massa volúmica	100/150 kg/m ³
Resistência à Humidade	Permeável e retentora de humidade
Resistência aos agentes biológicos	É atacada pelos roedores
Matéria prima	100% renovável

3.4. Comportamento em Caso de Incêndio

O comportamento de elementos estruturais ou de compartimentação face ao fogo, considerando a manutenção das funções que tais elementos devem desempenhar em caso de incêndio, caracteriza-se por um indicador - “resistência ao fogo”. Este avalia-se pelo tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado a que o elemento é submetido, até ao momento em que o elemento deixa de satisfazer determinadas exigências relacionadas com as referidas funções.

Características exigidas dos elementos estruturais em caso de incêndio:

- Estabilidade – EF (Estável ao fogo);
- Estanqueidade ou isolamento térmico - PC (Pára Chamas);
- Estanqueidade e isolamento térmico – CF (Corta Fogo);

Para cada uma das três exigências anteriores existem vários escalões que indicam o tempo limite inferior de resistência, em minutos: 15; 30; 45; 60; 90; 120; 180; 240; 360.

Numa edificação, o tempo necessário para a ocorrência de uma inflamação generalizada é influenciada pela natureza dos materiais presentes nas superfícies dos elementos construtivos. Com a utilização de materiais adequados, este tempo pode ser prolongado, elevando o nível de segurança da edificação ao fogo.

Sempre que o incêndio atinge a fase de inflamação generalizada no compartimento de origem os elementos construtivos estarão sujeitos à exposição de intensos fluxos de calor. É a resistência desses elementos ao fogo, de suportarem tal acção, que permitirá conter o alastramento do incêndio ou manter a estabilidade estrutural do edifício.

No caso das fachadas ventiladas, os elementos com menor resistência ao fogo são todos os materiais metálicos aplicados na estrutura de suporte, nomeadamente, os perfis e as cantoneiras de alumínio e eventuais parafusos que possam estar expostos (Siqueira Júnior, 2003).

Segundo Lucas (2001), as fachadas ventiladas devem ser concebidas e montadas prevendo que, em caso de incêndio, o seu comportamento não constitua uma agravante da catástrofe, de forma a que:

- A estabilidade dos elementos se mantenha durante um determinado período de tempo;
- O aparecimento e propagação do fogo e do fumo seja limitada no exterior do edifício;
- A propagação do fogo para as construções vizinhas seja limitada;
- Os ocupantes possam abandonar a construção em segurança, ou então a sua segurança seja garantida de outra forma;
- A segurança das equipas de salvamento seja tomada em consideração.

Nos sistemas do tipo fachadas ventiladas, devem ter-se ainda algumas preocupações associadas à propagação do fogo entre pisos (Figura 15).

Os riscos são particularmente elevados, nos casos em que o sistema de isolamento térmico é combustível, ou em que os vãos envidraçados estejam aplicados junto à face exterior da fachada. Uma das soluções tradicionais para minimizar este problema consiste em interromper o espaço de ar

ao nível dos pisos, com um rufo em alumínio ou em aço não corrosivo podendo, no entanto, invalidar o efeito chaminé. O uso de isolantes térmicos incombustíveis, como a lã de rocha, minimiza também o risco de incêndios e a sua propagação.

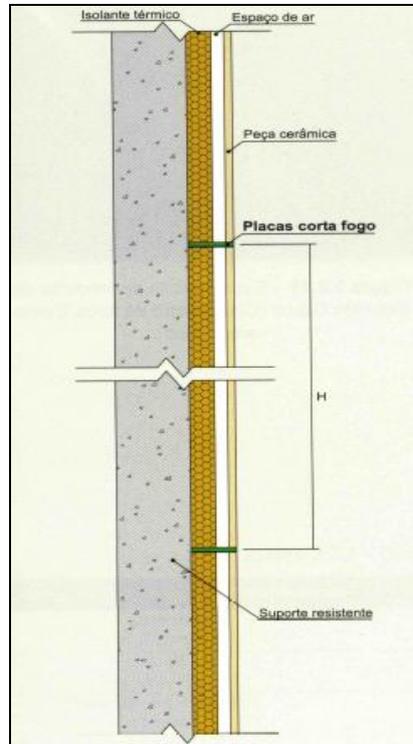


Figura 15 – Placas corta-fogo em fachadas ventiladas (Lucas, 2001).

3.5. Considerações do Projecto

A elaboração de um projecto de fachadas ventiladas pode ser dividida em duas fases completamente distintas.

A primeira fase diz respeito à escolha dos materiais e ao estudo da viabilidade para a execução da fachada, à análise dos custos do sistema (paramento e estrutura) em função das necessidades técnicas e estéticas, à definição dos contornos gerais e detalhes construtivos da obra, como também às especificações técnicas a serem atendidas pelo fornecedor das placas para a fachada ventilada.

Um sistema de produção, por mais flexível que seja, deve basear-se em determinados padrões básicos pré-estabelecidos. As fachadas ventiladas não fogem a essa regra. É, pois, necessário que, tanto os projectistas, como os executantes da obra, possuam pleno conhecimento das características do sistema de modo a conceber-se a implantação do edifício no enquadramento mais adequado, buscando-se a compatibilização das interfaces, de forma a atender aos requisitos pré-estabelecidos para o edifício, sem que haja necessidade de adaptações causadas por acções não planeadas, sejam elas oriundas das concepções dos projectos, de falha na execução ou controlo

dos subsistemas que possuem uma interface com a fachada ventilada. Devem ser considerados factores construtivos que influenciarão no custo e no desempenho final do sistema, tais como: a base suporte de fixação, a necessidade de utilização de um material isolante térmico no interior da câmara, o tipo de câmara-de-ar a ser adoptado, a qualidade da placa a usar como revestimento, a altura do pé direito dos pavimentos, altura total da edificação e a inter-acção do sistema com os demais componentes que fazem parte da fachada.

Os padrões construtivos devem ser controlados e os seus desvios devem respeitar as tolerâncias estabelecidas pelos fornecedores do sistema. Estas especificações preliminares não são definitivas, mas servem de ponto de partida para a definição do revestimento. Para melhor se perceber o desempenho dos revestimentos numa fachada ventilada atente-se no Quadro 10.

Quadro 10 - Exigências funcionais de fachadas ventiladas (Adaptado de Lucas,1990)

Segurança	Estabilidade	Estabilidade perante acções normais de uso	Peso próprio
		Estabilidade perante acções de ocorrência accidental	Solicitações climáticas
	Segurança no uso	Segurança no contacto	Choques normais
			Choques accidentais
			Rugosidade dos paramentos
			Temperatura dos paramentos
Compatibilidade e com o suporte	Compatibilidade geométrica		
	Compatibilidade mecânica		
Estanquidade	Estanquidade à água	Estanquidade à água da chuva	Permeabilidade à água
			Absorção de água
		Estanquidade à água no interior	Permeabilidade ao vapor de água
			Permeabilidade à água
		Absorção de água	
Conforto visual	Planeza	Planeza geral	
		Planeza localizada	
	Verticalidade		
	Rectidão das arestas		
	Regularidade e perfeição de superfície	Defeitos de superfície	
		Largura de fissuras	
	Homogeneidade e enodoamento pela poeira	Homogeneidade da temperatura superficial interior	
		Diferença de cor	
	Diferença de reflectância difusa		
Conforto táctil	Contra aspereza dos paramentos	Perfil geométrico de superfície	
	Exigência de secura dos paramentos		
Higiene	Contra a fixação de poeiras ou de microorganismos	Aspereza dos paramentos	
	Resistência à limpeza		

Adaptação à utilização normal	Resistência a acções de choque e atrito	Resistência aos choques	Choques de corpo mole
			Choques de corpo duro
		Resistência à riscagem	Classes de resistência à riscagem
	Resistência à acção da água	Resistência à água da chuva	
		Resistência às projecções accidentais de água	
		Resistência à lavagem por via húmida	Classes de resistência à lavagem
	Aderência ao suporte	Resistência aos vapores húmidos	
Resistência ao arrancamento por tracção			
Resistência à pelage			
Resistência à formação de nódoas de produtos químicos ou domésticos	Resistência à formação de nódoas		
	Lavabilidade		
Resistência ao enodoamento pela poeira	Resistência à formação de nódoas		
	Lavabilidade		
Durabilidade	Resistência aos agentes climáticos	Resistência ao calor	
		Resistência ao frio	
		Resistência à água	
		Resistência à luz	
		Resistência aos choques térmicos	
	Resistência aos produtos químicos do ar	Resistência ao ozono	
		Resistência ao dióxido de carbono	
		Resistência ao dióxido de enxofre	
		Resistência a soluções amoniacais	
	Resistência à erosão provocada pelas partículas sólidas em suspensão no ar		
	Resistência à fixação e ao desenvolvimento de bolores		

Segundo Cunha (2007) a segunda fase de um projecto de fachadas ventiladas refere-se ao projecto para a produção do sistema propriamente dito. Deve ter-se em conta a economia na construção, sem desperdícios, a construção em série, levando em conta a singularidade da construção de edifícios, já que nesta, ao contrário da construção em série, para cada produto elabora-se, quase sempre, projecto de produto diferente. Portanto, mesmo não se conseguindo construir edifícios numa linha de montagem em série, muitos dos procedimentos de produção devem permanecer os mesmos na execução de várias obras de uma mesma empresa e com uma mesma tipologia de produto, só assim é possível obter maiores rendimentos, melhor organização e mais lucros. Assim, a necessidade de antecipação dos processos, levando o domínio desses para a engenharia, caracterizada por uma visão mais sistemática do processo de produção, aponta para a necessidade da utilização de duas ferramentas de projecto, designadas por projecto de execução e por projecto para a gestão de obra. Entende-se o primeiro como a elaboração das estratégias gerais

da produção, das normas de procedimento da execução, das metas de produtividade em cada etapa padrão e dos controlos a serem observados para cada tipo de processo construtivo utilizado pela empresa.

O projecto de gestão de obra é voltado para a definição das etapas e métodos de execução, de forma a ampliar o desempenho na produção dessas etapas.

Ressalta-se que o uso de um processo padronizado e controlado, facilita a identificação de problemas de qualidade e a produtividade, permitindo que se proceda a uma intervenção na produção no momento em que se nota uma distorção produtiva.

A coordenação de projectos é de primordial importância para a melhoria da qualidade global do produto final, quando se utiliza um sistema de produção no processo construtivo de um determinado subsistema. Desta forma, é imprescindível que as características dimensionais e de desempenho do sistema, sejam perfeitamente conhecidas pelos diversos agentes envolvidos no processo de projecto, identificando-se por sobreposição, as interferências existentes entre as diversas disciplinas que possuem uma interface com a produção deste.

Uma sequência lógica abordando as consecutivas etapas relativas ao processo do projecto de fachadas ventiladas estão representadas na Figura 16.

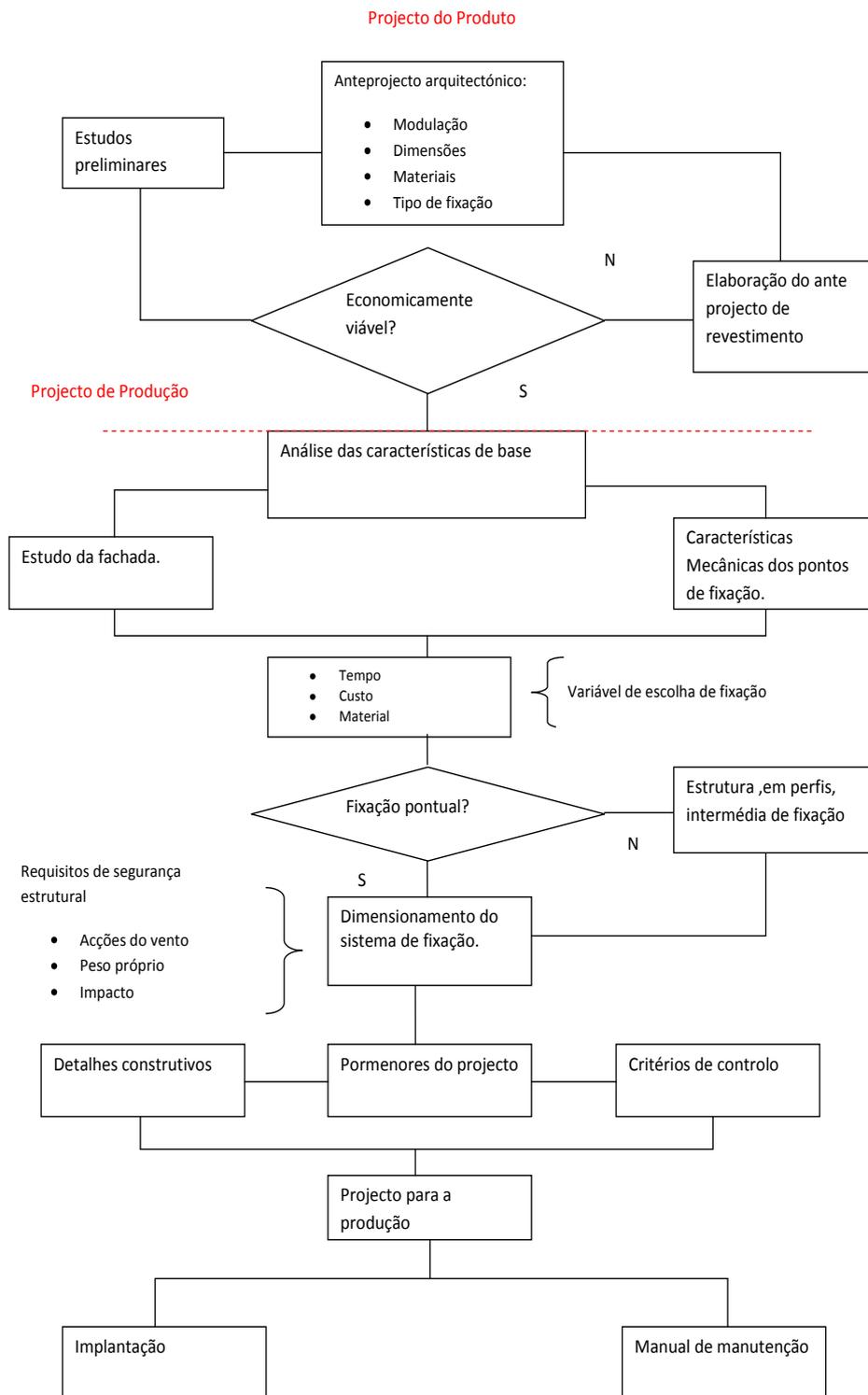


Figura 16 – Fluxograma do projecto (adaptado de Siqueira Júnior,2003)

3.6. Ventilação

3.6.1. Ventilação de Paredes

O sistema de revestimento externo de edificações, designado por fachadas ventiladas, caracteriza-se pela existência de ventilação por meio de uma caixa-de-ar. Origina-se um fluxo de ar ascendente com o aquecimento deste no interior da câmara. Além disso, diferenças de pressão no interior da caixa-de-ar, devido à acção do vento, também contribuem para a ventilação (Muller e Alarcon, 2005).

A caixa-de-ar é definida segundo os propósitos de quem projecta, mas também segundo as exigências do edifício. Segundo o movimento de ar no seu interior, as fachadas classificam-se em: fachada ventilada (caixa-de-ar ventilada) e fachada cortina (caixa-de-ar não ventilada ou estanque) (Straube e Burnett, 1999).

O sistema de ventilação pode ser dividido em dois tipos: ventilação mecânica e ventilação natural. O sistema de ventilação mecânica induz o fluxo do ar no interior da câmara com o auxílio de um equipamento adequado. A escolha apropriada da ventilação (dimensão, quantidade, localização e a divisão em câmaras de ventilação constante e compartimentos herméticos) é requisito indispensável para o bom desempenho do sistema.

