

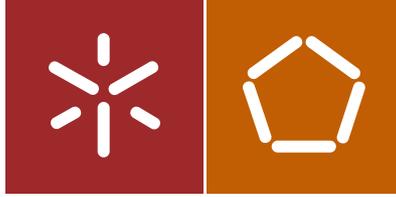


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Saraiva

Estufa de aproveitamento solar térmico
para reabilitação de edifícios

Francisco Saraiva
Estufa de aproveitamento solar térmico
para reabilitação de edifícios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Saraiva

Estufa de aproveitamento solar térmico
para reabilitação de edifícios

Dissertação de Mestrado
Mestrado em sustentabilidade do ambiente construído

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professora Doutora Manuela Almeida

RESUMO

As exigências de conforto térmico nos edifícios têm vindo a aumentar, com um visível impacto nos custos e nas questões ligadas às alterações climáticas. As soluções de reabilitação energética dos edifícios, já permitem uma redução significativa da energia necessária para climatização, no entanto, poderiam ainda ser otimizadas caso incorporassem técnicas solares passivas. Pretende-se com este trabalho desenvolver uma solução solar passiva de custo otimizado, de fácil implementação e que possa ser aplicada em reabilitações energéticas de edifícios. A solução deverá tirar partido da grande inércia térmica conhecida nos edifícios dos países do sul da Europa. O objetivo é desenvolver um produto inovador que se possa acoplar à envolvente dos edifícios existentes e que tenha como função aproveitar a energia solar para climatizar o interior dos edifícios, minimizando os consumos energéticos convencionais para climatização de inverno e não onerando os consumos de verão.

Palavras-Chave: sustentabilidade na arquitetura, técnicas solares passivas, soluções de custo controlado, reabilitação de fachadas, estufa solar de aproveitamento térmico,

ABSTRACT

The requirements for thermal comfort in buildings have been increasing, with a visible impact on costs and on issues related to climate change. The solutions used on energy rehabilitation of buildings already allow a significant reduction of energy required to assure comfort, but they could be optimized if incorporating passive solar techniques. The aim of this work is to develop a passive solar solution with acceptable costs and easy to implement that could be applied in buildings rehabilitation. The aim is to develop an innovative and cost-effective product that can be attached to existing buildings envelope performing as a thermal storage wall that will improve indoor comfort and will reduce energy consumption in renovated buildings.

Keywords: Thermal storage wall, sustainability in architecture, passive solar techniques, cost-controlled solutions, rehabilitation of facades

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não é o resultado de um esforço individual e fechado sobre si, resulta sim de uma colaboração de inúmeras pessoas, em diversos locais e épocas. A crença num melhor aproveitamento da energia solar em benefício da humanidade é uma demanda antiga e que terá ainda muitos desenvolvimentos no futuro. A procura de soluções de baixa intensidade tecnológica e energética que possam estar disponíveis para um grande número de pessoas é uma necessidade importante no atual quadro de emergência global das alterações climáticas.

Pretendo agradecer a todos os que de uma forma direta ou indireta tornaram este trabalho possível, especialmente à minha família que sempre me apoiou e incentivou ao desenvolvimento deste trabalho. Aos meus pais, Adelaide e Fernando, pelo extraordinário acompanhamento e apoio durante todo o processo da minha formação, à minha companheira Alexandra pela compreensão das inúmeras horas passadas em frente ao computador. Ao meu filho Mateus, pelo incentivo à procura de um melhor e mais saudável futuro para as novas gerações.

Um agradecimento à Doutora Manuela Almeida, por todo o seu apoio, correções e paciência ao longo do processo de desenvolvimento da dissertação.

Um agradecimento à instituição Parque Biológico de Gaia, já que foi no decorrer da minha já longa colaboração com esta instituição fui sendo sensibilizado para os impactos que a indústria da construção tem sobre a nossa base comum.

Uma palavra de agradecimento também aos seguintes amigos:

ao Doutor Nuno Oliveira, pela cedência das horas necessárias para a frequência de parte das horas necessárias ao mestrado;

ao Dr. Henrique Alves pela sempre disponível resposta, no que à ciência diz respeito;

à Eng. Maria Domingas pela sensibilização do mundo das plantas e incentivo ao término deste trabalho;

ao Paulo Costa, e Ângelo Pereira que construíram o protótipo;

a todos os investigadores sobre esta temática que me precederam e tornaram público o seu trabalho;

a todos os outros que com a sua colaboração tornaram possível a conclusão desta investigação.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.	FUNDAMENTAÇÃO E OBJECTIVOS.....	1
1.1.	ENQUADRAMENTO.....	2
1.2.	OBJETIVOS.....	4
1.3.	ESTRUTURA.....	4
CAPÍTULO 2.	ESTADO DA ARTE.....	7
2.1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.2.	SISTEMAS SOLARES PASSIVOS.....	8
2.2.1.	RADIAÇÃO SOLAR DISPONÍVEL EM PORTUGAL.....	8
2.2.2.	SISTEMAS DE GANHO DIRECTO.....	12
2.2.3.	SISTEMAS DE GANHO INDIRECTO.....	13
2.3.	REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	23
2.3.1.	CONCEITO DE REABILITAÇÃO.....	23
2.3.2.	REABILITAÇÃO ENERGÉTICA.....	24
2.4.	IDENTIFICAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO PORTUGUÊS.....	30
2.4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS POR ÉPOCAS, EM PORTUGAL.....	31
2.4.2.	NECESSIDADE DE ENERGIA POR ÉPOCA.....	34
2.4.3.	CONCLUSÃO DA ANÁLISE AO EDIFICADO.....	35
2.5.	O CONFORTO TERMICO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	35
2.5.1.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS.....	35
2.5.2.	CONFORTO TÉRMICO.....	37
2.5.3.	CONFORTO TERMICO EM PORTUGAL.....	38
2.5.4.	MODELO ADAPTATIVO.....	40
2.5.5.	EPBD RECAST.....	41
2.6.	MATERIAIS.....	41
2.6.1.	TIPO DE ENVOLVENTES TRANSPARENTES.....	41
2.6.2.	ISOLAMENTO TÉRMICO.....	45
2.6.3.	MATERIAIS PARA O CAIXILHO.....	47
2.6.4.	MATERIAIS PARA O COLETOR.....	48
2.7.	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	48

CAPÍTULO 3.	METODOLOGIA.....	51
3.1.	ENQUADRAMENTO.....	52
3.2.	METODOLOGIA.....	52
CAPÍTULO 4.	SISTEMA DE APROVEITAMENTO SOLAR PROPOSTO	55
4.1.	INTRODUÇÃO.....	56
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	56
4.2.1.	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	56
4.3.	DESIGN.....	58
4.3.1.	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO.....	59
4.3.2.	DESENHO FINAL.....	64
4.3.3.	COMPONENTES.....	65
4.3.4.	VARIANTES.....	66
4.4.	INTEGRAÇÃO DO SISTEMA NOS EDIFÍCIOS.....	70
4.4.1.	PROCESSO DE MONTAGEM.....	72
4.4.2.	EXEMPLOS.....	72
4.5.	CUSTOS.....	74
4.5.1.	ANÁLISE DE CUSTOS DO SISTEMA.....	74
4.5.2.	CUSTO DE UMA UNIDADE.....	75
4.5.3.	CONCLUSÃO DA ANÁLISE DE CUSTOS.....	77
4.5.4.	ANÁLISE SWOT.....	77
4.6.	VANTAGENS RELATIVAMENTE A OUTROS SISTEMAS SIMILARES.....	79
CAPÍTULO 5.	PROTÓTIPO.....	81
5.1.	INTRODUÇÃO.....	82
5.2.	CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO.....	82

CAPÍTULO 6.	ESTUDO DE SENSIBILIDADE.....	87
6.1.	INTRODUÇÃO	88
6.2.	SIMULAÇÕES DE PRÉ DIMENSIONAMENTO	89
6.2.1.	1º SÉRIE DE SIMULAÇÕES	89
6.2.2.	2º SÉRIE DE SIMULAÇÕES	97
6.2.3.	PRÉ-AVALIAÇÃO CUSTO BENEFICIO.....	105
6.2.4.	PRÉ AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE CO2	108
CAPÍTULO 7.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	112
7.1.	INTRODUÇÃO	112
7.1.	CONCLUSÕES	112
7.2.	TRABALHOS FUTUROS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		117

LISTA DE FIGURAS

Quadro 1 – Tradução de recomendações do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) ao nível dos edifícios para conter as alterações climáticas	2
Figura 1 – Imagem comum nas nossas cidades, uma chaminé de uma unidade industrial a fazer emissões de gases com efeito de estufa.....	3
Figura 2 – “Moving towards sustainability”, Sketch ilustrativo da sequência lógica do desenvolvimento de soluções de conforto térmico (Reproduzido com autorização de Albert, Righter e Tittmann architects, inc.)..	3
Figura 3 - Espectro solar (Associação Portuguesa para o ensino da astronomia, 2014)	8
Figura 4 - Imagem 3D que ilustra o percurso solar durante um ano sobre um paralelepípedo orientado a Sul (Fonte: imagem – Autodesk –Ecotec (Autodesk inc.)	12
Figura 6 - Exemplo simples de parede de trombe.	13
Figura 5 - Obstáculos ao aproveitamento solar direto.	12
Figura 8 – Parede de trombe ventilada	14
Figura 7 - Exemplo simples de parede de trombe ventilada.	14
Figura 10 - Esquema do funcionamento dos materiais de mudança de fase (Daikinme, 2015).	15
Figura 11 - Parede de trombe em malha.....	15
Figura 9 - Parede de Trombe-Michel.....	14
Figura 12 - Parede de trombe fotovoltaica.	16
Figura 13 - Estufa clássica (Fonte imagem- (Wells, 1981).	16
Figura 14 - Sistema de parede de trombe composta por sistema de coleção solar térmica e acompanhada por um sistema de armazenamento térmico em rochas (Fonte imagem (Wells, 1981).	16
Figura 15 – Princípios de funcionamento da solução nas diversas estações do ano, fonte (Hall).....	17
Figura 16 – Vista exterior e interior da parede solar de água, fonte (Hall).	17
Figura 17 - Funcionamento do sistema “Solar Wall” sem apoio de sistema térmico fonte (solarwall.com). ..	18
Figura 18 - Funcionamento do sistema como pré aquecimento de AVAC, (solarwall.com).....	18
Figura 19 - Desenho explicativo da solução do sistema “solar Wall” (solarwall.com).	19
Figura 20 – Esquema de funcionamento do 2ºstage, (solarwall.com).....	19
Figura 21 - Exemplo da utilização do sistema “solar Wall” em edifícios residenciais (Manchester Housing, AB Canada), os painéis são a parte escura na fachada do edifício, (solarwall.com).....	19
Figura 22 - Exemplo da utilização do sistema “solar Wall” em edifícios residenciais (Fred Douglas Building, MB – Canada). Os painéis são as linhas verticais escuras, na parte opaca da fachada, (solarwall.com)....	19
Figura 23 - Aspeto do exterior e interior do sistema “Solarsheat”, (yoursolarhome).	20
Figura 24 - “Solarsheat” Esquema de funcionamento, (yoursolarhome).	20
Figura 25 - “Solarsheat” apresentação do fabricante dos diversos tamanhos consoante a divisão que se pretende climatizar (yoursolarhome).	20
Figura 26 - “Solarsheat”, sistema de montagem (yoursolarhome).....	20
Figura 27 – “Scansun” diferentes módulos e dimensões, (domoheat, 2015).	21
Figura 28 – Painéis fotovoltaicos vistos pelo exterior no edifício Solar 21. Na parte inferior e superior do painel é possível ver as grelhas de ventilação (Ineti, Dez 2005).	22
Figura 29 – Vista pelo interior do sistema, são visíveis as aberturas de ventilação inferior e superior (Ineti, Dez 2005).	22
Figura 30 Esquema de funcionamento nas diversas estações (Ineti, Dez 2005).....	22
Figura 31 – Sequencia de aplicação do ETICS, (Oficinadeobras, 2015).....	25
Figura 32 - Antes e depois da aplicação de um sistema ETICS, (Oficinadeobras, 2015).....	25

Figura 33 - O sistema de fachada GAP vem já pré preparado de fábrica sendo apenas assembled no local da obra, (gap-solution, 2014).	26
Figura 34 – Esquema em corte horizontal do sistema de isolamento térmico, mostrando os 3 níveis, (gap-solution, 2014)	27
Figura 35 – Corte vertical com indicação das temperaturas noite e dia, (gap-solution, 2014).	27
Figura 36 – Aspetos da linha de montagem da GAP, mostrando toda a fachada construída por módulos com os acessórios já devidamente fixados (gap-solution, 2014).	28
Figura 37 – Imagem do cartão canelado a aplicar no sistema (gap-solution, 2014).	28
Figura 38 – Figura do sistema base do sistema ISODUR, mostrando os componentes a aplicar sobre a parede original de tijolo, fonte ()	28
Figura 39 – Aplicação de cerâmica sobre o ISODUR ().....	29
Figura 40 - O sistema apresenta um sistema de fixação otimizado que permite uma rápida montagem dos painéis Retrofit module design guide (ECBCS annex 50, 2011)	29
Figura 41 - Corte do painel tipo, apresentando os materiais que constituem o interior (ECBCS annex 50, 2011).	30
Figura 42 - Solução tipo de fachada 1900-1940.	32
Figura 43 - Solução tipo de fachada 1940-1960.	32
Figura 44 - Solução tipo de fachada 1970-1980.	33
Figura 45 - Solução tipo de fachada 1980-1990.	33
Figura 46 - Solução tipo de fachada 1990-2006.	34
Figura 47 - Consumo de energia por época de construção e potenciais possibilidades de melhoramento (IEA ECBCS Annex 50, 2011).	35
Figura 48 – Notícia – “Portugal é onde mais se morre devido ao frio” (Portugal é onde mais se morre devido ao frio, 2009).....	39
Figura 49 - Consumo de energia para aquecimento ambiente por tipo de fonte (Instituto Nacional de estatística, 2011).....	39
Figura 50 – Temperaturas consideradas de conforto no interior de edifícios ventilados naturalmente, de acordo com as temperaturas exteriores (ASHRAE, 2010).....	41
Figura 51 – Policarbonato compacto e alveolar (Dagol).	44
Figura 52 - Esquema em perspetiva do funcionamento do sistema.	57
Figura 53 – Esquema em corte do funcionamento do sistema.	57
Figura 54 - Localização das grelhas de ventilação relativamente à geometria do caixilho.	58
Figura 55 - Imagem 3D do sistema proposto.	59
Figura 56 - Esquema exemplificativo das diversas possibilidades de integração arquitetónica, na imagem à esquerda o edifício original, na imagem ao centro a aplicação irregular de uma solução não dimensionada, na imagem à direita a aplicação de uma solução dimensionada ao edifício e aplicada respeitando a métrica pré-existente.	60
Figura 57 – Primeiros desenhos relativos à fixação do painel à parede existente.	61
Figura 58 – Adaptação do desenho original aos materiais existentes no mercado.	62
Figura 59 - Solução melhorada com um perfil de alumínio personalizado.	63
Figura 60 – Esquema de combinação das diferentes peças do sistema recorrendo ao perfil de alumínio desenvolvido especialmente para este projeto.	64
Figura 61 - Desenho final do sistema.	65
Figura 62 - Perfil de chapa de ferro zincado e lacada.	66
Figura 63 - As três variantes possíveis com o mesmo sistema.	67

Figura 64 - Funcionamento da variante com sombreamento simples.	68
Figura 65 - Variante com estore elétrico.	69
Figura 66 – Sensor exterior de vento e sol e sensor interior de temperatura com ligação sem fios ao motor do estore (somfy, 2014).	69
Figura 67 - Aspeto exterior da caixa de estore já com os mecanismos elétricos integrados.	69
Figura 68 - Aspeto do mecanismo em funcionamento.	69
Figura 69 – Exemplo 3d de uma intervenção num edifício existente.	71
Figura 70 – Alterações interiores num edifício intervencionado e outro sem intervenção.	71
Figura 71 - Processo de montagem do módulo num edifício pré existente.	72
Figura 72 - Exemplo de edifício suscetível de ser intervencionado, não é muito visível na fotografia, mas existem ao longo do edifício inúmeras fissuras e destacamentos de elementos cerâmicos.	73
Figura 73 - Previsão de aspeto após intervenção, com aplicação de sistema ETICs, sistema de captação solar ativo e alteração de esquema de pintura.	73
Figura 74 - Exemplo de edifício suscetível de ser intervencionado.	73
Figura 75 - Previsão de aspeto após intervenção.	73
Figura 76 - Imagem de cada uma das variantes.	77
Figura 78 – Parte posterior do sistema que mostra a ligação entre o caixilho de alumínio e o painel sandwich, que deverá ser selado com silicone.	83
Figura 77 - Corte construtivo do protótipo.	83
Figura 79 - Estrutura do protótipo antes da pintura.	84
Figura 80 – Aplicação do vidro.	84
Figura 81 - Protótipo com sistema de sombreamento fixo instalado.	84
Figura 82 – Pormenor do sistema de sombreamento fixo.	84
Figura 83 – Diversas células de teste passys (Commission of the European Communities, 1990).	89
Figura 84 - Imagem tridimensional do modelo utilizado para as simulações.	91
Figura 85 – Gráficos resultantes da simulação da situação de referência (Design builder software Ltd).	92
Figura 86 – Consumo energético para aquecimento 429.09 kWh por ano (Design builder software Ltd).	93
Figura 87 – Gráficos de desempenho da célula de teste com a inércia térmica (Design builder software Ltd).	95
Figura 88 – Gráficos de desempenho da solução com sistema solar incluindo a inércia térmica descrita (Design builder software Ltd).	96
Figura 89 – Imagem 3d do modelo utilizado (Design builder software Ltd).	98
Figura 90 – Gráficos do pré dimensionamento relativo ao cenário base (Design builder software Ltd).	99
Figura 91 – Gráficos relativos ao cenário base com um módulo de 2.55 m ² do sistema de aquecimento solar térmico proposto (Design builder software Ltd).	100
Figura 92 – Gráficos relativos ao cenário base com aplicação de isolamento térmico pelo exterior (Design builder software Ltd).	102
Figura 93 – Gráficos relativos ao cenário base com um módulo de 2.55 m ² do sistema de aquecimento solar térmico proposto e com aplicação de 6 cm de EPS em toda a envolvente exterior (Design builder software Ltd).	103

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO E OBJECTIVOS

1.1. ENQUADRAMENTO

As fachadas dos edifícios além da parte mais visível e identificadora são o elemento de proteção ambiental mais importante de um edifício, já que representam a maior área de uma fração de um edifício multifamiliar em contacto com a envolvente ambiental exterior. Ao longo dos anos diversas soluções de fachadas foram desenvolvidas, cada uma respondendo a um problema especial ou desenvolvimento tecnológico emergente, pelo que atualmente nas cidades é possível encontrar as mais diversas soluções em coexistência. O desenvolvimento da humanidade nas suas mais diversas vertentes trouxe-nos a um momento particularmente difícil, em que os paradigmas de desenvolvimento que tínhamos como corretos até há cerca de 30 anos provaram estar a provocar danos ao nível do clima, cujo alcance ainda estamos longe de compreender (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). A humanidade enfrenta provavelmente o maior desafio de sempre, conter as alterações climáticas, mantendo os padrões de desenvolvimento e de conforto. Como se pode ver no quadro 1, das recomendações do IPCC relativas ao sector dos edifícios, destaca-se a melhoria do isolamento e o desenho solar passivo para aquecimento e arrefecimento.

Iluminação eficiente, aproveitamento da iluminação solar; eletrodomésticos, sistemas de aquecimento e arrefecimento mais eficientes; melhores fornos, melhor isolamento; desenho solar passivo e ativo com aproveitamento para aquecimento e arrefecimento; fluidos de refrigeração alternativos, recuperação e reciclagem de gases fluorados; instalação de sistemas de controlo e de medição nos edifícios comerciais que permitam obter dados e controlar os parâmetros. Fotovoltaicos integrados nos edifícios.

Quadro 1 – Tradução de recomendações do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) ao nível dos edifícios para conter as alterações climáticas

O isolamento dos edifícios é uma temática bastante discutida e que começa já a ser implementada de uma forma consistente em Portugal. Por outro lado, o desenho solar passivo tem sido relegado para um segundo plano, em virtude da maior dificuldade que a sua implementação implica.

Se sob o ponto de vista ambiental a situação atual é problemática, sob o ponto de vista económico o cenário é idêntico, uma vez que se tem verificado que os pressupostos de crescimento contínuo da economia vaticinado pelos economistas se têm mostrado um modelo frágil e disfuncional. A atual tendência de contenção económica tem levado a uma estagnação da economia especialmente gravosa no sector da construção. Em Portugal a crise na construção duplica o seu



Figura 1 – Imagem comum nas nossas cidades, uma chaminé de uma unidade industrial a fazer emissões de gases com efeito de estufa.

efeito pois mesmo antes da crise económica era notório o abrandamento por se ter atingido valores altos em oferta de edifícios novos. Sob o ponto de vista social tem sido notório um aumento da clivagem social, ainda acentuado pelas políticas atuais de austeridade promovidas como forma de mitigar o problema do défice dos estados.

A dependência dos combustíveis fósseis, cada vez mais escassos tem levado a enormes desequilíbrios das balanças comerciais nos países desenvolvidos que por uma questão de segurança no abastecimento, procuram cada vez mais implementar soluções que minimizem a dependência de fornecimentos externos. Como se pode ver na figura 1, é

comum na paisagem das nossas cidades a existência de chaminés a emitir gases com efeito de estufa.

Estando os três pilares da sociedade numa fase de profundas alterações estruturais serão necessárias reformas que permitam a humanidade avançar mais um pouco no desenvolvimento da sua organização. O trabalho que se pretende desenvolver nesta dissertação insere-se nessa mudança de paradigma que a construção civil terá de acompanhar desenvolvendo soluções imbuídas deste espírito de mudança. A Figura 2 exemplifica as diversas fases do desenvolvimento da construção, sendo para o autor espectável que a imagem relativa ao séc. XXI seja aquela que tirando partido da energia solar, minimiza todos os sistemas mecânicos necessários.

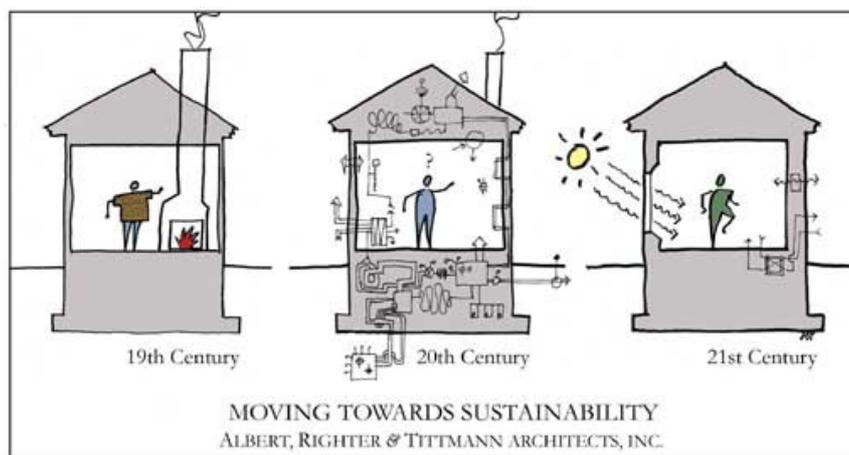


Figura 2 – “Moving towards sustainability” tradução “ em direção à sustentabilidade”, Sketch ilustrativo da sequência lógica do desenvolvimento de soluções de conforto térmico (Reproduzido com autorização de Albert, Righter e Tittmann architects, inc.).

Observando a realidade económico/social/ambiental, entende-se que as soluções futuras da construção deverão passar pelos seguintes vetores:

- Responsabilidade ambiental, minimização dos impactes ambientais na fase de construção, exploração e demolição;
- Baixo custo de manutenção – Soluções que se possam manter em funcionamento com o mínimo consumo de energia, soluções de baixa intensidade tecnológica e como tal com pouca possibilidade de avaria;
- Adaptação à realidade construída e possibilidade de reutilização.

Seguindo estas três linhas mestras, o projeto a desenvolver direciona-se para o enorme parque edificado existente que na sua larga maioria tem um mau desempenho energético, mas que continua a cumprir satisfatoriamente as outras funções, de utilidade, estabilidade e salubridade. Assim pretende-se desenvolver uma solução, que, sem alterações estruturais e com o mínimo de intervenção arquitetónica, permita melhorar as superfícies opacas dos edifícios, reabilitando-as de forma a melhorar o seu desempenho térmico. Pretende-se não só melhorar o coeficiente de transmissão térmica da envolvente como possibilitar a absorção de radiação solar pela envolvente opaca mantendo os vãos existentes para cumprir as funções de ventilação e iluminação natural. A aplicação de isolamento térmico pelo exterior continua a ser a melhor forma de melhorar o desempenho da envolvente. Pretende-se com este trabalho encontrar formas de integrar a captação de energia solar nesse sistema, aperfeiçoando o desempenho/conforto dos edifícios residenciais onde ele estiver inserido.

1.2. OBJECTIVOS

Os objetivos que se apresentam seguidamente, demonstram o caráter essencialmente prático do que se pretende desenvolver nesta dissertação. Melhorar a qualidade de vida e desenvolver tecnologia no benefício da humanidade, será sempre o objetivo último deste estudo.

Neste contexto, os objetivos são os seguintes:

- Conceber e desenvolver um sistema de aproveitamento solar térmico para aquecimento do ambiente interior dos edifícios que possa ser adicionado a fachadas de construções existentes num processo de reabilitação;
- Criar um objeto compatível com a maior parte do parque habitacional melhorando o desempenho térmico com o mínimo de perturbações e dando uma atenção especial à integração arquitetónica;
- Manter o custo por unidade o mais baixo possível permitindo uma económica implementação deste sistema;
- Desenvolver uma solução estandardizada com uma grande componente de pré fabricação que como tal, permitirá obter ganhos de economia em escala, causando o mínimo de perturbação na sua instalação.

1.3. ESTRUTURA

Para o correto desenvolvimento do projeto será procurada uma sequência lógica, que evite o dispersar do tema proposto. A vastidão do conhecimento das áreas abordadas facilmente distorce o percurso pretendido, podendo desvirtuar os objetivos. Apresenta-se seguidamente em tópicos o que se pretende de cada capítulo da dissertação. Independentemente da aparente rigidez e compartimentação do que se apresenta em alguns momentos será necessária uma reflexão que permita redirecionar a investigação para a adequar aos conhecimentos adquiridos.

CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO E OBJECTIVOS - Será o ponto de partida para o desenvolvimento deste projeto; são identificadas as razões que levam à necessidade de desenvolver a proposta de um sistema de aproveitamento solar para climatização de edifícios.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE - Este capítulo visa interpretar o conhecimento atual sobre o tema proposto e respetiva adaptação ao contexto nacional.

Será identificado o parque edificado português de edifícios multifamiliares, identificando as suas características e comportamento térmico consoante a época da sua construção. Será dado um especial enfoque ao conhecimento dos materiais aplicados nas partes opacas e transparentes. Neste capítulo será feito um levantamento dos sistemas solares térmicos passivos existentes e abordada a sua integração nos edifícios. Este capítulo terá como conclusão um resumo sintético de todas as matérias estudadas no qual será abordada a pertinência do desenvolvimento deste projeto como alternativa às soluções existentes.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA - Este capítulo irá definir o modo como se irão atingir os objetivos, descrevendo-se as tarefas e as ferramentas necessárias para os atingir.