A caixa-de-ar, quando estanque, deve ter espessura de 20 a 50 mm e possuir, na sua base, dispositivos de evacuação para o exterior da água que eventualmente possa entrar através das juntas do revestimento.

3.6.2. Efeito Chaminé

Quando a câmara-de-ar for projectada como naturalmente ventilada, o aquecimento provocado pela radiação solar provoca uma variação da densidade do ar que se situa no interior da câmara, fazendo com que este inicie um movimento de ascensão denominado por “efeito chaminé”. Este “efeito chaminé” é responsável pela eliminação do ar aquecido por convecção e contribui também para a remoção do vapor de água, sendo esta uma das grandes vantagens da denominada fachada ventilada.

Para que o efeito chaminé seja eficaz é de extrema importância assegurar que a zona da entrada e saída de ar esteja sempre desimpedida de forma a assegurar uma ventilação normal e em perfeitas condições (Figura 17), sendo que se a ventilação não se processar segundo estes parâmetros a mais valia da câmara de ar não é rentabilizada.

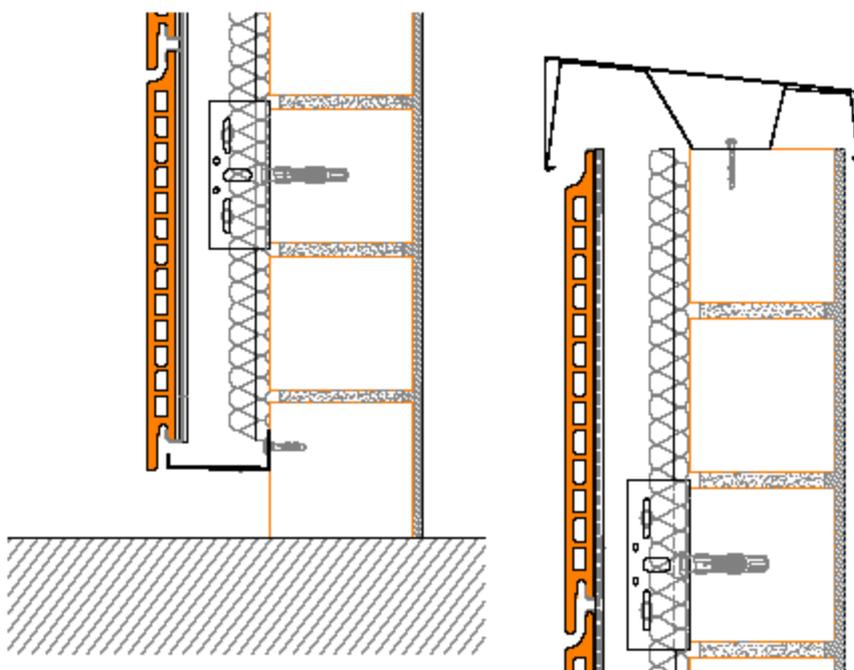


Figura 17 - Pormenor da zona de entrada e saída de ar numa fachada ventilada (Cunha, 2006)

A pressão do vento é também uma componente importante para que haja um movimento do fluxo de ar no interior da câmara. O vento, ao incidir sobre a fachada, poderá criar diferentes pressões na entrada e na saída da câmara, induzindo o movimento do ar.

O projectista deverá ter em conta na fachada ventilada que as pressões resultantes do efeito chaminé não devem ser anuladas pelas forças resultantes do vento. Isto consegue-se através da espessura da câmara-de-ar (Figura 18). A espessura da câmara-de-ar nunca deverá ser inferior a 30mm, para garantir que possíveis anomalias construtivas como, por exemplo, “rebarbas” de argamassa impeçam a circulação do ar. Como limite superior adopta-se os 150 mm, pois acima deste valor, do ponto de vista mecânico, aumentaria o risco de efunamento das ancoragens e da alma de perfis (Siqueira Júnior, 2003).

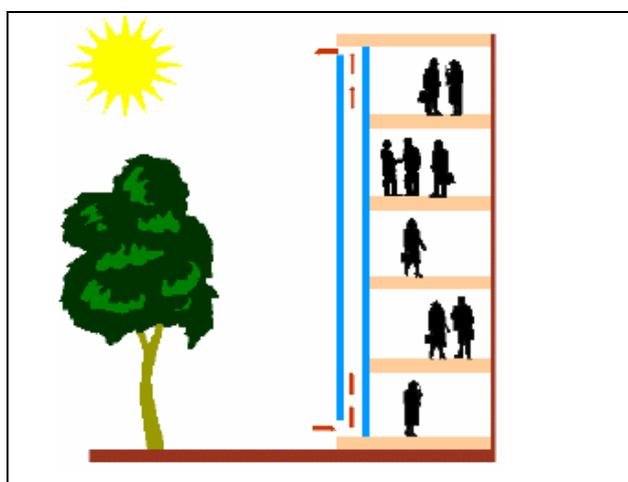


Figura 18 – Funcionamento da caixa de ar numa fachada ventilada (Siqueira. Júnior, 2003).

3.7. Humidade

As formas de manifestação de humidade agregam-se em seis grupos distintos (Henriques,1994):

- Humidade de construção;
- Humidade de terreno;
- Humidade de precipitação;
- Humidade de condensação;
- Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade devida a causas fortuitas.

Os tipos de humidades mais condicionantes numa fachada ventilada são humidades de precipitação (água da chuva).

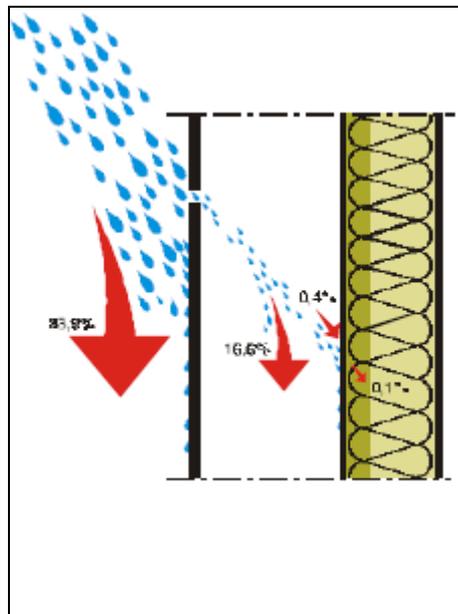


Figura 19 – Humidade de precipitação(Siqueira Júnior,2003)

A chuva, por si só, não constitui uma acção especialmente gravosa para as paredes/fachadas do edifício, desde que a componente vento não esteja associada. No entanto, e na maior parte das situações, a precipitação é acompanhada por uma dada intensidade do vento, o que dá origem a que a trajectória da chuva passe a ter uma componente horizontal tanto maior quanto maior a intensidade do vento (Figura 19).

Para a água atravessar um paramento terão de ocorrer, não só a presença de água e descontinuidades na abertura (juntas), como também a acção de uma força que, force a entrada de água, podendo esta ser o vento, como foi descrito, mas também diferenças de pressão, capilaridade e tensão superficial.

Para eliminar alguns dos efeitos que originam as forças que impelem a água para o interior da fachada, deverão aplicar-se as seguintes medidas:

- Junta aberta ao exterior, apenas em fachadas não muito expostas às intempéries;
- Câmara-de-ar com pressão idêntica à do ambiente exterior e evacuação da água por gravidade;
- As juntas apresentarem uma configuração que dificulte a entrada de água (Bobadilla E. *et al.*, 2007).

Segundo Bobadilla (2007) as juntas nas fachadas ventiladas normalmente são abertas, não permitindo que se igualem as pressões entre a câmara-de-ar e o exterior, sobretudo com a ocorrência de vento, favorecendo a entrada de água. Enquanto que em juntas de 10 mm a entrada de água é abundante, em juntas de 5 mm a entrada de água é de pouco significado. Em geral a abertura de junta deve medir entre 6 a 8 mm, pelo que se deve ter em conta a entrada de alguma água.

É normal a água entrar na câmara devido às pressões no interior e no exterior serem diferentes, especialmente em condições de vento forte. Em zonas de clima mais húmido e chuvoso este facto é de extrema importância e deve ter-se em conta na elaboração do projecto.

3.8. Juntas

Os revestimentos fixados mecanicamente com interposição de lâmina de ar têm, em geral, juntas abertas. Esta solução permite manter a capacidade para absorver as deformações (Veiga, 2004).

Numa fachada ventilada o revestimento é a primeira barreira à entrada de água. Se a fachada ventilada apresentar juntas é natural que alguma água da chuva tenda a entrar através das mesmas. A água que atravessar irá escorrer através da parte interior do revestimento.

Em juntas de dimensão superior a 5 mm, a água que se acumula entre os painéis forma uma película que pode ser soprada contra a parede de suporte (Figura 20).

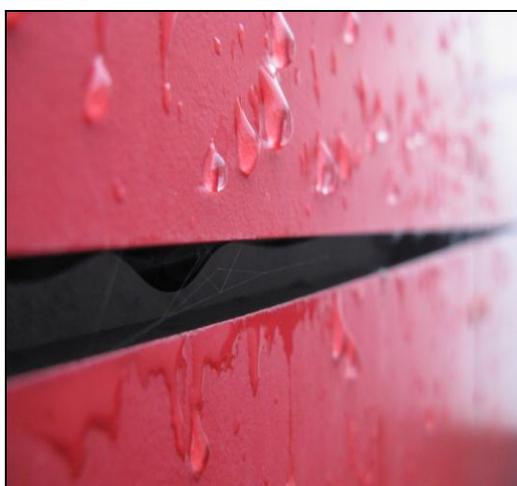


Figura 20 - Junta com chuva.

A diferença de pressão entre a parte interior e exterior do revestimento causa os movimentos que poderão eventualmente empurrar a água para o interior da câmara (Figura 21).

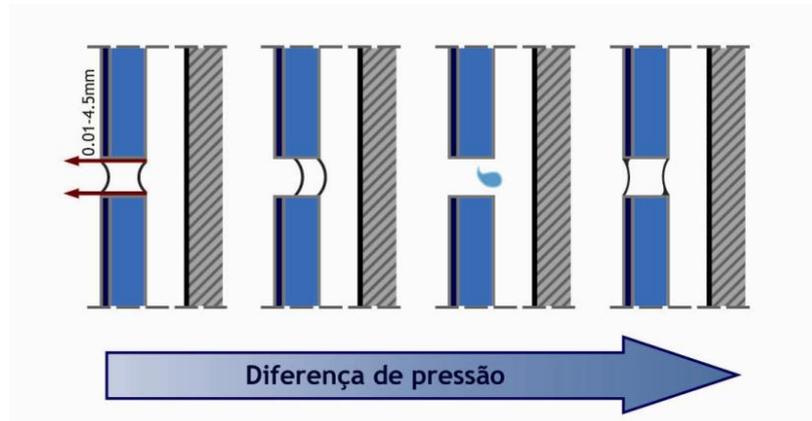


Figura 21 - Diferença de pressão nas juntas (UAF, 2003).

Durante chuva intensa, a energia cinética das gotas de água pode ser tão intensa que permita que estas passem através das juntas. Outro factor importante para que as gotas passem pelas juntas será a espessura do revestimento e a direcção do vento, que permitirá direccionar as gotas através das juntas (Figura 22).

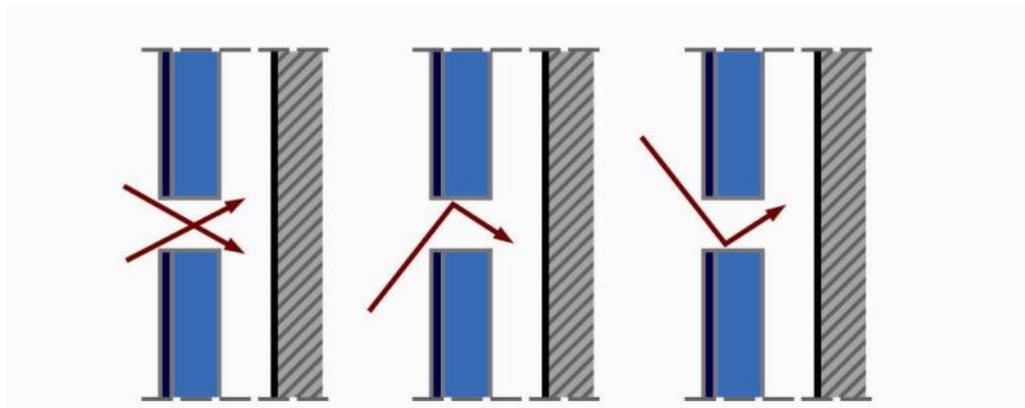


Figura 22 - Movimento das gotículas nas juntas (UAF, 2003)

Numa fachada ventilada as juntas entre o material de revestimento podem ser de dois tipos: juntas abertas e juntas fechadas.

As juntas abertas não deverão ser utilizadas em locais onde as condições climáticas sejam extremas. Este tipo de junta, se tiver até 3 mm de espessura, poderá impedir que a água atinja o revestimento térmico.

A penetração de água pelas juntas é feita das seguintes formas (Bobadilla, 2007):

- Efeito da gravidade;
- Vento;
- Tensão superficial;
- Capilaridade;
- Quantidade de movimento.

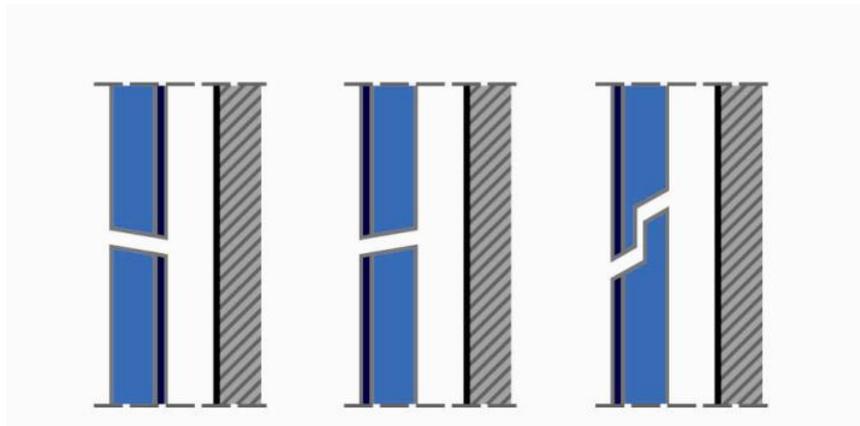


Figura 23 - Juntas ascendentes e descendentes (UAF, 2003).

Podem existir juntas com inclinação para dentro que permitem o escoamento da água pelas juntas e pelo tardo do revestimento (Figura 23).

As juntas com dreno inclinado para fora impedem a entrada de água que escorre pela face externa dos painéis do revestimento. A água que se encaminhe através das juntas ou escorrerá através do tardo ou evaporar-se-á na caixa-de-ar (Figura 24).

As juntas fechadas caracterizam-se por terem uma protecção externa contra a acção da chuva.

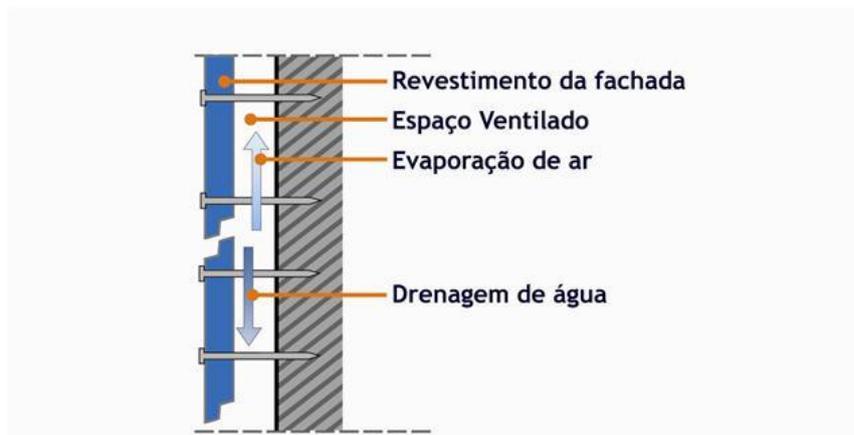


Figura 24 - Esquema do sistema de fachada ventilada (UAF, 2003).