CAPÍTULO 4 – SOLUÇÃO PROPOSTA - Este capítulo irá definir a solução proposta de acordo com: os princípios de funcionamento, a definição do desenho do objeto, as possíveis variantes de acordo com a orientação solar e a respetiva integração arquitetónica. Deverá ser apresentada uma caracterização rigorosa do sistema, e irá explorar a relação com os diversos tipos de edifícios do parque habitacional, a compatibilidade com os sistemas de isolamento térmico existentes, a forma de enquadrar o sistema na lógica dos sistemas de certificação energética.

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE – Demonstrar os resultados obtidos por simulação dinâmica de diversas aplicações do sistema proposto, utilizando uma ferramenta informática para simular os ganhos térmicos.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS – Pretende-se extrair as conclusões de todo este processo e perspetivar possíveis futuros desenvolvimentos para o projeto.

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são abordados os conhecimentos adquiridos no processo de investigação sobre a temática do projeto. Dada a grande abrangência do tema foram criadas diversas seções numa tentativa de sistematização que permita uma correta leitura das inúmeras vertentes que tem influência nas decisões deste projeto. O tema dos sistemas solares passivos tem já um longo historial de desenvolvimento por todo o mundo que importa conhecer, para poder aperfeiçoar soluções alternativas. São já amplamente conhecidos alguns sistemas embora nenhum tenha tido o mérito de se popularizar em grande escala. Tendo em conta o potencial do conceito, torna-se necessário inovar de forma a tornar esse recurso útil ao maior número de pessoas possível.

Este capítulo procura também ser um pequeno repositório do conhecimento atual sobre a realidade da reabilitação do edificado e os conceitos de conforto térmico, permitindo uma fácil e especializada consulta para o desenvolvimento de um projeto dentro da temática.

2.2. SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

Para desenvolver qualquer solução que tire partido da energia solar, torna-se necessário compreender o fenómeno associado à radiação solar e respetivas variações. É necessário medir a quantidade de energia presente nos locais onde se pretende fazer o estudo, neste caso Portugal continental.

2.2.1. RADIAÇÃO SOLAR DISPONÍVEL EM PORTUGAL

A densidade média do fluxo energético proveniente da radiação solar é de 1367 W/m^2 , medido no topo da atmosfera. Um raio solar ao atingir a Terra é composto aproximadamente por 3 % de ultravioletas (UV), 55 % de infravermelhos (IR) e 42 % de luz visível (ver figura 3). Estas três partes da radiação correspondem respetivamente a três faixas de comprimento de onda. Os ultravioletas ocorrem de $0,28$ a $0,38 \mu\text{m}$, a luz visível de $0,38$ a $0,78 \mu\text{m}$ e os infravermelhos de $0,78$ a $2,5 \mu\text{m}$ (Saint Gobain).

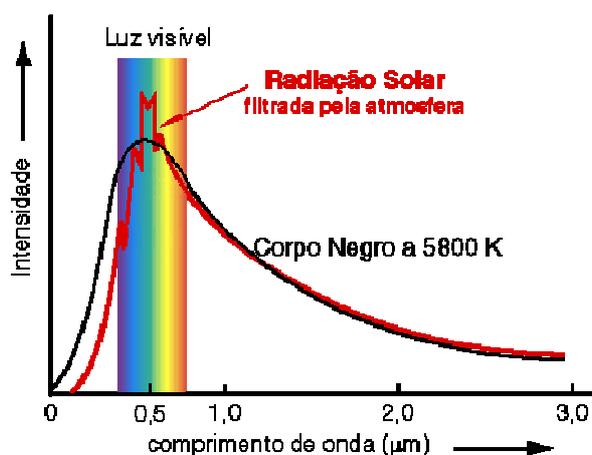


Figura 3 - Espectro solar (Associação Portuguesa para o ensino da astronomia, 2014).

A solução que se pretende desenvolver será provavelmente construída num plano vertical, como tal, foi testado um plano vertical com 1 m^2 no software Solterm 5.0 (LNEG), para quantificar a

quantidade de energia solar recebida. A tabela 1 apresenta a radiação solar média anual/mensal, num plano horizontal e num plano vertical voltado a sul com 1 m² disponível numa cidade a uma latitude média de Portugal continental, neste caso Abrantes.

Da análise da tabela 1 é possível concluir que um plano vertical orientado a sul, consegue valores superiores de radiação solar nos meses de inverno (aquecimento) do que em alguns meses de verão (arrefecimento). Contrariamente ao plano horizontal que tende a receber mais energia durante os meses de arrefecimento. Estes dados são explicados pela baixa altura do sol durante o inverno, o que aumenta a sua perpendicularidade relativamente a um plano vertical orientado a sul.

Conclui-se que um plano vertical orientado a sul pode auxiliar à climatização de inverno de um espaço interior, por via da captação da energia solar térmica.

Tabela 1 - A tabela mostra os valores de radiação solar disponível num plano vertical de 1 m² orientado a sul em Abrantes. A tabela mostra a temperatura ambiente ao longo do ano na mesma cidade (fonte: Solterm5.0)

Mês	Radiação		Temperatura ambiente		
	Rad. Horiz. Kwh/m2	Rad. Inclín. Kwh/m2 (90º)	minima	maxima	média
Janeiro	62	106	5,9	15	9,6
Fevereiro	79	99	6,4	16,3	10,4
Março	117	107	7,5	18,3	12,1
Abril	156	98	9,1	21,3	14,4
Maió	194	87	11,5	24,8	17,4
Junho	212	81	14,3	28,8	20,8
Julho	231	94	16	33,1	23,6
Agosto	212	114	16	33,4	23,6
Setembro	146	115	15,1	30,4	21,6
Outubro	107	122	12,1	24,7	17,4
Novembro	72	111	8,3	18,3	12,4
Dezembro	59	111	5,9	14,8	9,6

Em Abrantes (ponto médio em Portugal continental) as temperaturas médias, em Junho, Julho, Agosto e Setembro, estão muito próximas das temperaturas de conforto, nos restantes meses torna-se necessário aquecimento. Nesses meses a radiação solar num plano vertical orientado a Sul, poderia ser uma ajuda preciosa na climatização.

Após evidenciar que a orientação solar sul é favorável à climatização, procurou-se investigar quais os resultados no quadrante poente e nascente. Assim, utilizou-se a mesma ferramenta para calcular a disponibilidade solar em diversas localidades portuguesas no quadrante nascente e poente, utilizando também o quadrante sul como referência. Para aproximar os cálculos à solução que se pretende desenvolver, passou a utilizar-se uma área de captação de 2.55m² - área que se considerou ser passível de se utilizar num edifício comum. Passaram a desconsiderar-se também os valores de Maio a Setembro, porque se considerou que existirá no sistema a desenvolver um sombreador que irá eliminar os ganhos térmicos de verão.

Tabela 2 - A tabela apresenta a radiação solar num plano vertical orientado a sul, em Lisboa. Apresenta-se a radiação solar por m² em cada mês indicado. Apresenta-se também o valor da radiação solar incidente num plano com 2.55 m² que se considerou ser um valor possível para implementação de um sistema coletor de energia solar. A tabela diz respeito à radiação disponível na cidade de Lisboa.

Lisboa Sul				
	P/m2	area		
Janeiro	101	2,55	257,55	Kwh
Fevereiro	100	2,55	255	Kwh
Março	104	2,55	265,2	Kwh
Abril	97	2,55	247,35	Kwh
Maio	88	2,55		Kwh
Junho	78	2,55		Kwh
Julho	90	2,55		Kwh
Agosto	110	2,55		Kwh
Setembro	117	2,55		Kwh
Outubro	121	2,55	308,55	Kwh
Novembro	112	2,55	285,6	Kwh
Dezembro	103	2,55	262,65	Kwh
			TOTAL	1881,9 Kwh

Para simplificar o número de tabelas apresentam-se apenas os dados para a cidade de Lisboa, na primeira coluna estão patentes os meses, na segunda coluna o valor da radiação disponível num metro quadrado de uma superfície vertical voltada a sul. Na terceira coluna apresenta-se o valor de metros quadrados que se considera possível enquadrar num edifício comum, e na quarta coluna o valor da radiação disponível numa superfície vertical voltada a Sul com 2.55 m² de área.

Como é possível ver na tabela 2, a radiação solar disponível durante um ano nos 2.55 m² considerados, é 1881.9 kWh.

Tabela 3 - A tabela apresenta a radiação solar num plano vertical orientado a nascente, em Lisboa. Apresenta-se a radiação solar por m² em cada mês indicado. Apresenta-se também o valor da radiação solar incidente num plano com 2.55 m² que se considerou ser um valor possível para implementação de um sistema coletor de energia solar. A tabela diz respeito à radiação disponível na cidade de Lisboa.

Lisboa Este				
	P/m2	area		
Janeiro	39	2,55	99,45	Kwh
Fevereiro	51	2,55	130,05	Kwh
Março	72	2,55	183,6	Kwh
Abril	84	2,55	214,2	Kwh
Maio	108	2,55	0	Kwh
Junho	109	2,55	0	Kwh
Julho	121	2,55	0	Kwh
Agosto	117	2,55	0	Kwh
Setembro	86	2,55	0	Kwh
Outubro	66	2,55	168,3	Kwh
Novembro	48	2,55	122,4	Kwh
Dezembro	36	2,55	91,8	Kwh
			TOTAL	1009,8 Kwh

Na tabela 3 na primeira coluna estão patentes os meses, na segunda coluna o valor da radiação disponível num metro quadrado de uma superfície vertical voltada a nascente. Na terceira coluna

apresenta-se o valor de metros quadrados que se considera possível enquadrar num edifício comum, e na quarta coluna o valor da radiação disponível numa superfície vertical voltada a nascente com 2.55 m² de área. Como é possível ver na tabela 3, a radiação solar disponível durante um ano nos 2.55 m² considerados, é 1009.9 kWh.

Tabela 4 - Lisboa, orientação OESTE

Lisboa Oeste				
	P/m2	area		
Janeiro	42	2,55	107,1	Kwh
Fevereiro	52	2,55	132,6	Kwh
Março	71	2,55	181,05	Kwh
Abril	89	2,55	226,95	Kwh
Mai	108	2,55		Kwh
Junho	107	2,55		Kwh
Julho	123	2,55		Kwh
Agosto	114	2,55		Kwh
Setembro	85	2,55		Kwh
Outubro	67	2,55	170,85	Kwh
Novembro	50	2,55	127,5	Kwh
Dezembro	38	2,55	96,9	Kwh
			TOTAL	1042,95 Kwh

Na tabela 4 na primeira coluna estão patentes os meses, na segunda coluna o valor da radiação disponível num metro quadrado de uma superfície vertical voltada a poente. Na terceira coluna apresenta-se o valor de metros quadrados que se considera possível enquadrar num edifício comum, e na quarta coluna o valor da radiação disponível numa superfície vertical voltada a poente com 2.55 m² de área.

Como é possível ver na tabela 4, a radiação solar disponível durante um ano nos 2.55 m² considerados, é 1042.9 kWh.

Da análise anterior conclui-se que a orientações ESTE e OESTE de um plano vertical devidamente sombreado podem também ajudar a climatizar um edifício. Ou seja, na ausência de fachadas voltadas a sul, é também possível instalar sistemas no quadrante ESTE e OESTE embora com uma redução de cerca de 45 % de eficiência. Sob o ponto de vista estritamente teórico pode-se afirmar que dependendo da área de captação solar é possível climatizar um edifício com recurso a estas orientações. A eficiência do sistema de captação solar a instalar e a respetiva área de irá ditar a capacidade de climatização.

Para perspetivar a quantidade de radiação solar que incide em determinado objeto é possível utilizar ferramentas informáticas que simulam o percurso solar durante todo o ano, como ilustrado na figura 4. Esta é uma forma expedita de cálculo que permite avaliar a viabilidade de uma solução.

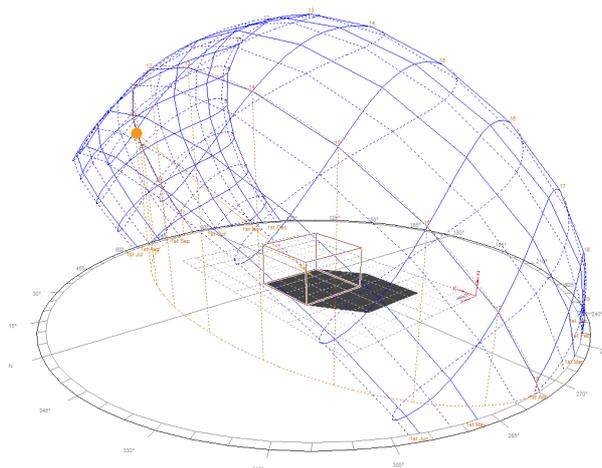


Figura 4 - Imagem 3D que ilustra o percurso solar durante um ano sobre um paralelepípedo orientado a Sul (Fonte: imagem – Autodesk –Ecotec (**Autodesk inc.**))

2.2.2. SISTEMAS DE GANHO DIRECTO

Para converter em energia útil a radiação solar torna-se indispensável que algumas condições estejam reunidas. Existem diversas formas de captar e armazenar a energia solar, que serão descritas neste ponto.

Os ganhos solares diretos são conseguidos através da radiação solar que atravessa as partes transparentes das fachadas dos edifícios. Estes vão depender da orientação e características do vão e do tipo de materiais que compõem o interior do edifício. Materiais de revestimento isolantes como alcatifas ou tapetes minimizam a absorção de energia térmica pelos pavimentos e paredes interiores. Os sistemas de ganho direto são uma forma mais eficaz de aproveitamento solar comparativamente aos sistemas de ganho indireto. No entanto tem muitas outras implicações sobre o interior do edifício, como, o excesso de luminosidade, a degradação dos revestimentos interiores e a intervenção não controlada pelos utilizadores. Por razões culturais, os Portugueses utilizam cortinas, que praticamente anulam a possibilidade de utilização da radiação solar direta, deixando como única alternativa a utilização de sistemas de ganho solar indireto (ver figura 5).