3.9. Base Suporte de Fixação

A acção do vento nas fachadas ventiladas é a que mais pode contribuir para o desempenho anómalo do sistema. A compreensão deste fenómeno reveste-se de extrema importância no sentido de minimizar os seus efeitos, de modo a que o sistema de fachadas ventiladas funcione na perfeição, seleccionando o tipo de ancoragem adequado nas situações de grande exposição ao vento.

Na utilização de ancoragens, o projectista deve ter em atenção o seu desempenho e as suas características que variam conforme os fabricantes existentes no mercado. Ao nível do projecto, a

ancoragem deve ser justificada através de cálculos simples ou, em casos mais complexos, através de uma análise em pormenor da estrutura de suporte, caso se justifique.

As ancoragens deverão ser dimensionadas de forma a suportar esforços normais ao plano das placas (peso próprio do revestimento), esforços perpendiculares ao plano das placas (devidos a impactos acidentais, sismos e às acções do vento – pressão e sucção), dilatações térmicas lineares diferenciais do material e dos revestimentos, deformações impostas como a dilatação e contracção das placas (origem térmica), deformações de suporte (elásticas, devidas a acções variáveis como sobrecargas, vento ou sismo; ou permanentes, devidas ao peso próprio, à retracção e à fluência do betão ou a assentamentos de apoio) ou ainda movimentos da estrutura do edifício, como, por exemplo, assentamentos (Alves, 2001).

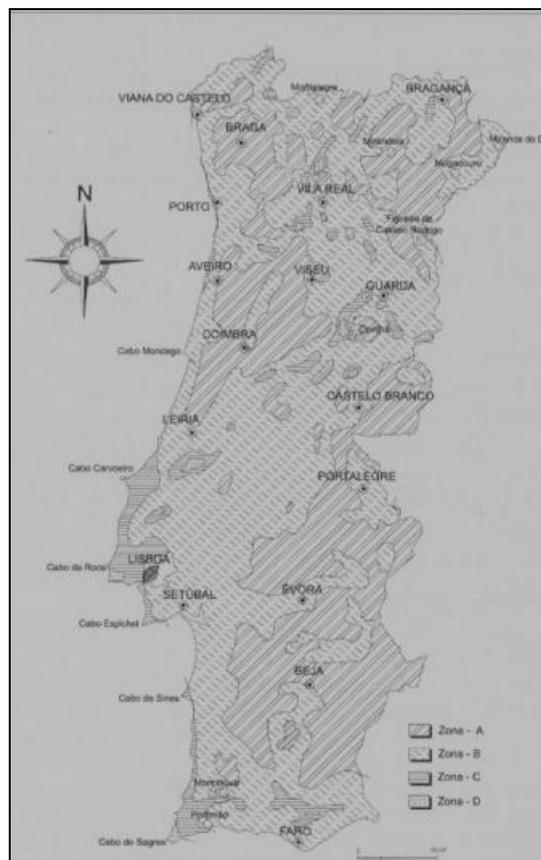


Figura 25 - Proposta de zonas eólicas para Portugal (Pinto et al, 2006).

A Figura 25 apresenta a proposta de zonas eólicas para Portugal continental, com informação útil a ter em conta na elaboração de projectos e no dimensionamento de revestimentos para fachadas ventiladas em edifícios. A zona do país em que se encontre o edifício deverá ser levada em conta no dimensionamento. As áreas da fachada mais sensíveis à acção do vento são os cunhais e a fachada mais exposta do edifício (Quadro 11), pelo que estas serão as zonas mais condicionantes no dimensionamento das placas de revestimento em fachadas.

Quadro 11 – Coeficientes de pressão do vento nos edifícios (Pinto *et al*, 2006)

Zonas eólicas	A		B		C		D	
Exposição do vento								
Altura acima do solo(m)	Normal	Forte	Normal	Forte	Normal	Forte	Normal	Forte
60	1,0	1,1	1,11	1,22	1,23	1,35	1,36	1,49
30	0,89	0,98	1,00	1,10	1,10	1,21	1,22	1,34
15	0,76	0,83	0,84	0,93	0,94	1,03	1,03	1,14
9	0,65	0,72	0,73	0,80	0,81	0,89	0,89	0,97
3	0,53	0,59	0,60	0,66	0,66	0,73	0,73	0,80

Em zonas do edifício sujeitas a grandes diferenças de pressão, como os cunhais, deve precaver-se os revestimentos utilizando um suporte para a colmatação de espaço de ar (Figura 26).

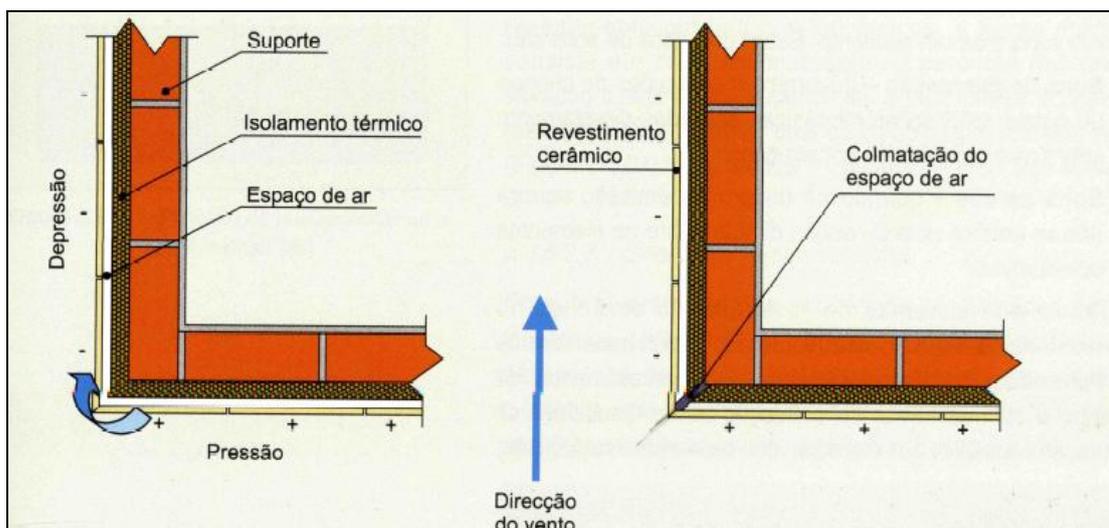


Figura 26 - Pormenor de um cunhal (Lucas, 2006).

Deve ter-se em conta os factores que poderão influenciar a performanse da envolvente como um todo, considerando, além da resistência à flexão da base, a deformabilidade dos seus vários elementos e componentes que podem vir a comprometer o desempenho da vedação e, portanto, da fachada ventilada no geral.

Paralelamente à estabilidade da parede, deverá ser tida em consideração a excentricidade das cargas. A natureza deste sub-estrato deve ser considerada com o intuito de se verificar a adequabilidade da parede como suporte para a ancoragem do revestimento das fachadas ventiladas.

Segundo Soriano, referido por Siqueira Júnior (2003), no que respeita ao comportamento mecânico das paredes de suporte, há uma homogeneidade de resultados. Não se consegue assegurar um comportamento homogéneo de ancoragens sobre uma parede elaborada com blocos ocos onde há variação da espessura da parede, pois a fixação ao elemento de suporte pode não ficar suficientemente sólida devido às irregularidades interiores da parede (espaços ocos, juntas). Desta forma, sendo as ancoragens isoladas ou pontuais, fixadas directamente à parede de alvenaria, esta deve ser de tijolo ou bloco perfurado ou maciço.

Quadro 12 - Suportes e processos de fixação (Lucas, 1990)

Suporte	Processo de Fixação					
	Placas não resistentes					Placas resistentes
	Agrafos com pontos de argamassa		Gatos		Estrutura intermédia (1)	
	Chumbados	Fixados mec.	Chumbados	Fixados mec.		
Betão corrente	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Betão de agregados leves	SIM	(2)	SIM	(2)	SIM	SIM
Tijolos	(3)	Não	(3)	Não	SIM	(4)
Blocos de betão de agregados correntes ou leves	(3)	Não	(3)	Não	SIM	(4)
Blocos de betão celular autoclavado	Não	Não	(5)	Não	SIM	SIM
Pedra natural	SIM	Não	SIM	Não	SIM	SIM

(1) – A estabilidade da ligação da estrutura intermédia ao suporte deve ser inequivocamente assegurada.

(2) – Processo de fixação admissível se a resistência característica do betão aos 28 dias de idade for $\geq 15\text{MPa}$.

(3) – Processo de fixação admissível apenas em paredes não resistentes, até um máximo de 6m de altura do paramento e desde que os agrafos ou gatos sejam chumbados com argamassa de cimento, numa profundidade mínima de duas fiadas de furos.

(4) – Processo de fixação admissível em paredes resistentes ou não resistentes, desde que os gatos de posicionamento se insiram em juntas horizontais de alvenaria.

(5) – Processo de fixação admissível apenas no caso das juntas entre placas de revestimento serem deixadas abertas ou, então, preenchidas com material resiliente.

Sabbatini referido por Siqueira Júnior (2003), defende que a deformação lenta do betão ocorre nos primeiros 5 anos de vida do edifício, evoluindo segundo as percentagens abaixo indicadas:

- 50% três meses;
- 60% seis meses;
- 70% primeiro ano;
- 100% 5 anos após a estrutura ter sido colocada .

Sabbatini (2000) refere ainda que existem três principais factores que influenciam directamente este fenómeno: a cura do betão, o tempo de colocação da estrutura em carga, e o tipo de betão utilizado.

A deformação lenta desenvolve-se de acordo com a seguinte equação:

$$\varepsilon_{cc} = \varphi \varepsilon_{el} \quad (1)$$

Onde:

- ε_{cc} - Deformação lenta final;
- φ - Coeficiente de deformação lenta;
- ε_{el} - Deformação elástica inicial.

Observa-se que a deformação lenta final é directamente proporcional ao valor do coeficiente de deformação lenta, que se situa entre 1,8 e 5, sendo que o valor será tanto menor quanto:

- maior o tempo em que a estrutura permanece em cura húmida;
- maior teor de cimento existente no betão;
- menor teor água no cimento;
- menor a porosidade do betão.

É de elevada importância o controlo da deformação do betão, pois assim é mais fácil a compatibilização das deformações da estrutura com a capacidade do revestimento em absorvê-las.

3.10. Fixações

Uma das fases mais importantes no processo de montagem das fachadas ventiladas é a fixação. Os fixadores, desenhados especificamente para construção deste tipo de fachada, devem manter as suas qualidades ao longo do tempo para que o processo de fixação se mantenha inalterado e perfeito. Os fixadores devem seguir os seguintes requisitos (Serrasqueiro, 2007) :

- Ajuste - os fixadores devem poder ajustar-se dimensionalmente, o que facilita a construção da fachada e assegura a planeza da mesma;
- Resistência à corrosão - os fixadores devem manter as suas propriedades sem necessidade de manutenção;
- Resistência mecânica - as acções eólicas e gravitacionais que actuam sobre as placas devem ser transmitidas através dos fixadores ao suporte da fachada;
- Segurança - a estrutura do edifício a médio prazo experimenta deformações do tipo reológicas, tornando-se assim imprescindível que quando as ancoragens forem sujeitas a

este tipo de pequenos movimentos não provoquem tensões nas placas, o que poderia provocar a sua ruptura;

- Simplicidade - a simplicidade do desenho do fixador deve garantir uma rápida e económica construção da fachada;
- Devem ser inoxidáveis quando metálicas.

Os sistemas de fixação são projectados de modo a que assegurem a dilatação térmica dos perfis e evitem problemas de corrosão derivados dos fenómenos atmosféricos ou de galvanização. A fachada ventilada pode ser aplicada com fixações ocultas ou visíveis, sendo que a escolha é feita com base em variados aspectos (Dias, 2009), tais como:

- Tipo de material que foi utilizado na placa;
- Projecto da fachada;
- Dimensões e espessura das placas;
- Altura da fachada a revestir;
- Material utilizado para estruturas de apoio das placas;
- Orçamento disponível;
- Localização do edifício.

As estruturas de fixação podem ser de dois tipos: *i*) por ancoragens pontuais ao longo da fachada; *ii*) por fixação através de uma estrutura intermédia (uma armação contínua com perfis ao longo da fachada).

3.10. 1. Ancoragens Pontuais

As ancoragens pontuais (Figura 27) encontram-se directamente fixadas à estrutura por meio de perfurações, que evitam o recurso a estruturas de suporte auxiliares, tornando o sistema em geral menos oneroso. No entanto, o aumento da quantidade de fixações ancoradas directamente sobre o suporte condiciona a produtividade e a própria versatilidade da solução escolhida.



a)



b)

Figura 27 - Pormenor de fixação. a) Ancoragem pontual mecânica com argamassa; b) Fixação com produto químico (espuma resinosa).

Um dos processos (mecânico) de fixação dos painéis bastante utilizado consiste na utilização de argamassa para aplicar os fixadores (gatos resistentes com chumbadouros) à parede de suporte ou através de cavilhas de expansão (Figura 28) . Neste caso, para evitar corrosões, os gatos e as cavilhas devem ser fabricados com materiais da mesma natureza (Universidade Nova de Lisboa, 2004).

Os fixadores dos painéis de revestimento (gatos fixados por meio de camisas) podem também fixar-se através da aplicação de um produto químico expansível (espuma resinosa) que ao expandir-se e após secagem consolida a fixação.

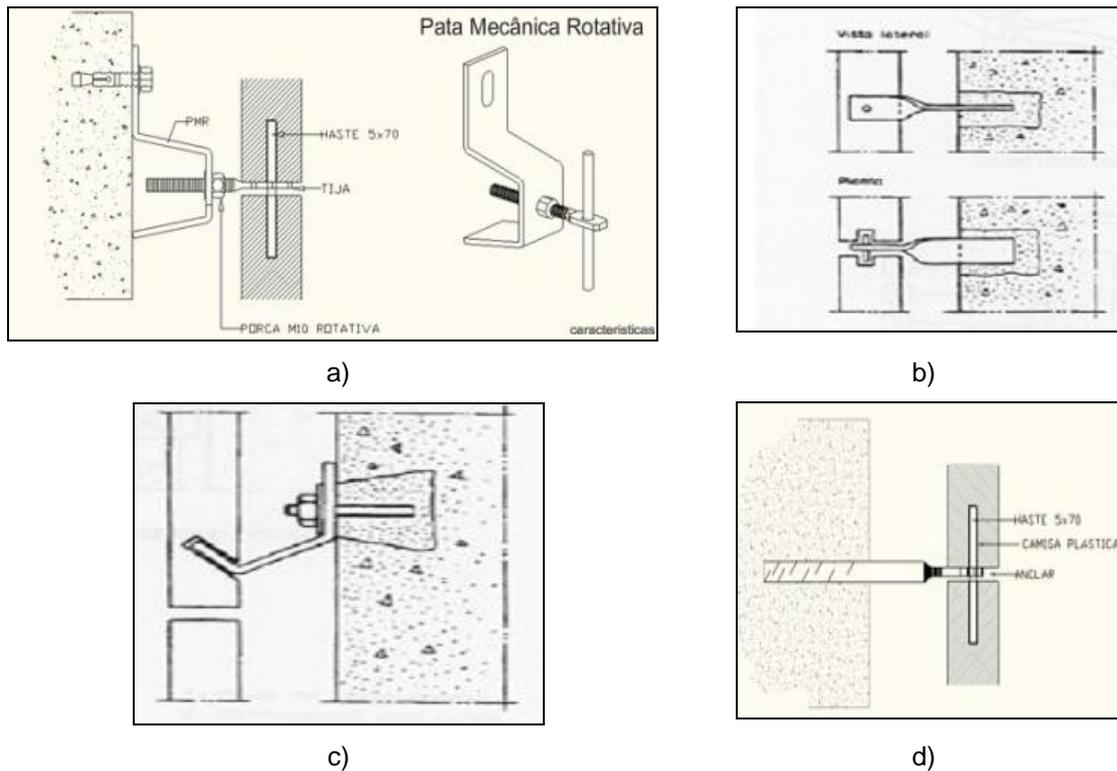


Figura 28 - Ancoragens pontuais. a) Sistema de fixação regulável (www.Inopla.pt, 2009) b) Gato torcido de posicionamento vertical (Universidade Nova de Lisboa, 2004) c) Perfil de sustentação pelo tardoz (Universidade Nova de Lisboa, 2004) d) Ancoragem pontual (www.Inopla.pt e 2009)

Na Figura 29 apresentam-se esquematizados em pormenor os constituintes de um sistema de fixação por gatos.