Figura 5 - Obstáculos ao aproveitamento térmico da radiação solar direta.

O planeamento urbano, regra geral não tem em conta as questões da orientação solar pelo que os edifícios acabam por ter orientações solares pouco interessantes para o seu correto aproveitamento. Na construção do edifício os vãos são definidos sem levar em linha de conta a posição do sol e os benefícios que poderiam advir do seu correto dimensionamento e sombreamento. Como o objetivo é desenvolver uma solução baseada em sistemas de ganho indireto, a informação relativa aos sistemas de ganho direto foi muito resumida.

2.2.3. SISTEMAS DE GANHO INDIRECTO

Os sistemas de ganho indireto podem ter os mais variados formatos e a sua principal característica é o facto de os ganhos térmicos serem transmitidos de uma forma indireta, ou seja permitem o aquecimento do interior do edifício, mas sem que a radiação solar atinja diretamente o interior. Seguidamente apresentam-se os exemplares mais comuns.

2.2.3.1. Parede de trombe não ventilada

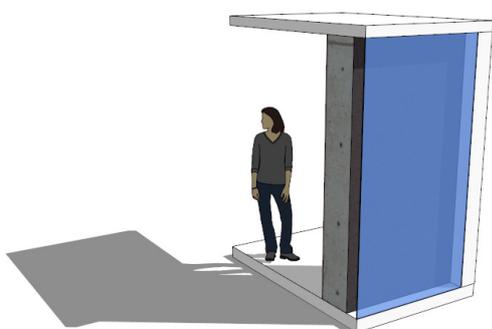


Figura 6 - Exemplo simples de parede de trombe.

As paredes de trombe não ventiladas são a forma mais simplificada de uma parede de trombe. São paredes constituídas por materiais com grande inércia térmica, de preferência pintadas com uma cor escura e a aplicação de um vidro pelo exterior como se pode ver na figura 6. Estas paredes devem ser orientadas a sul, já que é nesta orientação que se consegue controlar de uma forma simples a radiação solar. A radiação solar atravessa o vidro exterior e atinge a superfície negra da parede, provocando o aquecimento progressivo desta.

O efeito de estufa criado no espaço de cerca de 20 cm entre o vidro e a parede, irá desenvolver temperaturas crescentes ao longo da exposição solar. Durante a noite o calor armazenado na parede irá fluir lentamente para o interior. Na tabela 5, apresenta-se a relação entre a área da parede de trombe e a área da divisão a climatizar (Moita, 2010).

Tabela 5 - Relação entre a área da parede de trombe e a divisão que se pretende aquecer. Fonte (Moita, 2010)

Temperatura média exterior na estação fria	Área de P.T. em m ² necessária por m ² de superfície de compartimento	
	Parede maciça	Parede de Agua
-4	0,6-0,9	0,4-0,7
-1	0,5-0,7	0,35-0,55
+2	0,4-0,6	0,25-0,45
+5	0,3-0,45	0,20-0,35
+8	0,25-0,35	0,15-0,25,

2.2.3.2. Parede de trombe ventilada

As paredes de trombe ventiladas são idênticas às paredes de trombe simples, no entanto são acrescentadas duas aberturas para o interior da “estufa”, uma em baixo e outra no topo (ver figura nº7). Essas aberturas permitem que o ar do interior do edifício entre na abertura inferior e por convecção suba no período de aquecimento da parede e saia já aquecido pela abertura superior.



Figura 7 - Exemplo simples de parede de trombe ventilada.

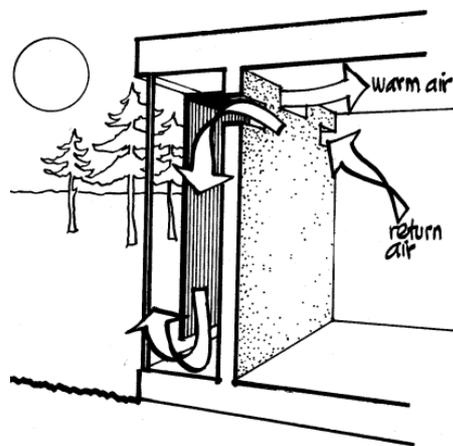


Figura 8 – Parede de trombe ventilada
Fonte Imagem – (WELLS, 1981)

Alguns destes sistemas estão equipados com sistemas de fecho que permitem ao utilizador abrir ou fechar as aberturas de forma a controlarem a climatização. Estes sistemas dão origem a inúmeras variações que conferem diferentes características a este tipo de paredes. Poderá igualmente ser adicionada uma abertura no vidro exterior, que permite no período de verão utilizar a parede de trombe como um sistema de ventilação passiva. As paredes de trombe ventiladas podem também ser construídas sem parede acumuladora, sendo substituída por uma chapa metálica pintada de negro, que irá aquecer o ar que circula por aberturas devidamente localizadas, como se pode ver na figura 8.

2.2.3.3. Parede de Trombe-Michel

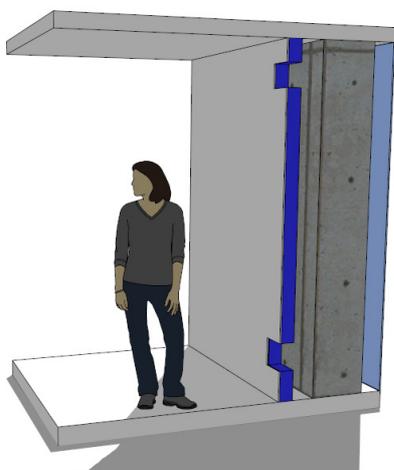


Figura 9 - Parede de Trombe-Michel.

A parede de Trombe-Michel é similar à parede de trombe clássica, mas tem a adição de uma segunda parede de isolamento no interior (ver figura 9). Essa parede tem aberturas que podem ser abertas ou fechadas permitindo a ou não a passagem do ar em contacto com a parede de trombe para o interior do espaço.

Nos dias pouco insolados, as aberturas poderão estar fechadas, evitando a perda de energia para o exterior. Esta solução melhora o desempenho da solução clássica que não prevê a utilização de isolamento térmico. Estudos conduzidos (Shen et al Shen, et al., 2007) revelaram que esta parede tem um melhor comportamento do que a parede clássica no que diz respeito à temperatura superficial da parede interior, que se manteve com menores amplitudes térmicas.

2.2.3.4. Parede de trombe com PCM

A inclusão de materiais de mudança de fase (PCM - Phase Change Material) nos componentes de uma parede de trombe, pode beneficiar todo o seu funcionamento se os PCM forem selecionados para uma gama de temperaturas correspondente à solução. A introdução destes materiais tem a vantagem de reduzir o peso das soluções de armazenamento de energia térmica, tornando possíveis soluções que dependam da estrutura pré existente dos edifícios. Uma das desvantagens destes materiais é o custo, razão pela qual é uma solução ainda pouco utilizada.

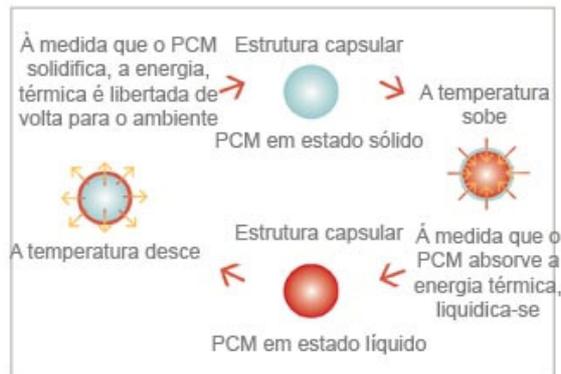


Figura 10 - Esquema do funcionamento dos materiais de mudança de fase (Daikinme, 2015).

2.2.3.5. Parede de trombe em malha

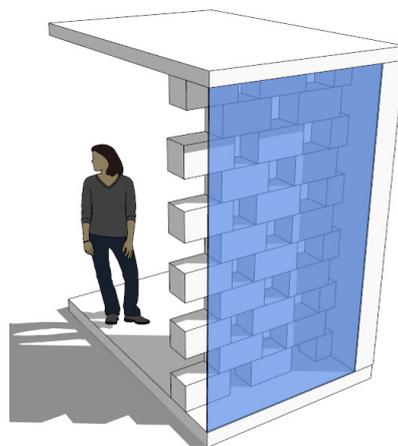


Figura 11 - Parede de trombe em malha.

A parede de trombe em malha é constituída por blocos de betão ou de tijolo sobrepostos com espaçamento entre eles, uma caixa-de-ar com uma dimensão entre 50 a 100 mm e um elemento em vidro, como se pode ver na figura 11.

Estudos efetuados por (LI, 1999) através de simulações e ensaios experimentais revelaram uma eficiência de 30.2%, tendo a parede de trombe clássica a eficiência de 22.6%. Este tipo de parede funciona igualmente como elemento de iluminação interior.

2.2.3.6. Parede de trombe fotovoltaica

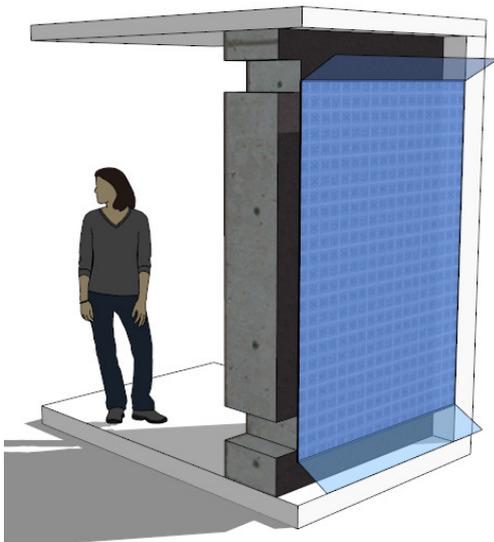


Figura 12 - Parede de trombe fotovoltaica.

A parede de trombe fotovoltaica utiliza um painel fotovoltaico transparente aplicado no vidro exterior da parede de trombe, mas a sua relativa transparência permite a passagem de energia para a parede acumuladora. A parede interior maciça tem aberturas para o interior do edifício, permitindo a transferência de calor por convecção, e por condução pela parede acumuladora. A solução estudada na China (he, 2007) tem igualmente aberturas no exterior como se pode ver na figura 12, que permitem o arrefecimento da caixa-de-ar, do painel fotovoltaico, o que também permite a ventilação do interior do edifício. Esta solução tem também a vantagem de diminuir a temperatura de funcionamento do painel fotovoltaico e assim aumentar a sua eficiência, na conversão da radiação solar em eletricidade.

2.2.3.7. Estufas e outras soluções

Outra solução de aproveitamento solar térmico é a estufa que consiste na criação de uma divisão extra no edifício, orientada a sul e que funciona como uma parede de trombe ventilada de grandes dimensões. A passagem do ar aquecido para o interior do edifício é feita através do controlo manual de abertura ou fecho dos vãos. Estas estufas têm o defeito de ter uma superfície envidraçada horizontal o que provoca um grande sobreaquecimento no verão, pelo que devem ser cobertas com vegetação de folha caduca ou com toldos nessa estação, como se pode observar na figura 13. A solução que se apresenta na figura 14 é uma solução composta, que inclui uma divisão cheia de rochas que servem como armazenamento térmico. Como se situam num ponto baixo da casa, o calor armazenado fluirá para cima naturalmente durante o período noturno.

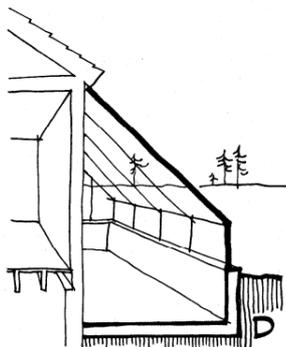


Figura 13 - Estufa clássica (Fonte imagem- (Wells, 1981).

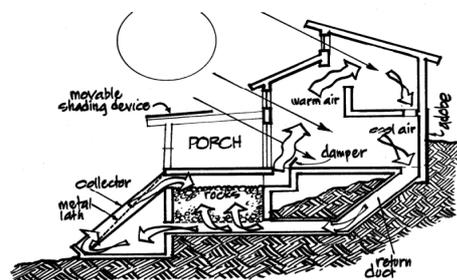


Figura 14 - Sistema de parede de trombe composta por sistema de coleção solar térmica e acompanhada por um sistema de armazenamento térmico em rochas (Fonte imagem (Wells, 1981).

As “estufas” são também correntemente usadas pelos portugueses quando são construídas “marquises” de alumínio nas varandas exteriores. Sob o ponto de vista térmico é uma solução interessante no Inverno, já que aumenta o isolamento térmico da envolvente e permite ganhos térmicos consideráveis. Tornando-se muitas vezes os locais mais agradáveis da casa. No entanto como são soluções não sombreadas, e com orientações solares aleatórias, durante o verão tornam-se locais “inabitáveis”.

2.2.3.8. Parede de trombe de água

Tradicionalmente os materiais utilizados nas paredes de trombe estão no estado sólido. Noutras situações como na CTO (casa termicamente otimizada) da FEUP, a utilização de paredes de inércia térmica com água, resultou em problemas construtivos dada a dificuldade em manter a água confinada num espaço. No exemplo apresentado nas figuras 15 e 16 é utilizado um sistema de plásticos transparentes moldados preenchidos com água. O plástico é um material resistente, que consegue reter a água com eficácia, torna possível desenvolver uma solução funcional e com um desenho apelativo, já que permite simultaneamente iluminar o interior com os efeitos de refração originados pelo preenchimento líquido da parede.

Este sistema utiliza um “pleno” que é aquecido pela radiação solar que transmite ao interior e à parede de acumulação a energia térmica. Este sistema funciona também como sistema de ventilação dos painéis solares de forma a evitar o sobreaquecimento (Hall, Edward G.).

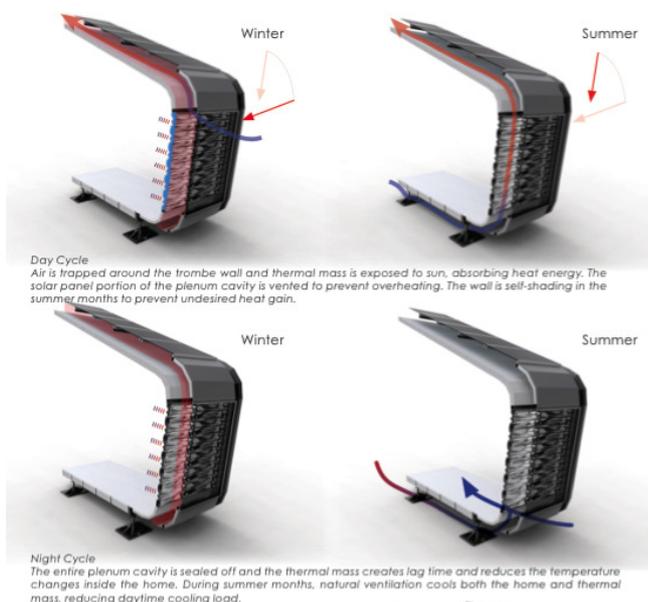


Figura 15 – Princípios de funcionamento da solução nas diversas estações do ano, fonte (Hall, Edward G.).



Figura 16 – Vista exterior e interior da parede solar de água, fonte (Hall, Edward G.).

Os sistemas de aproveitamento solar térmico baseados no princípio da parede de trombe, têm inúmeras variações possíveis. As que se apresentam seguidamente foram desenvolvidas nos Estados Unidos e Canadá, e adequam-se ao tema porque se baseiam no mesmo princípio e pressupõe igualmente alguma prefabricação.

2.2.3.9. Soluções sem armazenamento térmico incorporado

2.2.3.9.1 Solar wall

O “Solar Wall” é uma solução norte americana já implementada em diversos países, cujo funcionamento consiste num painel metálico microperfurado que é aplicado pelo exterior das paredes voltadas a sul. Contém um espaço vazio de cerca de 20 cm, por onde o ar captado pela micro-furação circula, propulsionado por um sistema de ventilação mecânica, como se pode observar nas figuras 17, 18 e 19. A empresa criadora declara que este sistema funciona de forma independente ou como pré-aquecimento para sistemas AVAC, apresentando valores de redução de consumo energético na ordem dos 50%. Além do aumento da temperatura interior, é necessário também equacionar as vantagens como sistema de ventilação uma vez que insufla o ar exterior para o edifício. Este sistema é muito interessante para fábricas e edifícios industriais que necessitam de grandes volumes de ar climatizado combinado com um grande número de renovações de ar por hora. Nos edifícios habitacionais é também vantajoso porque na América do Norte, os edifícios multifamiliares têm sistemas de insuflação de ar nas áreas comuns, com um número de renovações por hora muito exigente. Nestas circunstâncias, com o clima rigoroso desta região torna-se necessário aquecer o ar que entra por esta via: esse aquecimento é feito por sistemas convencionais, no entanto, a aplicação deste “Solar wall” irá minimizar o consumo, já que irá fazer o pré-aquecimento do ar (Conserval Engineering Inc.).

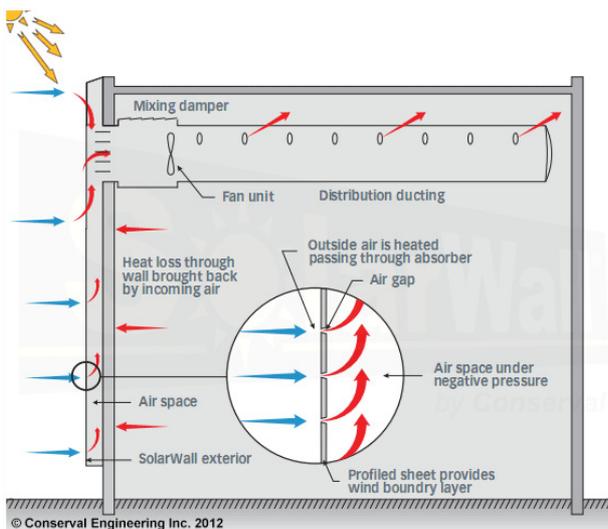


Figura 17 - Funcionamento do sistema “Solar Wall” sem apoio de sistema térmico fonte (Conserval Engineering Inc.).

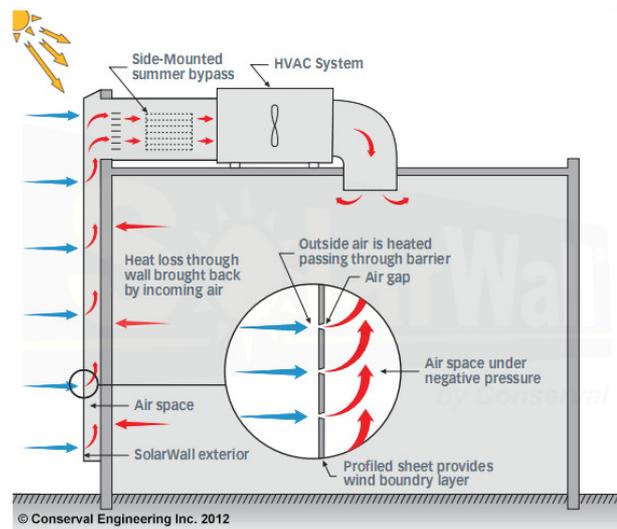


Figura 18 - Funcionamento do sistema como pré aquecimento de AVAC (Conserval Engineering Inc.).

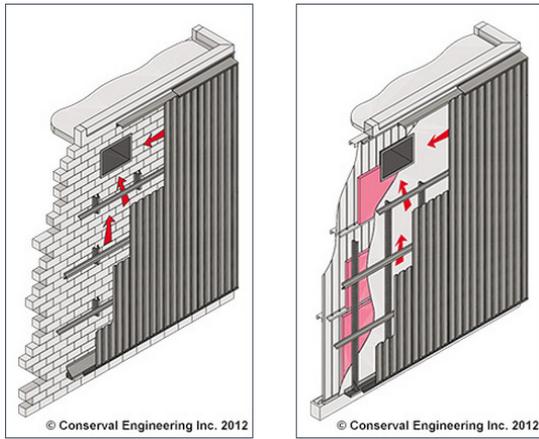


Figura 19 - Desenho explicativo da solução do sistema “solar Wall” (Conserval Engineering Inc.).

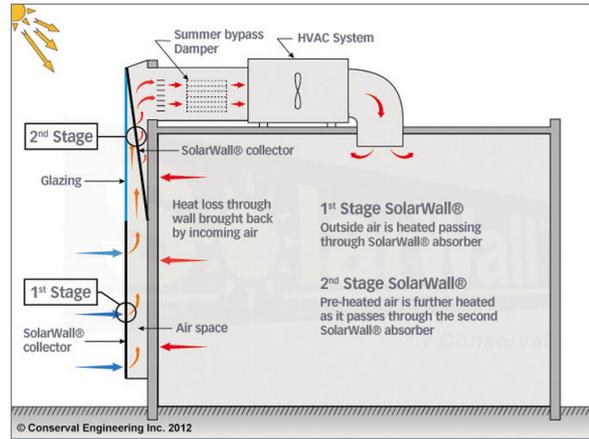


Figura 20 – Esquema de funcionamento do 2ºstage (Conserval Engineering Inc.).

O sistema “Solar Wall” permite a existência de um 2º nível de aquecimento, ou seja uma área envidraçada com um elemento micro perfurado metálico no interior (2º Stage), que se baseia no princípio da parede de trombe ventilada, com a única diferença que o elemento acumulador (que neste caso funciona como permutador) é uma chapa microperfurada, como se pode ver na figura nº20.

Este tipo de sistema tem sido muito utilizado em naves industriais, fábricas ou grandes edifícios. No entanto pode-se destacar dois exemplos de edifício multifamiliares com aplicação deste sistema como se pode ver na figura 21 e 22.



Figura 21 - Exemplo da utilização do sistema “solar Wall” em edifícios residenciais (Manchester Housing, AB Canada), os painéis são a parte escura na fachada do edifício (Conserval Engineering Inc.).



Figura 22 - Exemplo da utilização do sistema “solar Wall” em edifícios residenciais (Fred Douglas Building, MB – Canada). Os painéis são as linhas verticais escuras, na parte opaca da fachada (Conserval Engineering Inc.).

2.2.3.9.2 Solarheat

Seguindo a mesma tipologia de sistemas existe um outro sistema mais vocacionado para o mercado residencial que é comercializado por uma empresa denominada “your solar home”



Figura 23 - Aspeto do exterior e interior do sistema “Solarheat” (yoursolarhome).

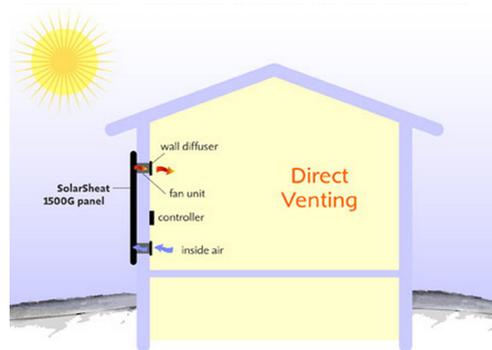


Figura 24 - “Solarheat” Esquema de funcionamento, (yoursolarhome).

(yoursolarhome).

Na figura 23 apresenta-se o aspeto interior e exterior do sistema “solarheat”, que é denunciado no exterior por um retângulo envidraçado e no interior pela existência de um dreno e um ventilador. Na figura 24 o esquema torna perceptível a simplicidade do sistema e as alterações necessárias para a sua instalação.

O sistema “solarheat” é similar ao “solar wall” que se mostrou anteriormente. Consiste numa chapa metálica pintada de negro colocada dentro de uma estufa de vidro, com duas bocas de ventilação, uma para insuflar o ar aquecido pelo painel, e um dreno para recolher o ar interior. O sistema funciona com um ventilador alimentado por um painel solar, não sendo necessário fazer ligações elétricas.

specifications

	SOLARSHEAT 1000G	SOLARSHEAT 1500G	SOLARSHEAT 2 PAK
Energy rating*	4 MJ	6 MJ	14 MJ
BTU	3 kBTU/day	6 kBTU/day	14 kBTU/day
Dimensions	56.6" X 43.15" X 3.8" / 144cm x 109.6cm x 9.7cm	87" X 43.15" X 3.8" / 221cm x 109.6cm x 9.7cm	86" x 87" x 3.8" / 218cm x 221cm x 9.7cm
Gross area	13 ft² or 1.2 m²	20 ft² or 1.9 m²	46 ft² or 4.3 m²
Weight	68 lbs / 30.8 kg	94 lbs / 42.6 kg	188 lbs / 85 kg
Colour	Black	Black	Black
Type	Modular solar air collector	Modular solar air collector	Modular solar air collector
Material	Aluminum extrusion	Aluminum extrusion	Aluminum extrusion
Absorber	Corrugated aluminum	Corrugated aluminum	Corrugated aluminum
Glazed	Tempered glass	Tempered glass	Tempered glass
Insulation	Polyisocyanurate R5 insulation	Polyisocyanurate R5 insulation	Polyisocyanurate R5 insulation
Control	Digital thermostat (included)	Digital thermostat (included)	Digital thermostat, PV powered fan modulates flow rate with sunlight intensity, 68°F (20°C) temp. sensor
Fan	DC, ball bearings, built-in	DC, ball bearings, built-in	DC, ball bearings, built-in
Fan power	Solar electric PV, 14.5 watts	Solar electric PV, 14.5 watts	Solar electric PV, 14.5 watts
Fan service life	70,000 hours	70,000 hours	70,000 hrs
Flow rate	95 CFM (nominal)	71 CFM (backdraft damper installed)	50 CFM
CO ₂ reduction	.18 tonne per year	.35 tonne per year	.7 tonnes per year
Temperature	100°F (38°C)	120°F (49°C)	140°F (60°C)
Mounting	Wall or roof†	Wall or roof†	Wall or roof†
Country of mft.	Canada	Canada	Canada
Manufacturer	Your Solar Home Inc.	Your Solar Home Inc.	Your Solar Home Inc.
Warranty	5 yrs. on collector / 1 yr. on electronics	5 yrs. on collector / 1 yr. on electronics	5 yrs. on collector / 1 yr. on electronics

* SRCC Rating: mildly cloudy rating/day, category C † Additional flashing and roof mount required

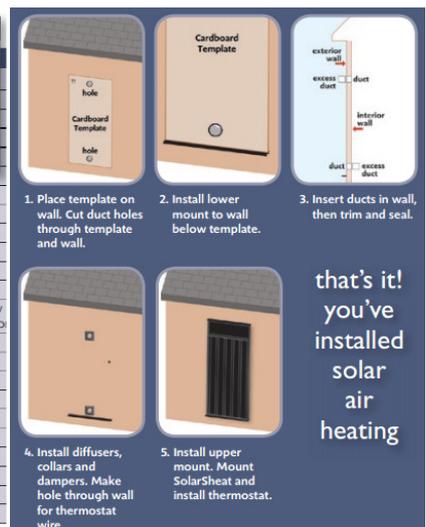


Figura 25 - “Solarheat” apresentação do fabricante dos diversos tamanhos consoante a divisão que se pretende climatizar (yoursolarhome).

Figura 26 - “Solarheat”, sistema de montagem (yoursolarhome).

Proposto em diversos tamanhos de painel num formato tipo “kit”, consoante a divisão que se pretende climatizar, com versões para colocação em telhados, mantendo sempre o mesmo

esquema de princípio de uma parede de trombe ventilada, mas sem massa térmica (ver figura 25). A forma de montagem é tão simples que pode parecer um projeto de bricolage caseira, como se pode ver na figura 26. É apenas necessário abrir dois furos na parede para colocar os ventiladores e fixar o painel à parede exterior. Não é necessário fazer ligações elétricas pois os ventiladores presentes são alimentados por um painel fotovoltaico que faz parte do painel principal.