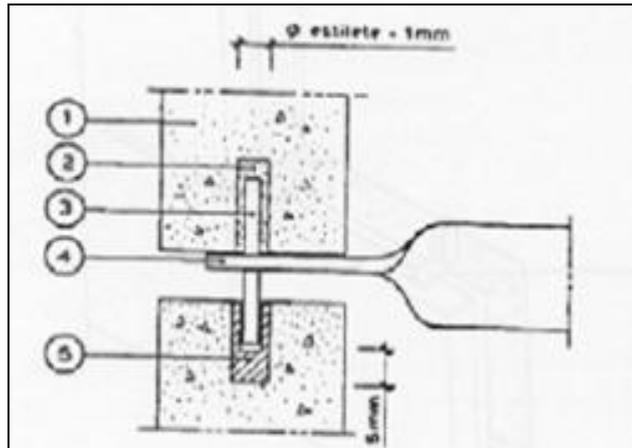


Figura 30 – Pormenor de um gato de fixação (Universidade Nova de Lisboa ,2004)

- 1- Placa de revestimento.
- 2- Colmatagem com calda de cimento.
- 3- Estilete do gato.
- 4- Prato do gato.
- 5- Colmatagem com bucha de plástica

As fixações químicas são aquelas que utilizam como elemento de união resinas, que entram na camisa, expandem fazendo com que a ancoragem fique presa à estrutura (Figura 31). Este material é mais moderno e apropriado para fixações do que as argamassas pois é de mais fácil uso e também minimiza a entrada de água através dos gatos para a parede.

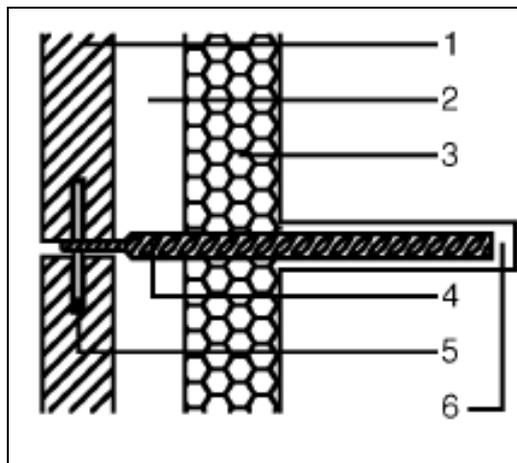


Figura 31 - Esquema de uma ancoragem pontual com produtos químicos (Universidade Nova de Lisboa, 2004).

- 1- Revestimento de Pedra;
- 2- Câmara de ar;
- 3- Isolante térmico;
- 4- Ancoragem;
- 5- Ferros;
- 6- Camisa.

Existe ainda um outro processo de fixação que praticamente não se usa que consiste na fixação por agrafos e pontos de argamassa. Este processo, para além de estar a cair em desuso, apresenta como principal desvantagem a dificuldade na colocação das placas de isolamento entre o revestimento e a estrutura de suporte. O facto da ventilação se processar de forma deficiente constitui outra desvantagem deste processo.

3.10. 2. Fixação com Estrutura Intermédia

A fixação por estrutura intermédia (Figura 32) é uma fixação que se torna de implantação mais rápida que a fixação por ancoragens pontuais. Este tipo de fixação está preparado para receber vários tipos de revestimentos.

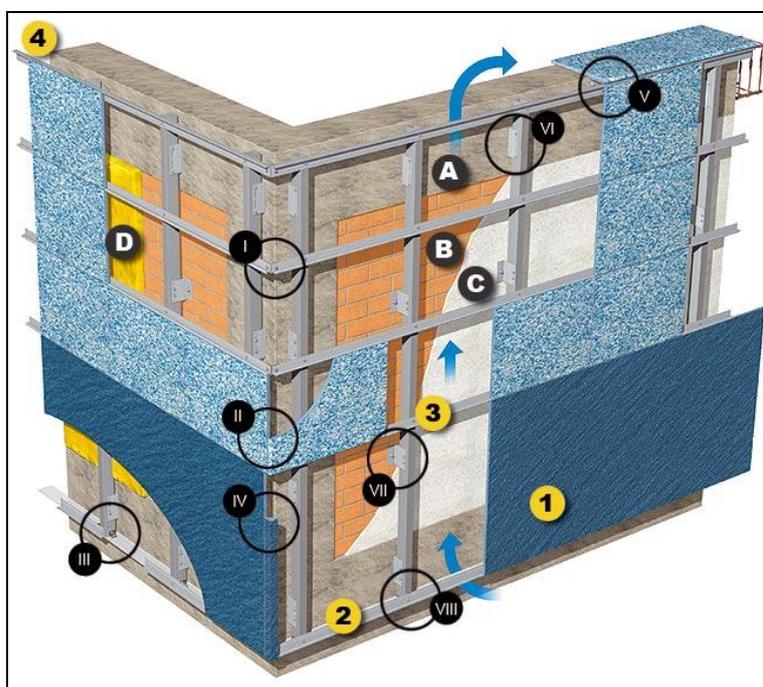


Figura 32 - Fixação através de estrutura intermédia (www.ulmapolimero.com/img/3d.jpg, 2009).

- 1- Placa de revestimento de fachada ventilada
- 2- Perfil de arranque contínuo
- 3- Perfil de guia contínuo
- 4- Perfil de arranque invertido contínuo

3.10.2.1. Fixação de Elementos de Grande Espessura

Este sistema é considerado o ideal para colocar revestimentos de fachadas com uma espessura superior a 20mm. Fixam-se as peças sobre as margens superior e inferior para que os perfis horizontais as possam acomodar, fixando-se assim ao resto da estrutura dos perfis verticais mediante grampos de aço.

Este sistema no início foi desenvolvido para pedra natural, mas dá a liberdade de escolher outros revestimentos como painéis de fibrocimento ou painéis cerâmicos (Figura 33).



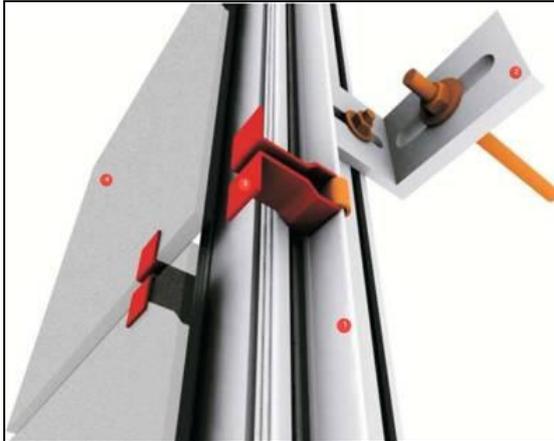
Figura 33 - Fixação para revestimentos de grande espessura (Loureiro C e Loureiro M., 2006).

3.10.2.2. Fixação à Vista para Elementos de Espessura Fina

São sistemas em que os tipos de encaixe para fixar o painel à perfilaria é visível do exterior.

Usualmente, neste tipo de sistemas, são utilizados grampos de aço inoxidável que têm como função segurar o painel unindo-o ao perfil metálico, lacados (usualmente da mesma cor que o revestimento) para diminuir o impacto visual.

Este sistema foi pensado para cerâmicos, mas pode também aplicar-se a outros revestimentos (Figura 34).



a)



b)

Figura 34 - Revestimento para espessura fina a) b) (Loureiro. C e Loureiro. M., 2006).

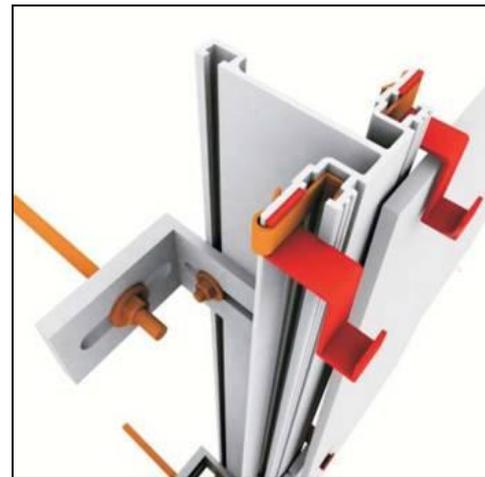
3.10.2.3. Sistemas Sobrepostos

O processo mais adequado de garantir a estanqueidade das juntas consegue-se através da sobreposição sucessiva de uma parte de cada painel sobre outro (Figura 35), de modo a cobrir toda a superfície da fachada.

Este sistema vulgarmente pensado para cerâmica, pode adequar-se também a pedra natural delgada e laminada e a placas de alumínio.



a)



b)

Figura 35 - Fixação sobreposta a) b) (Loureiro. C e Loureiro, M., 2006).

3.10.2.4. Fixação Oculta para Elementos de Espessura Fina

Neste tipo de sistema os encaixes de fixação da peça de revestimento não são visíveis. São efectuados na peça rasgos para permitirem a colocação de elementos de aço inoxidável, que se aparafusam a um perfil metálico que, por sua vez, fica fixado através de grampos de pressão ao perfil horizontal (Figura 36).

Este sistema foi idealizado para cerâmicos, mas também pode ser aplicado a peças de pedra natural delgada e laminada e a placas de alumínio.

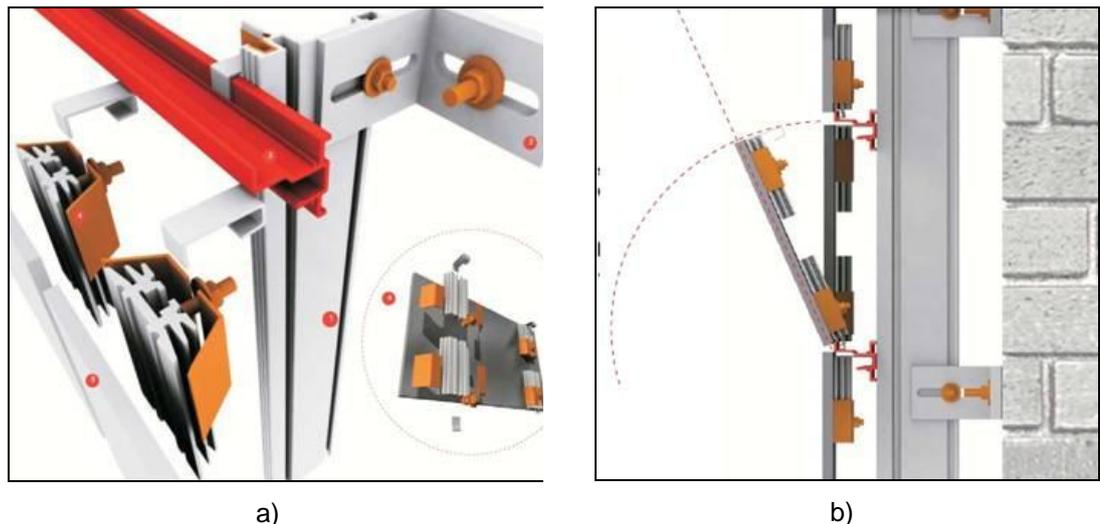


Figura 36 - Fixação oculta para espessura fina a) e b) (Loureiro C e Loureiro M., 2006).

3.11. Anomalias

Uma das grandes vantagens das fachadas ventiladas consiste no facto de estas serem muito menos susceptíveis à ocorrência de patologias do que as fachadas de pano simples com reboco. (Serrasqueiro, 2007).

Num edifício, o revestimento em fachada ventilada constitui a primeira “pele”, por conseguinte, é responsável pelo primeiro impacto dos agentes climáticos e é bastante solicitado por movimentos de contracção e dilatação provenientes de acções higrotérmicas (Siqueira Júnior, 2003).

Os principais agentes actuantes nas fachadas ventiladas são: forças e cargas de impacto, fogo, ar e gases, humidades, poeiras, animais, plantas e microrganismos, temperatura ambiente, radiação solar, luz e vibração.

Selmo referido por (Siqueira Júnior, 2003) ressalta que os principais agentes que degradam o revestimento são aqueles relacionados com a agressividade do clima, tendo-se em atenção que os efeitos climáticos combinados potenciam uma maior degradação do revestimento.

Os principais comportamentos e agentes que podem afectar os revestimentos externos são:

- Movimentações higroscópicas do revestimento;
- Movimentações térmicas do revestimento;

- Movimentações higroscópicas da base;
- Movimentações térmicas de base;
- Incidências de chuvas e ventos sobre as superfícies.

A acção humana também é responsável por diversas patologias nas fachadas ventiladas.

De acordo com estudos realizados e de contactos encetados com diversas empresas, as principais preocupações dos fabricantes de fachadas ventiladas são os problemas de desprendimento e queda do revestimento. Estes devem-se em especial a aplicações deficientes, má qualidade do material utilizado no revestimento de fachada ou então a sistemas de fixação mal concebidos.

Menos gravesos, mas também com bastante incidência temos: fissuras, placas não niveladas, perda de cor e juntas de maior dimensão.

O isolamento deve envolver o edifício da forma mais completa possível. Na construção do pano exterior deve ter-se em conta a sua elevada exposição às acentuadas variações térmicas.

Consoante a sua cor pode sofrer diferenças térmicas de 50° e 80°, sendo que as diferenças diárias podem ir até 20° em parede clara e 30° em a parede escura. Daqui se percebe que o revestimento não deve ter nenhuma relação rígida com o edifício que envolve. Deve construir-se também com juntas de dimensão adequada para assegurar que pode deformar-se livremente sem fissurar.

A corrosão é a principal patologia a nível das fixações. Esta pode ocorrer devido a alguns factores, nomeadamente:

- Oxidação do material químico e mecânico (Figura 37);
- Reacções catódicas;
- Metais em contacto.



Figura 37 - Oxidação.

Em relação a anomalias referentes às paredes de suporte e isolamento, temos as seguintes (Serrasqueiro, 2007):

- Aproximação dos panos;

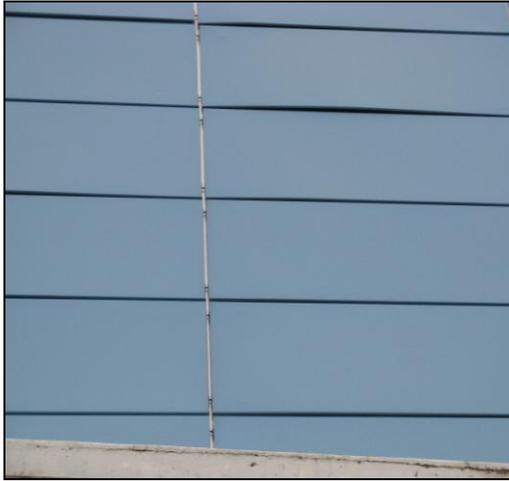
- Pãos exteriores com espessuras muito reduzidas podem oferecer pouca estabilidade, falta de verticalidade e não coesão com peças de fixação ao pano interior;
- Má execução da câmara-de-ar, desde a má aplicação do isolamento térmico (que deve ficar totalmente aderido ao pano interior) e mau comportamento térmico do edifício;
- Se a câmara-de-ar tiver menos de 3cm, com rebarbas de argamassa da construção do pano exterior, o seu desempenho poderá ficar comprometido (Figura 38);
- Uso de isolamentos térmicos não hidrófugos.