É um sistema que pode funcionar bem, num tipo de construção ligeira como a construção característica dos Estados Unidos, no entanto dada a ausência de inércia térmica haverá certamente um período noturno em que será necessário o apoio de um sistema de climatização convencional, em climas rigorosos.

2.2.3.9.3 Scansun

O sistema “Scansun” é muito similar ao “solarheat” e é uma solução pré-fabricada para aplicação direta nas fachadas ou telhados. O funcionamento é idêntico ao anterior, a maior diferença reside no desenho e na origem do equipamento (alemã). O quadro de rendimento apresentado indica que o modelo maior que tem uma área de absorção de 2.30m² está indicado para uma divisão com 400m³. Na eventualidade desse cálculo estar correto, os 400 m³ com um pé direito de 2.70m equivaleria a 148 m².



Figura 27 – “Scansun” diferentes módulos e dimensões (domoheat, 2015).

A figura 27, retirada da publicidade ao sistema “scansun” apresenta os diversos modelos, que essencialmente variam a nível de dimensão e sua relação com o espaço que se pretende climatizar.

2.2.3.9.4 Solução de parede fotovoltaica/térmica do Edifício Solar 21

Apresenta-se a solução de parede fotovoltaica/térmica do edifício solar 21, porque tem como inovador o facto de incorporar um painel fotovoltaico, o que de acordo com a mais recente

legislação sobre eletricidade, o Decreto-lei 153 de 2014 (Republica, 2014) que regula o autoconsumo de energia elétrica tornou possível a venda de energia à rede de uma forma simplificada.

O edifício solar 21 foi pensado desde o início como um edifício com a máxima integração de sistemas passivos e de energias renováveis.

Entre as várias soluções passivas deste edifício será apenas descrita a solução térmica relacionada com os painéis fotovoltaicos, já que é a solução que mais se aproxima ao tema da dissertação.

Aquando da integração dos painéis fotovoltaicos foi discutida qual a sua melhor localização, tendo sido selecionada a fachada para que fosse bem visível a preocupação em incluir sistemas de produção de energia independentes. Por outro lado a localização na fachada apesar de não ser ótima para a produção de energia elétrica por não ter os painéis na perpendicular à radiação solar, permite que os painéis sejam parte de um sistema térmico que além de arrefecer a parte posterior dos painéis aumentando a sua durabilidade permite ajudar à climatização do edifício. Nas figuras 28 e 29 é possível observar as aberturas no interior e exterior do edifício, que permitem ao utilizador gerir os fluxos de calor para o interior ou exterior conforme as estações do ano.



Figura 28 – Painéis fotovoltaicos vistos pelo exterior no edifício Solar 21. Na parte inferior e superior do painel é possível ver as grelhas de ventilação (Ineti, Dez 2005).



Figura 29 – Vista pelo interior do sistema, são visíveis as aberturas de ventilação inferior e superior (Ineti, Dez 2005).

Na figura 30 é possível observar como foi previsto o funcionamento do sistema de acordo com as necessidades térmicas do interior do edifício

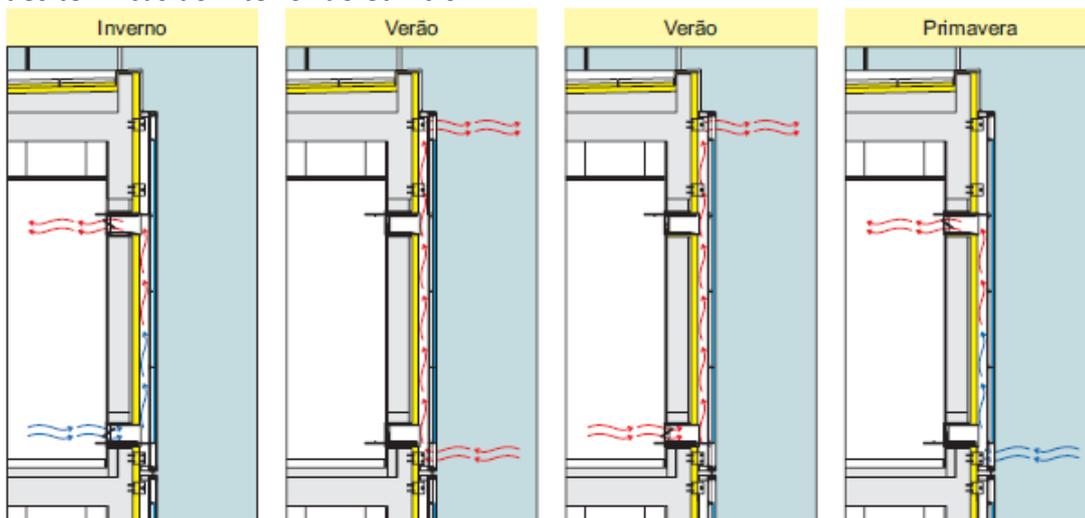


Figura 30 Esquema de funcionamento nas diversas estações (Ineti, Dez 2005).

2.3. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.3.1. CONCEITO DE REABILITAÇÃO

Desde há alguns anos que se discute a necessidade e a importância da reabilitação dos edifícios existentes, como forma de impedir a formação de vastas áreas degradadas no centro das cidades, garantindo o bem-estar da população residente e manter os níveis de empregabilidade no sector da construção. No entanto, e apesar de alguns avanços nessa área, continua a ser uma área muito pouco explorada no país. A explicação que parece mais plausível para esse insucesso são as margens de lucro mais reduzidas para os construtores e a dificuldade em promover empreendimentos em pequena escala em áreas socialmente muito deprimidas, como são os centros das cidades históricas (exemplo da cidade do Porto). O parque edificado existente Português é já suficiente para as necessidades de habitação requeridas, pelo que se torna desnecessária a afetação de mais terrenos à construção. Apesar de, em número, o parque edificado corresponder às necessidades, por outro lado necessita de intervenções diversas que o possam adequar à vivência atual.

No entanto, analisando o parque edificado português, verifica-se a existência de uma grande percentagem de edifícios construídos sem preocupações ao nível térmico, e como tal, muito ineficientes sob o ponto de vista energético. Tendo em conta as razões apontadas no enquadramento, torna-se necessário refletir sobre a necessidade de substituir ou melhorar os edifícios para que a sua utilização corrente não represente um encargo incomportável para os utentes sob o ponto de vista económico, para o país na figura da balança comercial, e para a humanidade no que às alterações climáticas diz respeito. Substituir um edifício, ou seja demoli-lo e posteriormente construir um novo em sua substituição, é uma opção que deverá ser tomada apenas em circunstâncias extremas, ou porque o edifício não cumpre minimamente a função para a qual foi destinado ou porque o seu estado de conservação obriga à sua demolição. A realidade económica não se tem revelado compatível com este tipo de abordagem, por outro lado há que enumerar todas as vantagens da alternativa reabilitação:

- *Economia*, as reabilitações aproveitam grande parte dos edifícios existentes, caso se verifique que a parte estrutural se encontra em boas condições, e caso a reabilitação seja apenas exterior é possível manter os habitantes nas suas casas evitando grandes impactos;
- *Identidade*, fazer a substituição de um edifício numa cidade provoca a descaracterização, a perda de identidade de um local e potencia a criação de “não lugares” (Augé, 1992) ;
- *Ecologia*, manter os elementos chave de um edifício, evita transporte a vazadouro de grande parte do edifício a demolir, evitando o “downgrade” dos seus elementos constituintes, mantendo toda a energia já utilizada para construir o edifício. Por outro lado evita o início de toda a cadeia de extração/manufatura/transporte/construção que implica a utilização de energia e uma grande variedade de impactos ambientais.

2.3.2. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Espera-se que em 2050, mais de 80% da energia utilizada nos edifícios seja consumida pelos edifícios construídos antes do ano 2000 (ECBCS annex 50, 2011).

Entende-se como reabilitação energética, as ações sobre um edifício existente que lhe permitam reduzir os consumos energéticos, mantendo ou melhorando as condições de conforto para os seus utilizadores.

A reabilitação energética deve ser enquadrada dentro dos limites e expectativas do dono de obra, e pode tirar partido de todos os desenvolvimentos que a técnica atual conhece.

Pode-se dividir as ações de reabilitação energética em três grupos, a melhoria do desempenho da envolvente, a melhoria do desempenho dos equipamentos, e a produção independente de energia. Apesar de serem apresentadas de uma forma independente neste trabalho, os três grupos de medidas devem ser integradas num estudo abrangente que possa selecionar as melhores técnicas de acordo com as características e localização do edifício a estudar.

A melhoria do desempenho dos equipamentos foca a sua ação na análise e otimização da eficiência dos equipamentos. Com a evolução da técnica, inúmeros equipamentos melhoraram significativamente a relação produção/consumo, pelo que a substituição de equipamentos mais antigos muitas vezes traduzem-se em economias significativas sob o ponto de vista energético, económico e ambiental. É fundamental que essa análise custo benefício, seja também ponderada com a energia incorporada dos equipamentos a substituir, pois muitas vezes um equipamento apesar de ser um pouco menos eficiente, que os atuais, poderá ter um binómio energia/matéria incorporada de tal forma elevado que poderá demorar muito tempo até a substituição ser justificada. Esse cenário é ainda mais gravoso no caso de não ser possível a sua reciclagem ou haver uma possível recuperação com um grande “*downgrade*” na reciclagem dos componentes do equipamento.

A produção independente de energia, pode ser uma outra forma de atuar, e implica a utilização de sistemas ativos de produção de energia, seja térmica ou elétrica. Podem ser utilizados diversos dispositivos, sendo os mais comuns nos edifícios, os sistemas fotovoltaicos e os sistemas solares térmicos. Existem também algumas experiências de inclusão de geradores eólicos nos edifícios embora seja ainda uma área pouco desenvolvida. Estas técnicas devem ser utilizadas apenas para colmatar os consumos energéticos não resolúveis por técnicas passivas, sob pena de se promover um falso edifício “*verde*” no qual apesar de a energia ser renovável não foram tomadas medidas de base para melhorar o seu desempenho.

As técnicas que promovem a melhoria do desempenho térmico da envolvente serão aquelas em que mais se incidirá. São técnicas focadas na envolvente dos edifícios, e consistem na aplicação de materiais de baixa condutibilidade térmica que permitam minimizar as transferências térmicas para o exterior. As técnicas solares passivas também podem ser utilizadas, mas são mais sensíveis às características iniciais de localização e formato do edifício, como a orientação e sombreamento. As técnicas solares passivas pela maior dificuldade que representam, tanto ao nível do dimensionamento como ao nível da execução de obra são regra geral preteridas relativamente às soluções de sobreposição de elementos de fachada.

2.3.2.1. Sistemas de reabilitação energética

Para contextualizar a importância de desenvolver novas soluções de reabilitação energética reúnem-se seguidamente alguns exemplos de sistemas já existentes com os respetivos pontos fortes e suas fraquezas. O conhecimento profundo prévio dos sistemas atuais permitirá desenvolver soluções inovadoras que se apresentem como alternativas com mais-valias.

2.3.2.1.1 Sistemas Etics

A forma de se reabilitar energeticamente um edifício passa na maior parte das vezes pela adição de isolamentos térmicos pelo exterior. A intervenção pelo exterior permite a execução da obra sem interrupção do normal funcionamento interior, e por outro lado potencia a possibilidade de utilizar a inércia térmica do edifício. Estes sistemas além de melhorarem o desempenho térmico do edifício, muitas vezes resolvem outras patologias. Como exemplo a anulação das pontes térmicas evitando o aparecimento de condensações e bolores, e o isolamento adicional acaba por colmatar fendas que dariam origem a infiltrações. A figura 31 demonstra a sequência de construção e os materiais utilizados sobre o suporte original do edifício.

Começando pela colocação de uma cola sobre o suporte original, seguida de uma camada de isolamento, uma camada de base armada com rede de fibra de vidro, terminando com uma camada de primário e revestimento final.



Figura 31 – Sequencia de aplicação do ETICS (Oficinadeobras, 2015).



Figura 32 - Antes e depois da aplicação de um sistema ETICS (Oficinadeobras, 2015).

Apesar de todas as vantagens, este sistema apresenta também alguns problemas, por um lado, como são integralmente executados em obra acabam por motivar desperdícios de material ou erros de execução. É um sistema demorado e com uma grande intervenção de mão-de-obra, como se pode observar na figura 32 em que foi necessária a colocação de andaimes em toda a envolvente do edifício. Outra desvantagem já conhecida é a fragilidade do revestimento exterior podendo facilmente ser perfurado originando infiltrações de água e a consequente destruição do sistema, o que praticamente inviabiliza a aplicação desta solução em edifícios escolares ou no embasamento dos edifícios.

2.3.2.1.2 Solução GAP

Existem outras alternativas de reabilitação energética mais recentes, como por exemplo o apresentado pela empresa GAP na Áustria. Trata-se de um sistema que além da solução de aplicação de uma segunda “pele” ao edifício, permite obter ganhos solares pela envolvente opaca, um sistema de ventilação integrado, passagem de infraestruturas, incluindo também módulos específicos para aquecimento solar de AQS e fotovoltaicos (não presentes nesta obra).

Apresenta-se como exemplo o caso de um edifício dos anos sessenta caracterizado por paredes simples e aquecimento contínuo. Após um levantamento rigoroso das medidas do edifício com recurso a laser, que permitiu construir toda a “nova” fachada em fábrica, foi necessária em obra apenas a assemblagem dos elementos, como se pode ver na figura 33.



Figura 33 - O sistema de fachada GAP vem já pré preparado de fábrica sendo apenas assemblado no local da obra (gap-solution, 2014).