Figura 38 - Pormenor de rebarba.

A nível de juntas, geralmente existem algumas dificuldades em garantir determinados factores (Serrasqueiro, 2007), tais como:

- No painel - verticalidade (Figura 39 a), impermeabilidade à água, resistências aos agentes ambientais;
- Sistema de encaixe - facilidade de alinhamento, nivelamento, possibilidade de montagem pelo interior com auxílio de andaimes, encaixe posterior de novas peças;
- Especificamente em relação às juntas - geometria, estanqueidade, tolerâncias dimensionais, limpeza, entrada e alojamento de seres de pequena dimensão;
- Sistema de montagem - manutenção e reparação relacionada com o desempenho da junta e com o sistema de fixação.



a)

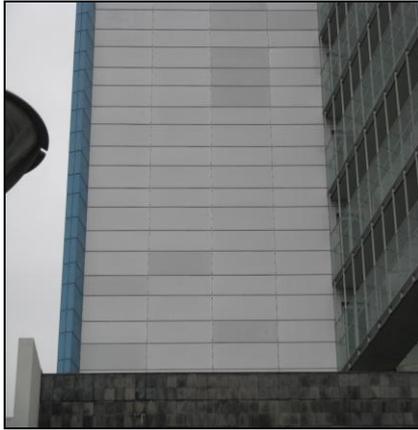
Figura 39 - a) Deformação

As anomalias mais frequentes a nível do isolamento termo/acústico são:

- Entrada de água para o interior da câmara-de-ar e seguidamente para o isolamento, o que faz com que este possa vir a perder ou diminuir as suas qualidades;
- Desprendimento do isolamento devido a deficientes processos de fixação;
- A acumulação de sujidade com o passar do tempo.

As anomalias mais comuns a nível de revestimentos são:

- Variações de cor (Figura 40);
- Humidades ascensionais;
- Inchamento;
- Pontes térmicas;
- Placas partidas;
- Gretas;
- Infiltrações na câmara-de-ar;
- Manchas junto às juntas;
- Placas descaídas do seu ponto de fixação;
- Arrancamento ou desprendimento de placa;
- Degradação das placas;
- Manchas de oxidação nas placas.



a)



b)

Figura 40 - a) Diferentes tonalidades b) Diferente tonalidade num fenólico

- Desgaste (Figura 41);



Figura 41 - Desgaste.

- Quebra na zona de fixação (Figura 42);



a)



b)

Figura 42 - a) Quebra na zona de fixação b) Quebra na zona de fixação.

Quebra na zona central do painel (Figura 43);



a)



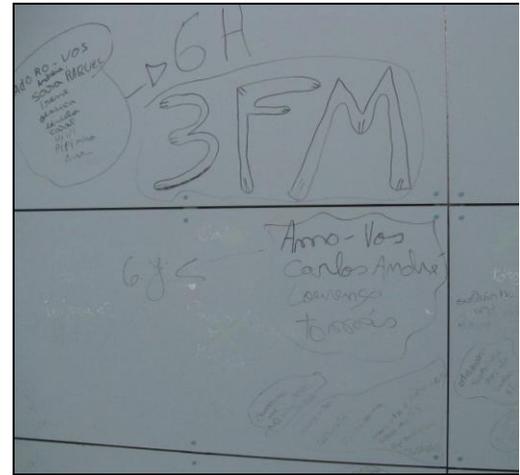
b)

Figura 43 - a) Quebra no painel de fenólico b) Quebra no painel de pedra.

- Vandalismo (Figura 44);



a)



b)

Figura 44 – a) Vandalismo em painel metálico b) Vandalismo em fenólico

- Sujidades devidas a escorrimentos pelas fachadas (Figura 45 a);

- Desprendimento (Figura 45 b);



a)



b)

Figura 45 - a) Sujidade b) Desprendimento.

- Queda de alguns constituintes da fachada (Figura 46).



a)



b)

Figura 46 - a) Queda de membros da fachada b) Quebra de membros da fachada.

4. Ensaio Experimentais sobre um Sistema Construtivo.

Com vista a melhor compreender o desempenho de um sistema de fachada ventilada e dos seus componentes, realizou-se no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no pavilhão de componentes, uma análise experimental que foi conduzida de modo a que se estudasse o comportamento de um revestimento de pedra de calcário moleano fixado com ancoragem pontual de gatos resistentes e isolamento térmico em relação à permeabilidade à água da chuva e em relação ao choque. Os isolantes foram caracterizados do ponto de vista da capilaridade e da condutibilidade térmica.

Testaram-se sistemas com dois isolantes térmicos: o poliestireno extrudido (XPS), muito usado em Portugal para este tipo de aplicações; a lã-de-rocha, com grande utilização em alguns países da Europa, principalmente devido ao seu melhor comportamento ao fogo.

O recurso à realização destes ensaios em laboratório pretende reproduzir artificialmente as circunstâncias de exposição das fachadas ventiladas à chuva e/ou ao choque, este último devido a acidentes ou vandalismo.

O conhecimento dos fenómenos reais, como as condições climáticas, são aspectos essenciais para validar os ensaios de laboratório com vista à determinação da permeabilidade do sistema de fachadas ventiladas com isolamento térmico, no sentido de evitar aparecimento de possíveis patologias.

4.1. Ensaio de Capilaridade

4.1.1. Objectivo

Tendo por objectivo avaliar experimentalmente a capilaridade dos isolantes térmicos (lã-de-rocha e XPS), realizou-se um ensaio de absorção de água por imersão parcial dos provetes em meio aquático, a curto tempo, por forma a tirar ilações factuais, relativamente ao comportamento destes materiais em contacto com água.

4.1.2. Metodologia do Ensaio

Este ensaio foi realizado de acordo com a NP EN 1609 para produtos de isolamento térmico para a aplicação em edifícios.

4.1.3. Descrição do Ensaio

Neste ensaio foi utilizado o seguinte material : balança, tanque, água corrente e equipamento de drenagem (Figura 47).

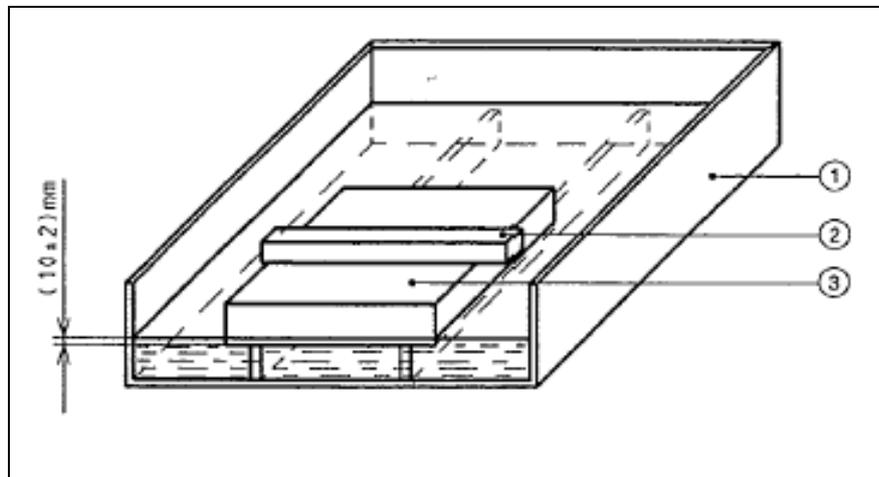


Figura 47 – Material de Ensaio

- 1- Tanque de água;
- 2- Carga;
- 3- Provete.

Os provetes foram cortados em forma de prismas quadrangulares, com 200 mm de base e 30 mm de altura.

A temperatura ambiente era de 23 graus centígrados e a humidade relativa era de 50%, como estava indicado na norma.

Colocaram-se os provetes numa tina de água (Figura 48), aplicando-se em seguida uma carga para os manter parcialmente submersos, quando a água fosse colocada. Esta foi adicionada cuidadosamente até atingir a altura de 10mm das faces laterais dos provetes.

A lâ-de-rocha apresentava uma fina película preta na parte superior, menos permeável que a as superfícies da base e das faces laterais, o que, devido às texturas diferentes, proporcionava superfícies de absorção completamente distintas.

Em relação ao XPS, as superfícies de absorção eram idênticas nas seis faces.



Figura 48 - Provetes na tina com água.

Após 24 horas, os provetes foram removidos e colocados a drenar durante 10 minutos num escorredor de aço inoxidável, com as faces maiores na vertical, na posição de V para facilitar o escoamento, conforme pode ser visto na Figura 49.



Figura 49 – Secagem dos provetes.

4.1.4. Resultados do Ensaio

A absorção da água por capilaridade, por imersão parcial de curta duração, (W_p , em quilogramas por metro quadrado) é calculada por meio da seguinte expressão.

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p} \quad (2)$$

onde,

m_0 - massa do provete;

m_{24} - massa do provete após imersão parcial de 24 horas, em quilogramas;

A_p - área da secção inferior do provete, em metros quadrados.

Os dados e resultados encontram-se apresentados ,no Quadro 13 e no Quadro 14.

Quadro 13 - Dados de ensaio de capilaridade.

Provete	Comp. (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)		Área (m ²)	Massa (g)	Massa Volúmica Aparente (kg/m ³)
XPS A	198,3	200,3	9,0	38,6			
			8,6	38,3			
	199,3	199,6					
Média	198,8	200,0	38,6		0,03976	44,8	29,2
XPS B	199,3	198,3	8,6	38,4			
			8,5	39,0			
	199,1	199,2					
Média	199,2	198,8	38,6		0,03960	44,8	29,3
Lã-de-rocha (Face Superior)	200,6	200,5	8,3	38,8			
			8,6	38,7			
	200,5	201,2					
Média	200,6	200,9	38,6		0,04030	70,1	45,1
Lã-de-rocha (Face Inferior)	198,7	195,8	9,3	38,7			
			9,0	38,4			
	199,3	193,4					
Média	199,0	194,6	38,85		0,03873	62,5	41,5

Os provetes, com as características indicadas no Quadro 13, após imersão em água, durante 24 horas, revelaram os valores de absorção de água apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultados Ensaio de capilaridade

Provete	Área da face imersa (m ²)	Massa dos Provetes (g)		Absorção de água por imersão parcial W_p (Kg/m ²)
XPS A	0,03976	44,8	45,8	0,03
XPS B	0,03960	44,8	45,9	0,03
Lã-de-rocha (Face Superior)	0,04030	70,1	572,4	12,46
Lã-de-rocha (Face Inferior)	0,03873	62,5	407,6	8,91
Absorção média do XPS	-	-	-	0,03
Absorção média da lâ-de-rocha	-	-	-	10,69

4.1.5. Apreciação dos Resultados

Como se pode observar através dos quadros 13 e 14, o XPS apresenta uma capilaridade muito baixa, na ordem dos 0,03Kg/m², comparado com a lâ-de-rocha que apresenta valores consideravelmente mais altos (12,46 Kg/m² na face superior e 8,91 Kg/m² na face inferior).

Pode também notar-se que a tela fixante que envolvia a lâ-de-rocha provocou uma menor capilaridade nessa face comparativamente à face que se apresentava despida da película. Mesmo assim este valor menor na lâ-de-rocha é muito superior aos valores obtidos pelo XPS.

De notar que estes valores foram obtidos num experiência em laboratório (meio perfeito). Os resultados poderiam divergir caso fosse feita no ambiente exterior.

No sistema de fachada ventilada, as faces laterais dos isolantes térmicos não recebem água directamente da fachada, só as faces que ficam paralelas à parede de suporte é que poderão eventualmente ser atingidas por água, logo este ensaio não reflecte na perfeição o que se passa na realidade embora permita ter uma ideia em relação à capilaridade do XPS e da lâ-de-rocha.

4.2. Ensaio de Condutibilidade Térmica

4.2.1. Objectivos

Tendo por objectivo avaliar experimentalmente a condutibilidade térmica de uma lâ-de-rocha da marca "Panel Neto", realizou-se um ensaio de condutibilidade térmica para obter dados e tirar ilações, relativamente à condutibilidade térmica deste mesmo material. Em relação ao XPS este ensaio não foi efectuado pois os valores estavam disponíveis nas especificações.

4.2.2. Metodologia do Ensaio

Este ensaio foi realizado segundo a norma europeia EN 12667.

4.2.3. Descrição do Ensaio

4.2.3.1. Condições do Ensaio

Amostra: lâ de rocha

Pressão: 500 Pa

Espessura do ensaio: 39.020 mm

Massa inicial: 431,52 g

Massa final: 431,70 g

Temperatura ambiente: 23°C

Humidade relativa ambiente: 50%

4.2.3.2. Material Utilizado

- Cortador;
- Provetes;
- Equipamento termofluximétrico.(Figura 50 – Equipamento termofluximétrico.

Este ensaio consiste em colocar os provetes no equipamento termofluximétrico, esperar meia hora e após este tempo o aparelho especificará a condutibilidade térmica do provete em questão.

Os provetes foram cortados com as dimensões de 0,5 x 0,5 m e colocados no interior do equipamento termofluximétrico (Figura 50).

Inicialmente o provete foi colocado primeiro com a parte da tela fixante voltada para baixo. Passadas duas horas foi retirado e o valor da sua condutibilidade térmica foi determinada pelo equipamento.

Depois utilizando o mesmo provete, foi ensaiado mas com a face da tela fixante voltada para cima apresentando valores ligeiramente diferentes determinado pelo aparelho.

Cada face do isolamento demorou duas horas a ser ensaiada .



Figura 50 – Equipamento termofluximétrico.

4.2.4. Resultados do Ensaio

As condições do ensaio e resultados de condutibilidade térmica são apresentadas no Quadro 15 e Quadro 16.

Quadro 15 - Ensaio de condutibilidade térmica da lâ-de-rocha 1

Número de medições	Fluxo de calor (W)	Temperatura da amostra na superfície fria (°C)	Temperatura da amostra na superfície morna (°C)	Diferença de temperatura da amostra (K)	Temperatura média da amostra (°C)	Condutibilidade e térmica (W/(m*K))
1	9,17	4,3	15,9	11,6	10,1	0,03086

O segundo quadro apresenta os resultados do ensaio da condutibilidade térmica quando este foi feito com a parte da tela fixante virada para cima dentro do equipamento termofluximétrico.

Quadro 16 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica da lâ-de-rocha 2

Número de medicos	Fluxo de calor(W)	Temperatura da amostra na superfície fria (°C)	Temperatura da amostra na superfície morna (°C)	Diferença de temperatura da amostra (K)	Temperatura média da amostra (°C)	Condutibilidade e térmica (W/(m*K))
1	9,22	4,2	15,8	11,7	10,1	0,03091

4.2.5. Apreciação dos Resultados

A lâ-de-rocha foi ensaiada em duas superfícies pois uma delas estava protegida com uma tela fixante e este facto poderia conduzir a diferentes resultados de condutibilidade térmica.

Após o ensaio normalizado apresentou uma condutibilidade térmica de 0,03091(W/(m*K)) numa face e 0,03086 (W/(m*K)) noutra, valores estes que podem ser considerados baixos.

Comparando estes valores com a condutibilidade térmica do XPS, o outro material usado como isolante térmico no ensaio 0,0288(W/(m*K)), constatou-se que apresentava valores semelhantes.

Estes materiais têm estruturas e texturas diferentes e apresentam ambos baixa condutibilidade térmica.

É importante realçar que esta experiência foi feita em ambiente de laboratório, ou seja, em ambiente perfeito mas na realidade, (ambiente exterior) as condições são diferentes. Em condições de humidade de 80 a 90 %, os isolamentos tenderão a perder qualidade devido à humidade presente no ar, fazendo a água aumentar a condutibilidade térmica e diminuindo a sua resistência térmica.

No laboratório não se conseguiu transpor a realidade em relação ao efeito das fixações nas ancoragens pontuais nos isolantes. As fixações pontuais vão fazer com que hajam pontes térmicas, aumentando também, em condições normais, a condutibilidade térmica e diminuindo a resistência térmica, pontes térmicas estas que não estão presentes na amostra que foi utilizada no ensaio.

4.3. Ensaio do Sistema em Fachada Ventilada.

4.3.1. Parede

Para a realização deste ensaio foi construída uma parede executada pelos colaboradores empresa Tendemassa (Figura 51), do tipo tradicional, composta por alvenaria de tijolo com as dimensões de 30x20x22, de pano simples, com comprimento de 3,5 m, altura de 2,20 m e espessura de 0,22 m. A parede foi construída no interior do edifício, na Nave de Ensaio do Laboratório de Revestimentos de Paredes do LNEC, sobre um suporte de metálico, na base do qual foi colocada uma calha para escoamento da água que escorresse pela parede aquando do ensaio com os aspersores de água (Figura 52).

Tanto as juntas horizontais como as verticais, entre tijolos, foram totalmente preenchidas com cimento, areia de rio e areia de areeiro ao traço de 1:4:1



Figura 51 – Preparação da argamassa para a construção da parede.



Figura 52 – Construção da parede

Estas dimensões, em especial o comprimento, foram condicionadas pelo tamanho da Câmara de Ensaio Higrométricos, pois esta teria de estar enquadrada com a parede.

4.3.2. Afixação de Sensores

Depois da parede seca (21 dias após a sua construção), antes da fixação das placas de isolante, foram afixados à mesma sensores para a realização dos ensaios que serão descritos mais tarde.

4.3.3. Isolantes

O isolamento térmico, cedido pela empresa Termipol, foi constituído por dois materiais diferentes, colocados lado a lado, em cada uma das metades da parede Figura 53. Os materiais utilizados foram lâ-de-rocha, da marca Neto, e o poliestireno extrudido (XPS), da marca Fibran Eco.



Figura 53 – XPS e Lã de Rocha na parede.

4.3.4. Revestimento

Foi utilizado um revestimento de pedra (calcário moleano com uma percentagem de absorção de água de 0,64% e porosidade aberta de 1,70 % de acordo com o Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas com superfície rectangular de 0,40m por 0,60m e espessura de 0,03 m (Figura 54).



Figura 54 – Pedra moleano para utilização no revestimento da parede.

Este revestimento foi fixado indirectamente ao suporte (Figura 55 e Figura 56).



Figura 55 – Assentamento das pedras da fachada ventilada.

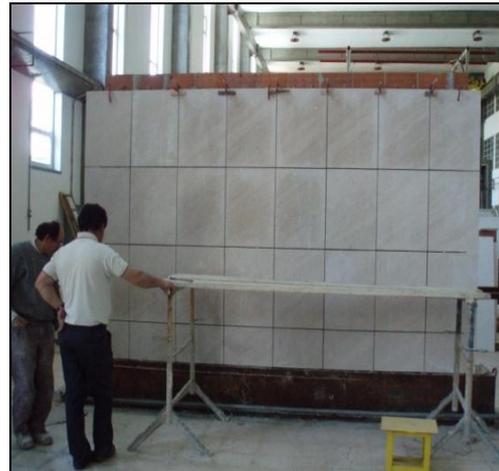


Figura 56 – Parede concluída, com o revestimento.

Foram utilizadas 24 pedras inteiras e 8 pedras cortadas a meio, numa matriz de 8x4 (Figura 57).

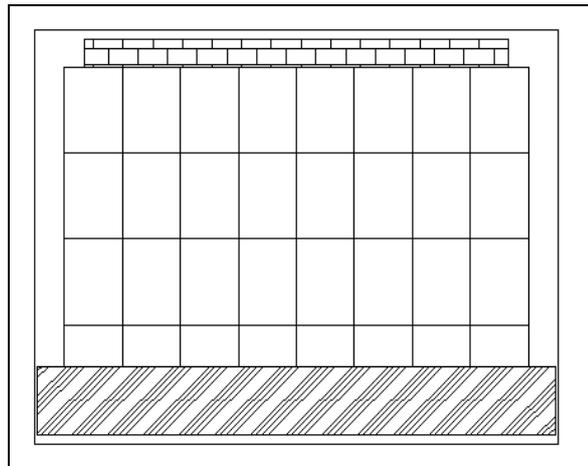


Figura 57 – Esquema do revestimento em pedra.

4.3.6. Juntas entre as Placas de Revestimento

As juntas verticais das placas de revestimento (0,003m) foram dimensionadas para serem menores que as juntas horizontais (0,005m).

4.3.7. Caixa-de-ar entre Revestimento e Isolante

A caixa-de-ar (Figura 58) apresenta uma espessura média de 0,04 m. Esta situa-se entre o isolante térmico e o revestimento de painéis de calcário moleano.



Figura 58 – Caixa-de-ar.

4.3.8. Fixações

A fixação dos painéis de revestimento da parede (cedida pela empresa Simes) foi feita através de gatos (Figura 59).



Figura 59 - Gato de fixação..



Figura 60 - Camisa de fixação

Os gatos foram colocados dentro das camisas (Figura 60 - Camisa de fixação , que, por sua vez, haviam sido previamente introduzidas numa abertura horizontal efectuada com berbequim, com 15 cm de profundidade, através das placas de isolamento, até à parede suporte de alvenaria (Figura 61).



Figura 61 - Introdução do gato na camisa para fixação dos painéis de revestimento.

As camisas, depois de colocadas na parede (Figura 62), foram preenchidas com uma resina (cedida pela empresa Simes) que, saindo pelos furos existentes (Figura 63), consolidou o apoio e fixação dos gatos. A resina confere ainda uma impermeabilização aos gatos por envolvê-los em grande parte da sua extensão.



Figura 62 - Resina na camisa.



Figura 63 - Conjunto gato, camisa e resina.

Os painéis de revestimento foram presos às extremidades dos gatos por pequenas peças (Figura 64) cilíndricas de metal introduzidas em furos abertos na espessura das faces horizontais (superior e inferior) de cada painel.

Para garantir a verticalidade do revestimento (Figura 65) usou-se um nível.



Figura 64 – Pormenor das pedras ligadas aos gatos de fixação com espaçador e pino.



Figura 65 - Pedras da fachada ventilada a serem alinhadas.

Depois completa a colocação das pedras (Figura 66) preparou-se o tapete de borracha (Figura 67) que iria servir para que a água que fosse lançada pelos aspersores da máquina não inundasse o laboratório de Revestimentos de Paredes do LNEC (Pavilhão de Componentes).



Figura 66 - Parede e revestimentos concluídos.



Figura 67 – Pormenor do tapete para reter a água do ensaio.

4.4. Ensaio de Humidades

Tendo por objectivo avaliar experimentalmente a resistência à penetração da água da chuva num sistema de fachada ventilada com isolamento térmico pelo exterior do pano de alvenaria que

limita a construção, realizaram-se alguns ensaios experimentais com a finalidade de tirar algumas ilações factuais, relativamente a patologias que poderão vir a afectar o comportamento do sistema e de compreender o real desempenho deste sistema relativamente à resistência (impermeabilização) da humidade proveniente da chuva, através de uma simulação.

4.4.1. Metodologia do Ensaio

Este ensaio não está normalizado, foi inspirado na ficha de determinação da permeabilidade à água da chuva. FE Hu 01 do LNEC, constituindo uma adaptação da BS 4315: parte 2 e ASTM E514. Pode referir-se ainda que as condições gerais do ensaio tinham sido já aplicadas em investigações de Alves (2001) e Veiga (2000).

4.4.2. Descrição do Ensaio

O equipamento utilizado para o ensaio foi a Câmara de Ensaios Higrotérmicos do Departamento de Edifícios do LNEC (Figura 68), ajustável à parede construída e que tem as seguintes características:

- Aspersores distribuídos (6) de modo a que a água por eles aspergida chegue à totalidade da fachada (Figura 69).
- Um aparelho ventilador que simulava a acção do vento e estabelecia uma pressão dinâmica.
- “Humidímetro” ou “aparelho detector de humidade no betão com base na variação da condutividade térmica”.
- Sondas (4), colocadas entre o revestimento térmico e a parede para detectar a humidificação de cada um desses pontos.

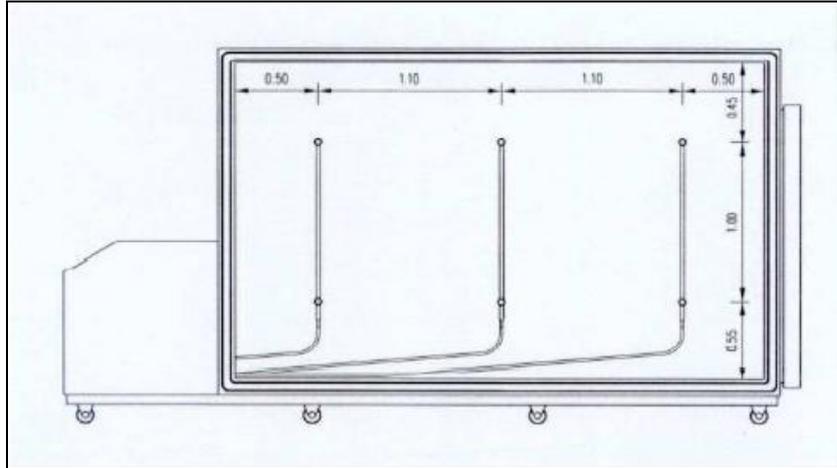


Figura 68 – Equipamento de ensaio. Câmara de Ensaio Higrotérmico do Laboratório de Revestimentos de Paredes do Departamento de Edifícios do LNEC(Alves, 2001)

4.4.3. Condições de Realização dos Ensaiois

- Área de teste: 2,0x3,0 m²
- Temperatura média: 23°C
- Duração do ensaio: 21 dias
- Pressão: 480 Pa



Figura 69 – Interior da Câmara de Ensaio Higrotérmico.

4.4.4. Preparação do Ensaio

Depois de construída a parede houve um tempo de espera de 21 dias para que a argamassa secasse e só depois foram colocados os sensores (Figura 70). De seguida aplicaram-se em zonas distintas da parede, quatro sensores que permitiram a captação dos sinais de humidade. Estes dados foram reconhecidos pelo humidímetro e registados num sistema informático ligado àquele aparelho. Este aparelho foi desenvolvido no LNEC por Palma (1992).

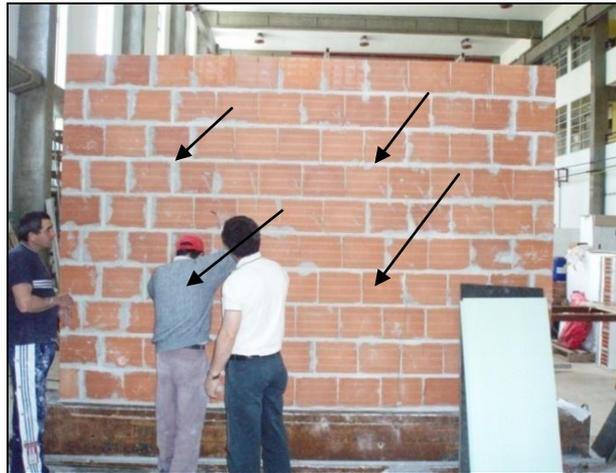


Figura 70 – Aplicação de sensores para ligação ao Humidímetro.

Os sensores aplicados foram presos à parede de tijolo com material aderente (*bostik*) (Figura 71).



a)



b)

Figura 71 – Sensores na parede a) b).

Depois de fixados os sensores e ligados ao humidímetro (Figura 72) foi feita um 1º ensaio para verificar se a ligação estava perfeita e se a calibração do mesmo estava correcta.

O funcionamento do humidímetro baseia-se no princípio físico de que a condutividade do material aumenta com o seu teor em água ou, por outras palavras, a resistência diminui. A medição da resistência eléctrica tem necessariamente que ser feita sem provocar a electrólise. Consegue-se isto com a injeção de corrente alternada (excitação) em alta frequência (normalmente utilizam-se frequências de 1 a 10 KHz).

A densidade de corrente eléctrica no material deverá ser muito reduzida para que não altere a sua temperatura.

A grandeza eléctrica medida pode ser a resistência (ou a condutância). Para encontrar o valor da resistividade há que conhecer a distribuição do campo de correntes no material.

A escala em que são medidos os valores varia entre 0 e 1000 em que 0 significa completamente molhado e o 1000 completamente seco (unidades 1000 e 0) (Palma, 1992 e Palma J.; Veiga R. (2007)). Esta escala relaciona potencial eléctrico e humidade.



Figura 72 – Humidímetro.

Após esta etapa iniciou-se a aplicação do isolante, em lâ-de-rocha e XPS (Figura 73), e de seguida foram colocados os painéis de revestimento que completaram a fachada ventilada.

Depois de concluída esta etapa deu-se inicio à colocação do revestimento de pedra moleano.

Esta tarefa é a mais delicada em todo o processo de montagem da fachada ventilada, pois requer alguma precisão para que as pedras fiquem bem fixadas e correctamente posicionadas.



Figura 73 – Implantação do isolamento de XPS e lâ-de-rocha.



Figura 74 – Humidímetro ligado ao computador.

Em seguida preparou-se a Câmara de Ensaio Higrométrico, regulando os seis aspersores e fazendo um ensaio inicial para se aferir a pressão da água aspergida pelos referidos aparelhos e para confirmar a marcação de dados no computador pelo Humidímetro (Figura 74).

Depois de concluído este mini ensaio, preparou-se a câmara para que se tivesse ao longo do ensaio um ambiente de simulação das condições meteorológicas mais gravosas (chuva e vento) para forçar a entrada da água pelo sistema de fachada ventilada.

Preparou-se um ventilador que foi ligado por meio de um tubo de borracha à câmara de ensaio (Figura 75). A função deste ventilador era simular um ambiente ventoso e também provocar alterações de pressão no interior da câmara. Para esta alteração de pressão ser efectiva foram usados tensores para que a câmara estivesse o máximo chegada contra a parede (Figura 76).

As alterações de pressão não foram conseguidas, pois as juntas do revestimento em fachada ventilada permitiam a entrada e saída de ar. Assim sendo, mesmo com todos os esforços para que não houvesse fugas de ar pelas partes laterais da câmara, usando tensores a pressionar a câmara contra a fachada para minimizar a perda de pressão, não foi conseguido um ambiente ideal para o ensaio.



Figura 75 – Ventilador.



Figura 76 – Tensores a prender a câmara ao sistema de fachada ventilada.

Antes de começar o ensaio teve de se deixar o humidímetro em zona que fosse acessível, mas que não ficasse molhado pela água vinda dos aspersores. Devido a esse facto o referido aparelho foi deixado numa caixa de vidro revestida com um plástico transparente, dentro da câmara e assim ficou acessível para recolha de informação durante o ensaio.

Embora os sensores registassem toda a ocorrência de humidade que existisse, a observação visual foi também de extrema importância neste ensaio pois permitiu verificar a propensão da água subir por capilaridade tanto nos tijolos como nos isolantes térmicos.

Terminado todo este processo de preparação do ensaio à entrada de água em fachadas ventiladas começou o ensaio propriamente dito.

O ensaio de humidades teve início no dia 29 de Maio, e os registos de dados foram efectuados com uma periodicidade de 15 em 15 minutos, sendo que a partir do dia 4 de Junho a periodicidade dos registos passou a ser efectuada com intervalos de uma hora.