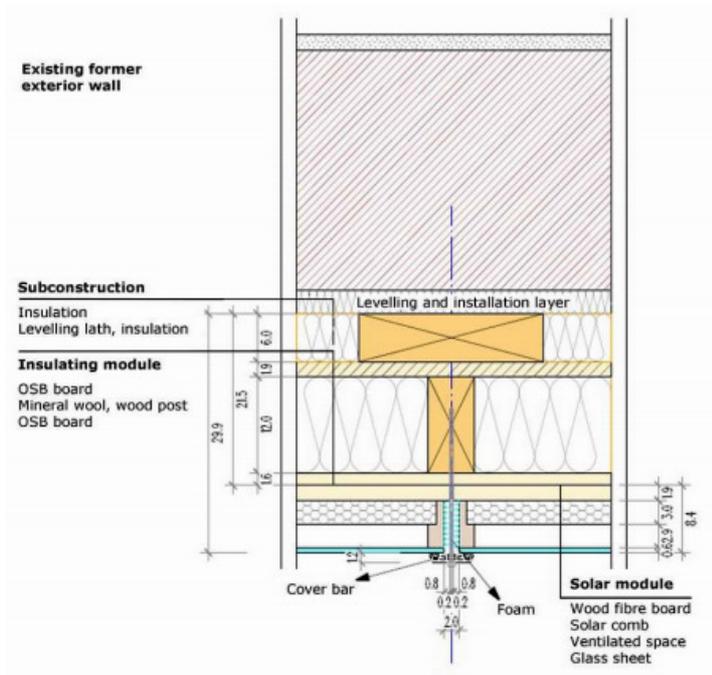


Figura 34 – Esquema em corte horizontal do sistema de isolamento térmico, mostrando os 3 níveis (gap-solution, 2014).

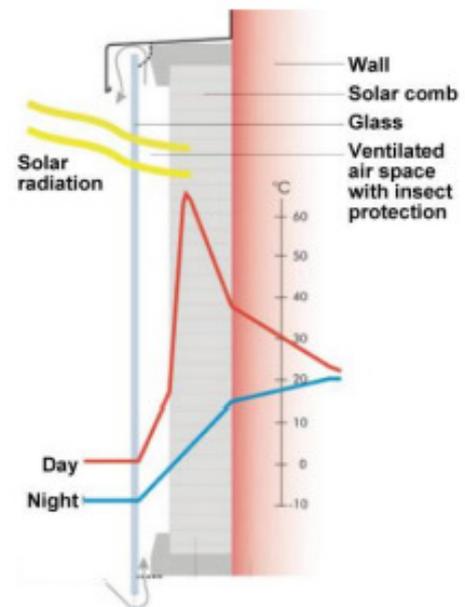


Figura 35 – Corte vertical com indicação das temperaturas noite e dia (gap-solution, 2014).

O sistema de painéis de fachada GAP é composto por 3 níveis principais, como se pode ver na figuras 34 e 35, o 1º tem como objetivo o nivelamento e a fixação do sistema à estrutura existente, o 2º é o módulo de isolamento, onde está grande parte do isolamento térmico, o 3º nível é composto pelo módulo solar. Este é o módulo mais interessante deste sistema uma vez que é composto por cartão canelado (ver figura 37), um material frágil e que costuma estar ausente das soluções de fachada. Segundo indicações dos fabricantes, o desenho do cartão canelado permite funcionar como micro sombreadores que regulam a entrada de radiação solar para a parede. O cartão canelado pode ser pintado com qualquer cor, aumentando a longevidade do material. No espaço entre o vidro e o cartão desenvolve-se uma estufa que funciona como uma área de separação climatizada exterior/interior como se pode ver na figura 35. O revestimento final é feito com um vidro float de 4 mm. O recurso à pré-fabricação, é uma forma de manter os custos mais baixos e permitir o trabalho em quaisquer condições atmosféricas, para este efeito é obrigatório um levantamento muito rigoroso efetuado com recurso a varrimento laser.



Figura 36 – Aspectos da linha de montagem da GAP, mostrando toda a fachada construída por módulos com os acessórios já devidamente fixados (gap-solution, 2014).

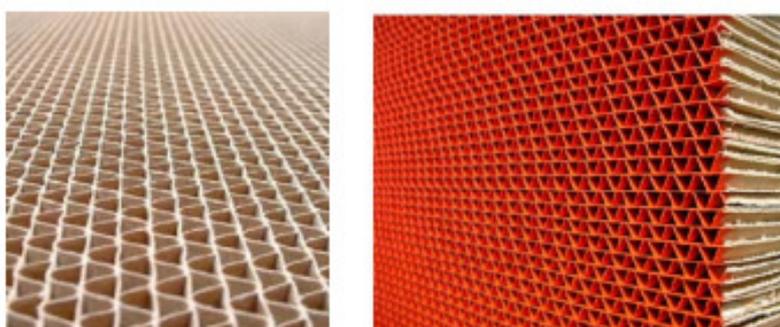


Figura 37 – Imagem do cartão canelado a aplicar no sistema (gap-solution, 2014).

2.3.2.1.3 Isodur

Como alternativa aos sistemas ETICs tradicionais como o “Capotto”, foi desenvolvido na FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, um reboco projetado denominado ISODUR. A vantagem essencial deste produto é ser passível de ser aplicado diretamente sobre o suporte e ter uma resistência mecânica muito superior ao capoto, possibilitando a execução de panos de parede junto ao embasamento dos edifícios. O sistema tem diferentes variações consoante o acabamento pretendido embora o desempenho térmico se deva à camada de “reboco térmico projectado ISODUR”, como se pode ver na figura 38.



Figura 38 – Figura do sistema base do sistema ISODUR, mostrando os componentes a aplicar sobre a parede original de tijolo, fonte (Isodur)

Este sistema, como facilmente se adapta a todas as formas arquitetónicas, permite a fácil eliminação das pontes térmicas planas e a prevenção das patologias higrotérmicas. A utilização

deste reboco em edifícios novos permite a economia de cerca de 1 m² por cada 20 metros lineares de parede exterior, porque evita a necessidade de parede dupla. Tem igualmente boas características de resistência ao fogo, contrariamente aos tradicionais sistemas ETICS.



Figura 39 – Aplicação de cerâmica sobre o ISODUR (Isodur).

Como se pode ver na figura 39, o sistema ISODUR também permite a aplicação posterior de cerâmica, sendo para isso necessária a aplicação de uma sequência de outros materiais específicos do sistema.

A principal desvantagem que se identifica neste sistema é a necessidade de diversas fases de aplicação assim como de uma necessidade de mão-de-obra intensiva no local de obra, não permitindo a pré fabricação.

2.3.2.1.5 “Prefabricated Metal Panel Retrofit Modules”

Um trabalho de pesquisa da Universidade do Minho, apresentado no ANNEX 50 (IEA ECBCS Annex 50, 2011) da Agência internacional de Energia, é uma tentativa de desenvolver uma solução de reabilitação de fachadas para Portugal. Desenvolvido por Pedro Silva com orientação da Professora Manuela Almeida, tem como objetivos reduzir o consumo de energia nos edifícios existentes para valores abaixo dos 50kWh/m² por ano, servir como revestimento exterior que pode incorporar infraestruturas adicionais.

Apresenta-se como uma solução de rápida implementação, baixando os custos e reduzindo os inconvenientes para os proprietários, permitindo simultaneamente que os edifícios intervencionados passem a cumprir a atual legislação Portuguesa de térmica. Como se pode ver na figura 40 o sistema de fixação permite que a nova fachada seja encaixada no local, estando todo o sistema já pré-fabricado. Cada painel tem um peso aproximado de 12 kg o que permite um fácil manuseio.

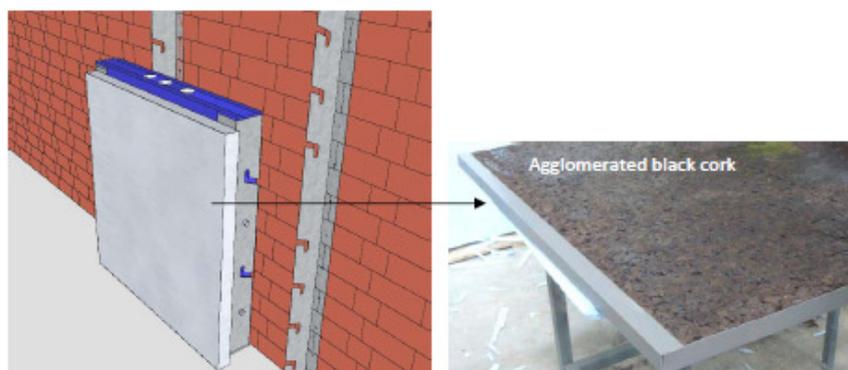


Figura 40 - O sistema apresenta um sistema de fixação otimizado que permite uma rápida montagem dos painéis Retrofit module design guide (ECBCS annex 50, 2011)

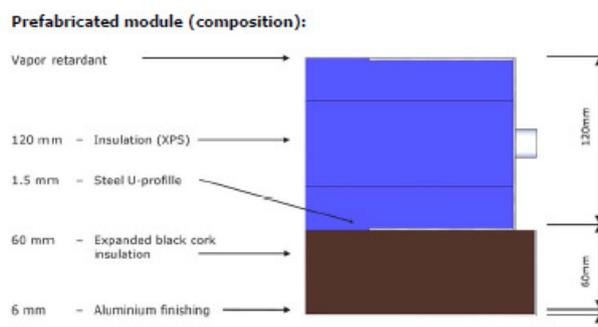


Figura 41 - Corte do painel tipo, apresentando os materiais que constituem o interior (**ECBCS annex 50, 2011**).

Na figura 41 mostra-se a composição do painel, que combina XPS e cortiça com um revestimento exterior metálico. Os painéis são encaixados entre eles de forma a eliminar as pontes térmicas.

2.4. IDENTIFICAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO PORTUGUÊS

A solução que se pretende desenvolver além de obrigar a um conhecimento geral aprofundado dos sistemas já utilizados e em desenvolvimento, obriga igualmente a um conhecimento cuidado do parque edificado ao qual se destina. Apenas o estudo cuidado dos edifícios existentes permitirá desenvolver uma solução compatível com os diversos tipos de edifício que podem ser intervencionados. Após este estudo serão selecionadas as tipologias de edifícios passíveis de sofrerem uma intervenção com o sistema a desenvolver.

O parque edificado Português caracteriza-se pela grande quantidade de edifícios, essencialmente residenciais, (3 518 152) (ver tabela 7). Cerca de 2 500 000 de edifícios foram construídos desde 1961, época em que o betão armado passou a ser mais utilizado, como é possível observar na tabela 6. Também a partir dessa altura iniciou-se um aumento significativo da construção de edifícios multifamiliares. As técnicas construtivas e a legislação foram evoluindo ao longo dos anos, pelo que atualmente coexistem inúmeras tipologias de edifícios, com diferentes soluções de fachada. Perspetiva-se como “mercado alvo” para a solução que se pretende desenvolver, os edifícios entre 1961 a 2000, no entanto será necessário perceber se os sistemas de fachada utilizados nesse intervalo de tempo permitem uma abordagem similar.

Tabela 6 - Tabela com a identificação da época de construção do parque edificado Português, atualizado em Novembro de 2012 (**Pordata e INE, 2013**).

Anos	Época de construção								
	Total	Anterior a 1919	1919 - 1945	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2011
1981	2.507.706	643.059	482.791	406.003	354.226	621.627	//	//	//
1991	2.861.719	461.889	427.531	392.042	395.880	511.200	673.177	//	//
2001	3.160.043	253.880	344.936	357.042	395.262	553.349	648.930	606.644	//
2011	3.544.389	206.343	305.696	387.340	408.831	588.858	578.845	558.471	510.005

Fontes/Entidades: INE, PORDATA
Última actualização: 2012-11-20

Tabela 7 – Tabela que ilustra que grande parte dos edifícios do parque edificado português são edifícios residenciais (**Pordata e INE, 2013**).

Anos	Tipo de edifício		
	Total	Principalmente residenciais	Principalmente não residenciais
1981	2.507.706	2.495.642	12.064
1991	2.861.717	2.827.206	34.511
2001	3.160.043	3.127.013	33.030
2011	3.544.389	3.518.152	26.237

Fontes/Entidades: INE, PORDATA
Última actualização: 2012-11-20

2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS POR ÉPOCAS, EM PORTUGAL

Não é possível definir com exatidão as técnicas construtivas por época, pois existem muitas outras variantes que afetam a decisão do tipo de materiais e técnicas a empregar. No entanto procurou-se fazer um sumário das técnicas mais comuns, caracterizar algumas tipologias de forma a tornar compatível a solução “plug in” que se pretende desenvolver. É importante salientar que os edifícios que se pretende caracterizar são edifícios residenciais multifamiliares, e não outro tipo de edifícios. Nos pontos seguintes serão descritos sucintamente os métodos construtivos e as soluções de fachada em diferentes períodos de tempo em que se conseguem agrupar.

2.4.1.1. Edifícios 1900 – 1940

Estes edifícios são caracterizados por terem uma estrutura portante em alvenaria de pedra e elementos horizontais em estrutura de madeira. São edifícios com uma grande inércia térmica nos paramentos exteriores que contrasta com um interior relativamente mais ligeiro pela utilização intensiva da madeira. As paredes interiores são construídas em estruturas de tabique, com argamassas à base de terra e cal.

As fachadas têm os mais diversos acabamentos consoante a região do país. Na zona do Porto é muito frequente encontrar soluções de azulejo sobre argamassa de cal. Sob este revestimento existe igualmente uma camada de alcatrão de cerca de 10 mm de espessura que reveste na totalidade as pedras dos paramentos exteriores evitando a entrada de humidade. A pedra tem diversas qualidades de acabamento consoante a riqueza da construção, tendo as paredes uma espessura de 40/50 cm. O reboco interior é à base de cal e tem um acabamento estanhado sendo posteriormente pintado. Os pés direitos interiores têm cerca de 3.2 m e os tetos são estucados a gesso num fasquiado de madeira suportado pelas vigas de madeira de suporte. As janelas tem um desenho tendencialmente mais vertical dada a dificuldade em atingir grandes vãos com alvenarias de pedra. As caixilharias são de madeira e a proteção interior normalmente é feita por portadas de madeira. A figura 42 apresenta as diferentes camadas de materiais que compõem o sistema descrito.