4.4.5. Resultados do Ensaio

No início das observações grande parte da água aspergida escorria pelo lado exterior do revestimento, voltado para a câmara de ensaio. Uma pequena quantidade infiltrava-se para o interior, através das juntas e escorria pela parte interior do revestimento. Observou-se que parte dessa água infiltrada, ao atingir a parte inferior da caixa-de-ar, acumulava-se nessa zona. O plano onde se acumulava a água constituía o prolongamento da base da parede e não possuía as características adequadas para o seu escoamento, pois não apresentava nenhuma inclinação que facilitasse o escoamento. Porém, esta água não atingia a base do isolante térmico. Com o decorrer do ensaio a altura da lâmina de água acumulada foi subindo.

Passadas vinte e quatro horas, a lâ-de-rocha apresentava capilaridade ascendente com 1,5 cm de altura.

Passadas quarenta e oito horas do início do ensaio, notou-se que uma muito pequena quantidade de água se encaminhava para a parede através dos gatos de fixação. Alguma desta água escorria pelo isolamento térmico (Figura 77), sendo que a parte que não escorria seguia pelos gatos até às camisas de fixação que estavam preenchidas com resina.

Passados 4 dias começou a notar-se visualmente que alguns tijolos da parte inferior da parede manifestavam presença de humidade derivada de um fenómeno de capilaridade. Esta presença era devida à água que se acumulava na zona de suporte da base da parede, pois, como já foi referido, esta base não apresentava características adequadas ao escoamento.

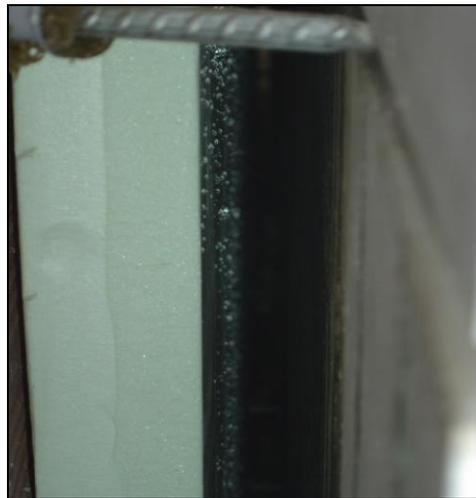


Figura 77 - Gotas de água no isolamento XPS.

A partir da data acima referida, constatou-se uma subida da mancha de humidade na lâ-de-rocha por capilaridade. Neste momento a mancha de humidade já atingia os 2,5 cm de altura.

A visualização do gráfico permite uma compreensão mais fácil da evolução dos índices de humidade na parede (Figura 78).

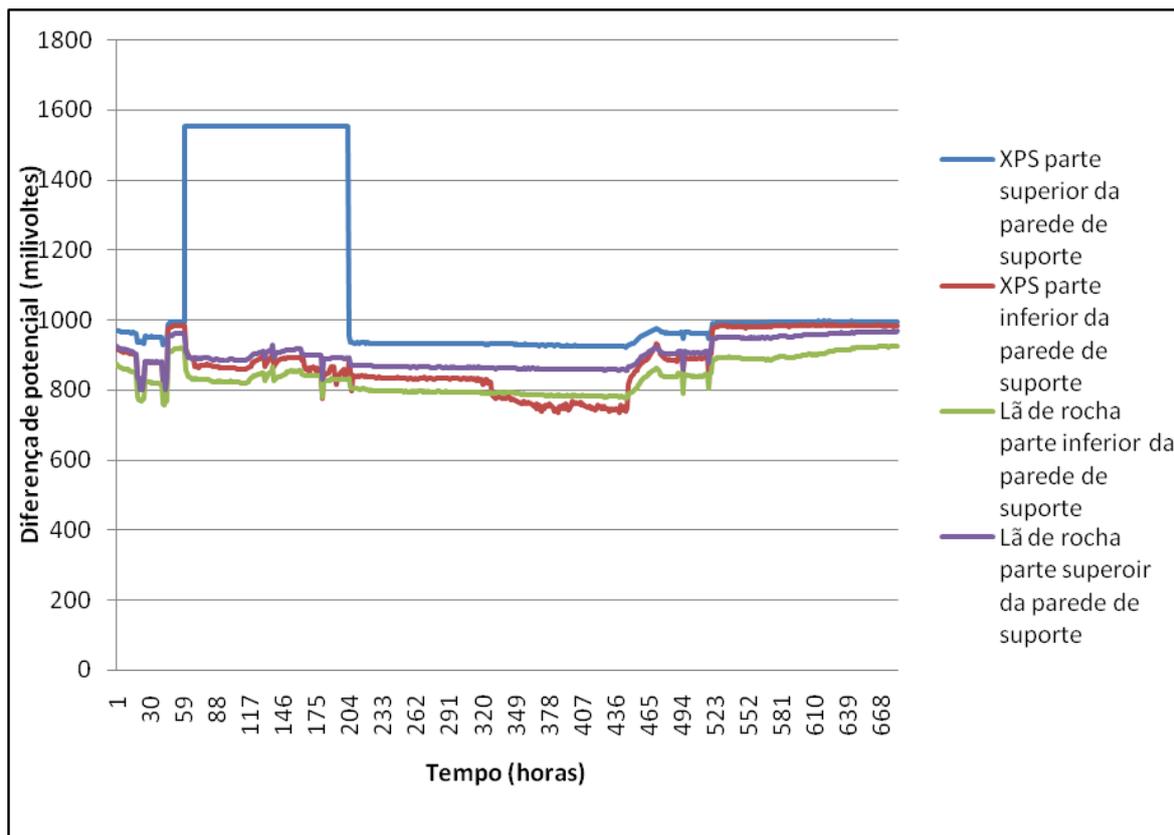


Figura 78 - Gráfico de ensaios de humidades.

Deu-se início ao ensaio na sexagésima quarta hora contada a partir do início dos registos dos dados colhidos pelo humidímetro (dia 29 de Maio).

Este gráfico tem no eixo das abcissas o número de horas do ensaio e no eixo das ordenadas tem os Milivoltes (Mv).

A primeira observação a fazer em relação ao gráfico das humidades é que o sensor que se situava na zona mais elevada com isolamento de XPS, durante 130 horas, esteve desligado devido à falta de contacto entre este sensor e o humidímetro, desde a sexagésima quarta hora até centésima nonagésimo hora), daí os valores de 1555 apresentados. Este facto, lamentável, mas sem grande importância, não assume especial relevo, pois a diferença de valores no eixo que representa os Mv, entre os sensores, é muito pequena e os dados colhidos pelas leituras de todos os outros sensores revelam valores idênticos e têm um andamento relativamente paralelo, logo é de prever que, se esta anomalia não tivesse ocorrido, os valores colhidos pelo humidímetro seriam da ordem dos 1000 a 950.

Observando os registos dos outros sensores, pode constatar-se que, a partir da sexagésima quarta hora (64), os valores começam gradualmente a baixar até quatrocentésima quadragésima oitava hora (448). A partir desta hora, os valores registados começam gradualmente a subir, indicando a secagem, pois acabou a aspersão de água mas o Humidímetro continuou ligado aos sensores.

Com esta informação consegue perceber-se em quanto tempo se pode processar a secagem de um isolante térmico numa fachada ventilada (sensivelmente 80 horas), embora os valores de

humidades registados fossem de valores muito baixos e o isolante não se encontrasse propriamente molhado.

Em relação aos valores apresentados no gráfico, o valor de 730 Mv é o valor inferior que aparece nos registos. Este valor, embora seja o mais baixo registado, pode considerar-se como um valor de quase seco.

Relativamente aos dois isolantes usados, a diferença entre eles, no que diz respeito à presença de humidade, é pouco significativa. Pode observar-se que o sensor colocado na zona mais elevada parede de suporte com isolamento em XPS apresenta menores índices de humidade ao longo de todo o ensaio.

O sensor colocado na zona inferior da parede revestida por lâ-de-rocha é o que apresenta, durante grande parte do ensaio, maior nível de humidade. Só entre a tricentésima trigésima hora(337) e a quatrocentésima quadragésima hora (449) é que o sensor localizado na zona inferior da parede que apresentava como isolante XPS apresentou valores mais altos de humidade.

Todos estes valores registados pelo humidímetro apresentam-se como valores de humidade extremamente baixos.

Uma das explicações do aumento de humidade registado no humidímetro no sensor, a partir da tricentésima hora, é que a ascensão capilar poderá ter influenciado o registo de valores deste sensor. A zona onde o sensor estava implantado apresentava absorção de água visível.

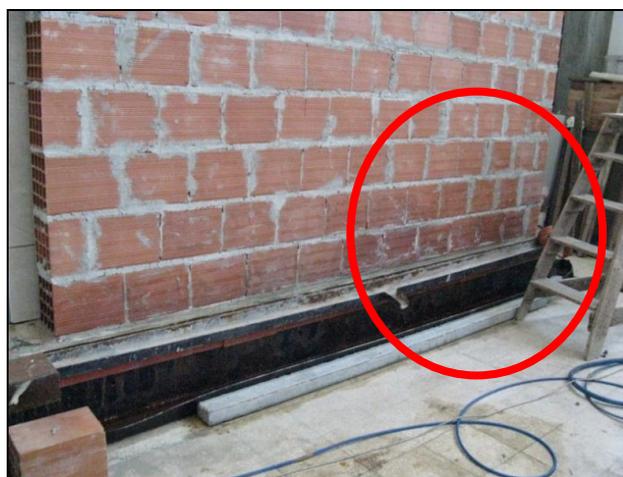


Figura 79 - Humidade na parede de suporte.

Verifica-se assim que as infiltrações de água através dos isolantes, na zona superior da parede, foram pouco significativas, podendo considerar-se mesmo desprezáveis. Na zona inferior da parede ocorreu algum humedecimento desta por trás dos dois isolantes, provavelmente por capilaridade ascendente da água acumulada na base (Figura 79). Ou seja, nas condições do ensaio o sistema mostrou ter boa capacidade de protecção à água em zona corrente, observando-se por outro lado o efeito desfavorável das deficiências de escoamento da água na base da parede. Apesar da capilaridade mais elevada da lâ de rocha em relação ao XPS não se observou uma diferença de comportamento significativa no ensaio de simulação de chuva, provavelmente devido ao facto das quantidades de água infiltradas serem demasiado baixas para evidenciar as diferenças de absorção.

4.4.6. Apreciação dos Resultados

Analisando as observações efectuadas e os resultados dos ensaios, nota-se que tende a entrar alguma água através das juntas dos painéis no sistema de fachada ventilada, mesmo que estas sejam de pequena dimensão, como já havia referido Bobadilla (2007) e UAF (2003).

O corpo de um gato de fixação é um caminho preferencial para a transmissão de água à parede de suporte. No entanto, a resina utilizada na fixação dos gatos, minimiza a entrada de água na parede através do gato de fixação.

Como as juntas tinham de abertura 3 mm (na vertical) e 5 mm (na horizontal) era expectável que a entrada de água no sistema de fachada ventilada fosse diminuta, pois as juntas apresentavam-se como pequena dimensão.

O facto de o sistema de fachada ventilada possuir um isolamento térmico tende a impedir que a água chegue à parede de suporte através dos gatos.

A caixa-de-ar e o isolamento apresentam uma barreira de 7 cm o que dificulta a entrada de água no sistema.

A caixa-de-ar apresenta-se como uma mais-valia no sistema de fachada ventilada, pois tende a impedir que grande parte da água entrada através das juntas dos painéis atinja o isolamento térmico e a parede de suporte, mas não tornando o sistema completamente estanque à entrada de humidade, posição defendida também por UAF (2003) e Alves (2001). No entanto, nas condições do ensaio este sistema revelou ser bastante eficaz em relação à protecção à água, não se verificando humedecimento significativo da parede de suporte em zona corrente.

A base sobre a qual foi construída a parede era constituída por uma superfície horizontal que não permitia um escoamento pleno da água que, ao escorrer pelos painéis se acumulava junto à base da parede. Embora esta água existisse em pequena quantidade, este facto poderá ter influenciado alguns dos resultados do ensaio, pois os tijolos da zona central da parede apresentavam alguma ascensão capilar.

Numa situação de aplicação do sistema de fachadas ventiladas em obra o escoamento deverá processar-se de modo mais fácil de modo a que estas patologias não se verifiquem.

Pelo facto de não se ter conseguido ensaiar o sistema em alta pressão, devido às juntas do sistema permitirem a fuga de ar entre a câmara de ensaio e o revestimento, apresenta-se viável ser uma explicação para os baixos níveis de humidade registados. Em condições mais gravosas, com pressões elevadas, a água poderá atingir o isolante e, nesse caso, a lã de rocha, por ter absorção de água muito superior ao XPS, seria provavelmente mais afectada e sofreria maior decréscimo de resistência térmica.

Considerando que este ensaio foi efectuado em laboratório e que, embora se tenha tentado simular as condições de precipitação em ambiente real, nunca é possível criar em laboratório com rigor as condições reais de exposição de um edifício às intempéries, pelo que deverá aceitar-se uma margem de tolerância deste ensaio relativamente às construções edificadas em ambiente natural.

4.5. Ensaio de Choque

4.5.1. Objectivo

A execução deste ensaio visa avaliar experimentalmente a resistência ao choque do revestimento de pedra calcária moleano utilizada na fachada ventilada em zonas de cotas mais baixas (rés-do-chão) e mais susceptíveis de choques.

4.5.2. Metodologia de Ensaio

Este ensaio foi realizado segundo a as directivas UEAtc relativos a choques de corpo duro em elementos de construção verticais opacos (LNEC, 1982).

4.5.3. Ensaio de Choque de Corpo Duro de 10 J

No primeiro ensaio o choque de corpo duro de 10 J é provocado pelo impacto de um corpo, constituído por uma esfera de aço com um diâmetro de 63,5mm, (massa de $1030g \cong 1kg$) (Figura 81) sobre o revestimento de fachada ventilada. Esta esfera é fixada a uma das extremidades de uma haste metálica com o comprimento de um metro e que por sua vez se articula, na outra extremidade, com um suporte que é encostado à parede. A esfera é levantada até que a haste atinja a posição horizontal (90°). Ao deixar cair a esfera, esta, presa à haste, descreve um movimento pendular, com o braço de 1m de comprimento até embater no revestimento da fachada (Figura 80).

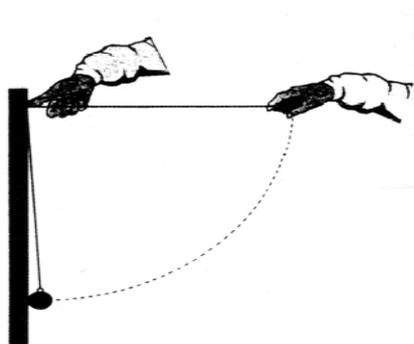


Figura 80 – Esquema ilustrativo de um ensaio de choque (Lucas, 2006)

A energia deste ensaio é dada através da seguinte equação:

$$H \cong \frac{E_{\text{ensaio}}}{9,81 M} \quad (3)$$

onde:

H - altura da queda, em m.

Eensaio - energia de choque a adoptar para o ensaio em Nm.

M - massa do corpo de choque (Kg).

No caso do primeiro ensaio a energia é 10 Nm ou 10 J enquanto que no segundo é 3 Nm ou

3 J.



Figura 81 - Aparelho destinado a ensaiar a resistência do revestimento ao choque (ensaio de 10 J).



Figura 82 - Aparelho destinado a ensaiar a resistência do revestimento ao choque (Baronnie Martinet) (ensaio de 3 J).

4.5.3.1. Resultados do Ensaio de Choque de Corpo Duro 10 J

Observou-se à vista desarmada que o painel de revestimento, na zona em que sofreu o 1º choque com corpo duro de 10 J, apresentava-se completamente fragmentado e só devido à acção dos fixadores é que os fragmentos não caíram ao solo (Figura 83).

No segundo painel a sofrer o ensaio de choque de corpo duro de 10 J os danos foram menores pois como o choque foi mais perto da zona de fixação, a ancoragem absorveu alguma da energia de impacto.

Pode aferir-se que os painéis de calcário moleano utilizados em revestimentos de 3 cm de espessura, com dimensões de 0,60x0,40 m e fixadas em pontos singulares, não resistem a choques de corpo duro da ordem de 10 J.



Figura 83 - Quebra de painel devido ao choque de 10 J.

4.5.4. Ensaio de Choque de Corpo Duro de 3 J

Neste ensaio (choque de corpo duro de 3 J), o choque é provocado pelo impacto de um corpo, constituído por uma esfera de aço com um diâmetro de 50 mm, (massa de 500g \approx 0,5kg) (Figura 82) sobre o revestimento de fachada ventilada. Esta esfera é fixada a uma das extremidades de uma haste metálica com o comprimento de 0,5 m e que por sua vez se articula na outra extremidade com um suporte que é encostado à parede. A esfera é levantada até que a haste atinja a posição horizontal (90 °). Ao deixar cair a esfera, esta, presa à haste, descreve um movimento pendular, com o braço de 0,5m de comprimento até embater no revestimento da fachada.

4.5.4.1. Resultado do Ensaio de Choque de Corpo Duro 3 J

Os danos provocados em ambos os painéis foram mínimos. O choque provocou apenas uma ligeira marca no revestimento de pedra calcário moleano, quase imperceptível (Figura 84).



Figura 84 – Danos provocados pelo ensaio de choque de corpo duro de 3 J.

4.5.4.2. Apreciação dos Resultados

Verificou-se que o revestimento de painéis de pedra de moleano com 3 cm de espessura não resiste ao choque de corpo duro de 10 J pelo que este tipo de revestimento poderá apresentar problemas ao nível de choque com corpos duros. De notar que se o revestimento fosse outro tipo de pedra ou material, os resultados da experiência poderiam ser diferentes. O ensaio foi efectuado na zona central do painel de revestimento e este ficou completamente fracturado. Nas zonas das fixações pontuais, após o ensaio de choque, o painel apresentava algumas fracturas mas de menor dimensão do que quando foi feito na zona central.

Na realidade os revestimentos estão sujeitos, de acordo com a sua localização e tipos de ocupação, à acção de choques com características e frequência variável. Podem chocar contra estes revestimentos: carros a estacionar, pedras que sejam arremessadas em actos de vandalismo, máquinas que passem em fase de obra e bicicletas.

Em relação ao ensaio de corpo duro de 3 J pode dizer-se que praticamente não influenciam o desempenho do sistema de fachada ventilada, em painéis de calcário moleano.

No caso do painel atingido que ficou fracturado, este foi facilmente retirado da fachada pois o sistema de colocação de pedras com pinos e as juntas entre os painéis da fachada permitem facilmente a sua remoção.

4.6. Conclusões Finais da Parte Experimental

Após a realização deste estudo experimental pode inferir-se que tanto a lâ-de-rocha como o XPS apresentam baixa condutibilidade térmica, podendo ser utilizados, com sucesso, como isolantes térmicos em fachada ventilada.

Neste trabalho experimental foi também testada a capilaridade dos isolantes para verificar o seu comportamento quando há infiltração de água. É também sabido que a capilaridade altera a condutibilidade térmica.

Como foi observado no ensaio da capilaridade, o XPS apresenta menor índice de capilaridade que a lã-de-rocha e, por isso, é expectável que apresente em obra melhor desempenho, nos casos em que há infiltração de água, apresentando menor tendência para perder as suas qualidades de resistência térmica. Tendo em conta que a lã-de-rocha revela maior capilaridade que o XPS, deverá haver algum cuidado no sentido de evitar que seja atingida pela água que eventualmente entre através das juntas do revestimento.

Em zonas de rés-do-chão sujeitas a níveis de água elevados (elevada probabilidade de ocorrência de cheias), a lã-de-rocha é um isolante que deve ser protegido devido à sua alta capilaridade.

Por outro lado, a lã-de-rocha apresenta uma baixa condutibilidade térmica podendo, por isso, ser uma solução a utilizar em climas com menores índices de humidade e pluviosidade.

O XPS apresentando baixa capilaridade e baixa condutibilidade térmica, tende ser uma boa solução sobretudo em zonas com clima mais gravosos (elevados índices de humidade, e chuva quando associada ao vento), pois as suas qualidades de baixa condutibilidade térmica dificilmente serão alteradas devido à acção da água. Um factor também muito importante na escolha do isolante térmico é a resistência ao fogo. Embora esta característica não tenha sido testada neste trabalho experimental, a lã-de-rocha apresenta melhor desempenho que o XPS neste parâmetro.

Podemos concluir que o sistema de fachadas ventiladas, com revestimento em painéis de pedra moleano fixadas indirectamente ao suporte por gatos resistentes com juntas abertas entre as placas, com a lâmina de ar ventilada e com revestimento térmico, poderá apresentar-se como uma boa solução para a construção de edifícios, pois, como foi demonstrado neste estudo experimental, a humidade que chega à parede de suporte é insignificante, desde que não haja muito vento.

Nos edifícios em que é utilizado o sistema de fachada ventilada com isolamento térmico como a lã de rocha, ou o XPS, é de esperar que os vestígios de humidade aí detectados tendam a extinguir-se, pois este facto foi observado na fase final do ensaio de humidades.

Relativamente à resistência ao choque, o revestimento em placas de calcário moleano, com 3cm de espessura revelou-se pouco resistente em relação ao choque. Se forem usados revestimentos deste tipo em zonas de rés-do-chão devem utilizar-se suportes nas pedras, pois estas zonas são as mais susceptíveis de sofrerem choques e os painéis podem quebrar-se.

5. Conclusões Finais e Recomendações

A presente dissertação, após o estudo e a realização de pesquisas bibliográficas, após a observação de obras edificadas com revestimento em fachadas ventiladas e ainda após a realização de ensaios laboratoriais, permite apresentar algumas conclusões significativas e apontar recomendações.

A elaboração de um projecto terá ser precedida de alguns estudos que deverão ser tidos em conta na decisão de optar ou não por uma fachada ventilada e, no caso afirmativo, sobre o tipo de fachada a construir. Assim, é indispensável ter em consideração o clima da região, a localização e a implantação do edifício, a sua exposição a chuvas e a ventos dominantes, a “interacção” do edifício com os espaços e construções circundantes, a altura e a volumetria dos mesmos e as distâncias entre eles. Os materiais mais adequados a utilizar no revestimento, no isolamento térmico, na fixação dos painéis, tendo em atenção as características e o comportamento dos mesmos, são aspectos importantes a ter presentes, assim como o tipo de juntas entre os painéis de revestimento, a espessura da câmara-de-ar, das placas de revestimento e do material isolante, a ventilação, o tipo de parede de suporte, a sua espessura, o tipo de pano de alvenaria e de tijolos. O peso da fachada, o seu custo e a aplicação das medidas preventivas contra a ocorrência de incêndios são também factores importantes a considerar.

As fachadas ventiladas apresentam menos patologias a nível de humidade que qualquer outro revestimento devido à existência da câmara-de-ar ventilada.

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como é o caso das fachadas ventiladas, favorece o aumento da área útil interior, devido à redução da espessura das paredes.

Embora o sistema de fachadas ventiladas apresente juntas que permitem a entrada de água, a existência da câmara-de-ar ventilada e do isolamento térmico dificulta com bastante eficácia a chegada desta água à parede de suporte.

A análise experimental efectuada em laboratório permite concluir que o sistema de fachadas ventiladas com fixação indirecta através de gatos em suporte de alvenaria de tijolo furado, com caixa de ar, isolamento térmico e revestimento em painéis de calcário moleano, com juntas abertas, apresenta-se como uma boa solução para paredes expostas ao vento e à chuva, pois a água encontra muita dificuldade em chegar à parede de suporte. Por outras palavras, a caixa-de-ar e o isolamento térmico apresentam-se como uma barreira que, não sendo estanque, permitindo, por isso, a entrada de uma quantidade de água muito pequena, muito dificilmente esta poderá atingir a parede de suporte.

Em relação ao isolante térmico fixado à parede de suporte, dos dois tipos que foram ensaiados e estudados (XPS e lã-de-rocha), o XPS revela-se como o mais indicado, pois considerando que a água que entra pelas juntas do revestimento chega ao isolante térmico e que este material apresenta índices de capilaridade muito baixos será certamente o mais eficaz para a função de isolamento térmico, uma vez que tenderá a manter as suas qualidades de isolante térmico inalteradas.

Uma característica de elevada importância na escolha do tipo de isolante térmico a utilizar é o seu comportamento perante o fogo e neste campo a lã-de-rocha apresenta muito melhor desempenho que o XPS.

O tipo de ensaio efectuado de resistência ao choque leva-nos a concluir que os painéis de calcário moleano, com 3cm de espessura são pouco resistentes ao choque pelo que devem utilizar-se suportes nas placas em zonas acessíveis de maior exposição ao choque.

Resumindo, num sistema de fachada ventilada, prevenir o aparecimento de patologias, potenciar a eficácia, a funcionalidade e a durabilidade do sistema por períodos de tempo tão longos quanto for possível, tendo em conta o funcionamento e o comportamento previstos, quer do sistema na globalidade, quer dos diversos elementos e materiais que o constituem, são aspectos de extrema importância a ter em conta na elaboração de um projecto desta natureza e na sua implementação em obra.

O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação poderá ser prosseguido e aprofundado através de desenvolvimentos futuros na área referente a fachadas ventiladas. Salientam-se as seguintes propostas:

- Análise do comportamento do sistema face à acção sísmica;
- Comportamento do sistema (em especial dos isolantes térmicos) face ao fogo;
- Comparação deste sistema de isolamento térmico com outros sistemas de isolamento térmico pelo exterior a nível de análises laboratoriais como condutibilidade térmica.

6. Referências Bibliográficas

ALVES, Adelino (2001) – Estabilidade Mecânica e Aspecto Visual das Placas de Pedra Natural no Revestimento de Paramentos Exteriores de Parede. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

ASTM Designation E514-08 – Standard Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry- University of Alaska Fairbanks (UAF) Cooperative Extension Service - www.uaf.edu/coop-ext

B.S. 4315 – “Method for test for resistance to air and water penetration”,
British Standard 4315: parte 2 1970 British Standard Institute

BOBADILLA, Eduardo et al (2007) – Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad. – Manual Básico. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia Espanha.

BAZZOCHI, Frida et al (2002) – Facciate Ventilate Alinea Editric s.r.l. – Firenze Italia

DIAS, Pedro (2009) – Contribuição para a Seleção de uma Fachada em Pano Simples, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

Direcção-Geral de Geologia e Minas (DGM) (1983) – Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas Ministério da Indústria, Energia e Exportação. Porto

EN 12667 (2001) – Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium resistance – English Version

FERREIRA V. (2008) – Paredes. Apontamentos de Tecnologia de Construção de Edifícios. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

HENRIQUES, Fernando (1994) – Humidade em Paredes Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

LNEC (1982) – Directivas UEAtc Relativas a choques em elementos de construção verticais opacos, Lisboa

LNEC – Paredes. Determinação da permeabilidade à água da chuva.FE Hu 01, Ficha de ensaio do LNEC.

LOUREIRO C. e LOUREIRA M. (2006) – Fachadas Ventiladas - Dossier técnico económico Outubro de 2006, n.º 2 – construlink.com.

LUCAS, J. Carvalho (2001). – “Exigências funcionais de revestimentos de paredes”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LUCAS, J. Carvalho (1990). – Classificação e descrição geral de revestimento para paredes de alvenaria ou de betão”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

MULLER, Alexandre e Alarcon, Orestes E. (2005) – Desenvolvimento de um sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato voltado para a construção civil do Brasil. LABMAT, Campus Universitário Trindade, Depto. de EMC, Florianópolis.

NETO, Natália (2007) – *Sistema de Apoio Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos em Pedra Natural*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

NP EN 1609 (1998) – Produtos de isolamento térmico para a aplicação em edifícios. Determinação da absorção de água por imersão parcial: ensaio de curta duração.

PALMA, João; VEIGA, M. Rosário (2007) – *Sistema de aquisição de dados para estudos de transportes de água em argamassa* LNEC

PALMA, João (1992) – Aparelho detector de humidade no Betão com Base na Variação da Condutibilidade, LNEC Lisboa.

PINTO,A. Reais; ALHO, A. Assunção ; MOURA,A. Azevedo; HENRIQUES,A. Esteves; CARVALHO,C.P.; RAMOS, J. Farinha ; ALMEIDA, N. Calvino; MESTRE, Vítor (2006) – *Manual da pedra natural para a arquitectura*, ed. Direcção geral de Geologia e Energia, Lisboa.

PINA dos SANTOS Carlos (2007) – Evolução das Soluções de Paredes Face e Novas Exigências Regulamentares. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

SERRASQUEIRO, Cília (2001) – Comportamento dos materiais nas interfaces dos elementos construtivos – sua aplicação em fachadas, Dissertação de mestrado, Departamento

de Construção, Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa Portugal.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury (2003) – Tecnologia de fachadas-cortina com placas de grés porcelanato” Dissertação mestrado, 2003, São Paulo – Brasil.

SOUSA, A. Vaz Serra ; FREITAS, V. Peixoto e SILVA, J. A. Raimundo Mendes (2003) – Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos, Associação portuguesa da indústria de cerâmicos, Centro Tecnológico da Cerâmico e do Vidro, Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

STRAUBE, John F. e BURNETT, Eric F.P. (1999) – Rain Control and Design Strategies'. J. of Thermal Insulation and Building Envelopes.

TEIXEIRA, Adriano (2006) – *Características e Patologias de Soluções de Revestimento Térmico Exterior de Fachadas (ETICS)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Construção, Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

TAMBURRINI,V. (1994) – The History and Development of EIFS- From The Original Concept to Present Day Activities. Development, Use, and Performance of Exterior Insulation and Finish Systemes (EIFS) – ASTM STP 1187. Philadelphia Mark F. Williams and Richard G Lampo, Eds., ASTM 1995

ULMA Hormigón Polímero – Fachadas ventiladas – dossier técnico

University of Alaska Fairbanks (2003) – Exterior Ventilated Cladding. Alaska Building Research Series. Fairbanks, USA.

Universidade Nova de Lisboa (2004) – Revestimentos para Paramentos Exteriores de Paredes, Apontamentos da cadeira de processos de construção II, Engenharia Civil, Lisboa

VEIGA M. Rosário (2004) – Construção 2004-Repensar a Construção. Comunicação apresentada pela autora no 2º Congresso Nacional da Construção (13 a 15 de Dezembro) - FEUP-Porto

VEIGA M. Rosário; CARVALHO, Fernanda; Sousa, Hipólito; (2000) – EXPERIMENTAL EVALUATION OF WATERTIGHTNESS OF SINGLE LEAF WALLS, 12TH IBMaC, Madrid.

WAGNER, Otto (1888) – A Arquitectura do Nosso Tempo, Viena.

Sites Utilizados

www.agi.pt/ 20/11/20008

www.construlink.com/ 10/09/2009

www.soladrilho.pt 15/10/2010

www.acepe.pt/eps/eps_ qeps.asp 30/04/2009

www.soisopor.com.br/ 30/03/2009

www.sotecnisol.pt/ 25/03/2009

www.polirigido.com/downloads.php 15/03/2009

www.imperialum.com/default.asp?s=226&sparent=81&sroot=79&cm_id=230 18/10/2009

www.revinovis.com/engine.php?cat=1 18/03/2009

www.cananeo.com 18/11/2008

www.amorim.com 22/12/2009

www.halfen.pt/ 22/12/2009

www.revmond.pt 20/11/2008

www.ulmapolimero.com/img/3d.jpg, 2009 8/12/2009

www.Arquiwall.pt 9/12/2009

www.inopla.pt 9/12/2009