Figura 42 - Solução tipo de fachada 1900-1940.

2.4.1.2. Edifícios 1940 – 1960

Estes edifícios têm uma estrutura similar aos anteriores com a diferença de utilizarem uma camada adicional de tijolo no interior (ver figura 43), que servia para regularizar os paramentos exteriores de pedra. Nesta altura iniciou-se a utilização de lajes de betão, pelo que a inércia térmica interior destes edifícios aumenta consideravelmente. Os rebocos à base de cimento generalizam-se. As divisórias interiores deixam de ser em estruturas de tabique e passam a ser de tijolo vazado. Os revestimentos exteriores passam a ser essencialmente o reboco e as fachadas exteriores são bastante recortadas. Nesta altura vulgariza-se a construção em betão armado.

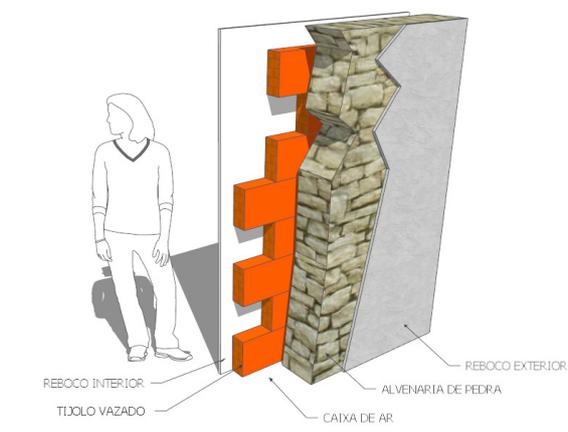


Figura 43 - Solução tipo de fachada 1940-1960.

2.4.1.3. Edifícios 1960 – 1980

São desta época edifícios de grande qualidade arquitetónica e com soluções estruturais arrojadas, embora ainda não existam preocupações com as questões da térmica. Existem as mais variadas soluções de fachada sendo comum a seguidamente apresentada, com duas camadas de alvenaria de tijolo separadas por uma caixa-de-ar, como exemplificado na figura 44, no entanto é também possível encontrar edifícios com paredes simples de betão. A partir de 1970 inicia-se um grande

crescimento nas periferias das cidades, recorrendo ao betão armado e ao tijolo cerâmico. A partir dessa altura constrói-se uma grande parte do parque habitacional Português e em determinados casos com uma qualidade construtiva muito baixa. O revestimento exterior além do tradicional reboco passa também a utilizar elementos cerâmicos. Inicia-se a utilização de caixilharias de alumínio e os vãos tendem a ganhar maior desenvolvimento horizontal facilitado pela construção em pórticos.

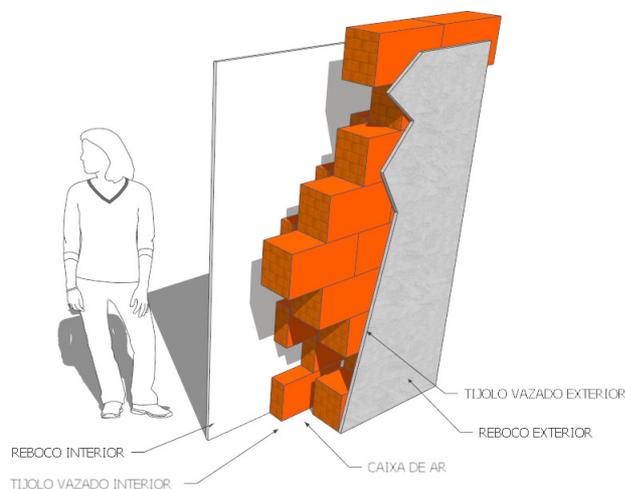


Figura 44 - Solução tipo de fachada 1970-1980.

2.4.1.4. Edifícios 1980 – 1990

Os princípios da construção descrita anteriormente mantêm-se embora tenha baixado a qualidade geral dada a massificação que a construção sofreu nesta altura. Os requisitos para entrar na atividade da construção eram muito baixos, e não havia formação pelo que apenas se repetiam soluções já conhecidas, procurava-se nesta altura construir rápido e barato. A solução divergia da anterior apenas pela utilização de tijolo de menor espessura como se pode ver na figura 45.

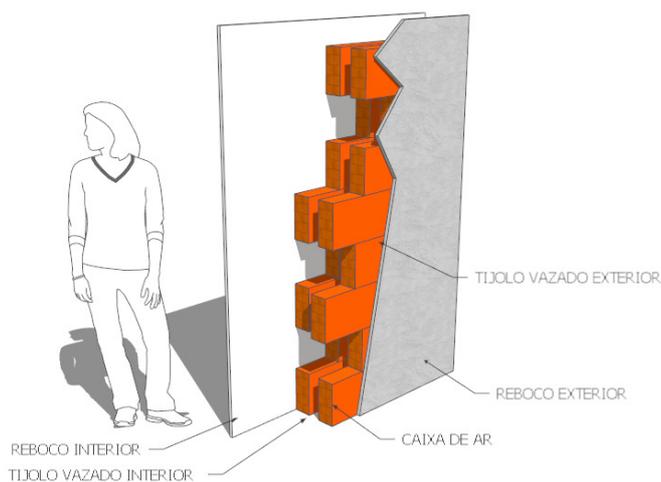


Figura 45 - Solução tipo de fachada 1980-1990.

2.4.1.5. Edifícios 1990 – 2006

Nesta altura entra em vigor do 1º RCCTE, que tornou obrigatórias algumas preocupações com as questões térmicas. Utilizou-se nessa época placas de EPS de baixa espessura (2cm) (que é identificada a azul na figura 46) que eram colocadas entre os dois paramentos de tijolo. Dando início a algumas discussões relativamente às pontes térmicas, e formas de as colmatar, para evitar fenómenos de condensação no interior das habitações. Essencialmente nos remates dos vãos e nos encontros dos paramentos com os pilares, em que algumas das “forras” utilizadas fragilizavam a resistência mecânica das paredes.

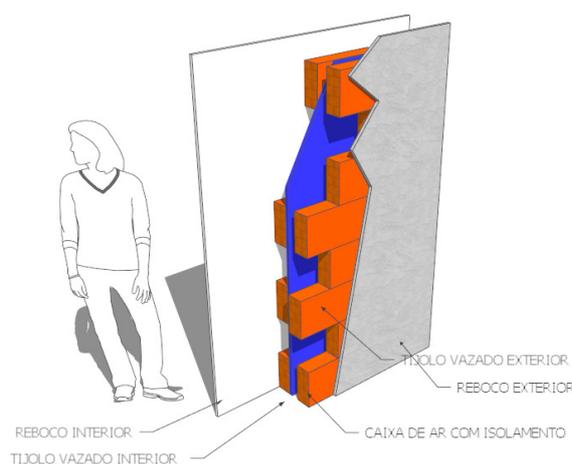


Figura 46 - Solução tipo de fachada 1990-2006.

2.4.1.6. Edifícios 2006 – 2013

2006 foi a data de publicação do novo RCCTE (Decreto-Lei 80/2006 , 2006) este regulamento tornou-se muito mais exigente não só no método de cálculo como no método de funcionamento designando peritos para o acompanhamento do desenvolvimento dos projetos. Este empenho legislativo mudou bastante o panorama dos edifícios novos, obrigando a um maior cuidado no projeto e construção. Os edifícios são já moderadamente isolados e são inseridos em diferentes categorias consoante a sua eficiência energética, permitindo ao comprador conhecer de antemão os consumos/conforto expectável em situações padrão.

À data da escrita deste plano foi aprovada uma revisão à legislação de térmica, que se espera tornar ainda mais exigente a construção nova a partir de 2013.

2.4.2. NECESSIDADE DE ENERGIA POR ÉPOCA

Como foi verificado nos pontos anteriores, os edifícios mais antigos têm níveis de proteção térmica inferiores e sistemas menos eficientes que os atuais, logo o seu consumo energético por m^2 é muito superior. A figura 47 mostra, a título de exemplo, a evolução dos consumos energéticos a nível europeu por época de construção. O esforço para minimizar os consumos tem dado bons resultados, como é possível observar. Na figura é perspectivado o potencial de redução para cada conjunto de edifícios. Em Portugal, a cultura de climatização permanente não é muito comum pelo que os consumos por m^2 são inferiores, aos apontados na figura 47, cujo gráfico está

calibrado para os países do norte da Europa. Os objetivos da comissão europeia apontam para os edifícios de energia zero, mas na maioria dos casos só se aplicará a edifícios novos. O parque edificado deverá no entanto ser melhorado, reduzindo o consumo energético para aproximadamente 30-50 kWh/m² por ano.

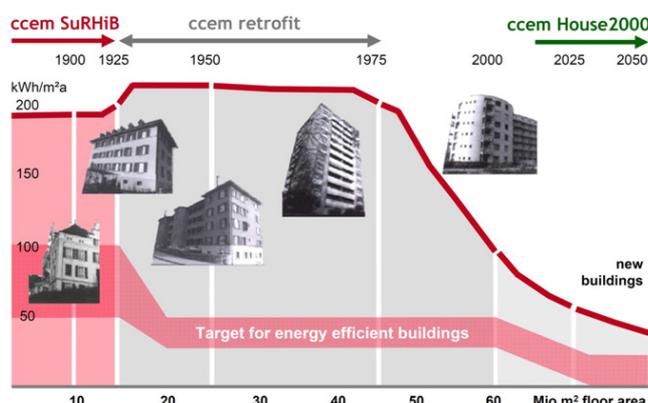


Figura 47 - Consumo de energia por época de construção e potenciais possibilidades de melhoramento (IEA ECBCS Annex 50, 2011).

2.4.3. CONCLUSÃO DA ANÁLISE AO EDIFICADO

A solução que se pretende desenvolver nesta dissertação funciona por adição a um edifício existente. Assim, terá sempre de se adaptar ao edifício original, sendo nesse sentido fundamental conhecer as técnicas construtivas e os materiais empregues na data da sua construção para garantir a compatibilidade da solução. Da análise conduzida chega-se à conclusão que grande parte do parque edificado português foi construída entre 1960 e 2000. Contando com mais de 2 milhões de edifícios, caracteriza-se por uma grande percentagem de edifícios com estrutura de betão armado, forte inércia térmica e fachadas em reboco de cimento ou revestimento cerâmico. As soluções de fachada destes edifícios têm pouco ou nenhum isolamento térmico, pelo que o desenvolvimento de uma solução que os permita reajustar à realidade atual trará um enorme benefício, para os utentes e para o país. Encontrado o “alvo” será orientado o desenvolvimento da solução, para esta enorme fatia do parque habitacional.

2.5. O CONFORTO TÉRMICO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.5.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA TÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

Melhorar a eficiência energética dos edifícios existentes é o caminho selecionado para o desenvolvimento do projeto desta dissertação. Apesar de essa eficiência terminar como um benefício para o conforto, seleciona-se esta como ponto focal. Para climatizar um edifício é necessário um consumo de energia, seja para aquecimento, seja para arrefecimento, independentemente do tipo de sistema a utilizar. Quanto maior for a diferença entre a temperatura pretendida para o interior e a temperatura exterior mais energia será necessária. Caso não exista possibilidade económica/funcional para climatizar os edifícios, conforme se verifica em Portugal (Healy, 2002), deverá o próprio edifício por si garantir, na medida do possível, níveis de conforto aceitáveis. Por todas as razões já expostas no enquadramento deste tema, existe atualmente uma necessidade de minimizar o consumo de energia nos edifícios.

Diversas formas de minimizar o consumo de energia para climatização:

1º Não climatizar - esta seria a mais segura das abordagens, embora a mais radical, não garantindo as necessárias necessidades de conforto aos ocupantes. Sem climatização não há qualquer consumo energético, mas essa solução poderá não ser aceitável em muitos casos. Em Portugal as casas comportam-se pior do que o clima (Serra, 2000), chegando mesmo a situações em que põe em perigo a saúde pública, sendo Portugal o país onde mais se morre de frio (Healy, 2002). Muitas vezes por carência económica ou por manutenção da tradição de não climatização, este é o caminho selecionado, obrigando as pessoas a viver em desconforto térmico. Esta solução promove a falta de produtividade, o desconforto e em muitos casos a prevalência de doenças sazonais como a gripe;

2º Climatizar moderadamente – Esta é uma solução intermédia, já proposta em determinados contextos (ASHRAE, 2010) adequar os parâmetros de climatização para valores inferiores mas próximos do ótimo, satisfazendo apenas a maioria dos utilizadores. Através de diversos estudos de sensibilidade é possível encontrar valores de conforto para diferentes climas e para contextos específicos. As recomendações da ASHRAE, muito especificamente na norma 55/2010 (ASHRAE, 2010) indicam parâmetros de conforto menos exigentes, que têm vindo a ser estudados igualmente em Portugal levando a uma revisão dos valores utilizados no modelo de FANGER (Standardization, International Organization for, 2005). Ainda que se reduza ligeiramente a exigência nos valores de temperatura de conforto, caso os edifícios não sejam intervencionados a outros níveis, continua a ser necessário um grande consumo de energia;

3º Minimizar as trocas de ar com o exterior – Este foi o procedimento utilizado nos anos 70 do século passado, aquando do 1º choque petrolífero - Esta solução consiste em isolar todos os pontos onde possam existir entradas de ar exterior e baixar o número de renovações de ar no interior, diminuindo o trabalho dos sistemas de ventilação. Esta solução mostrou-se perigosa para os utilizadores dos edifícios, porque os níveis de humidade, de dióxido de carbono, e outros poluentes aumentam, provocando problemas de saúde e patologias várias no edifício. Este tipo de situação pode resultar no designado “síndrome do edifício doente”. Nos edifícios residenciais em Portugal regra geral não existem sistemas de ventilação que promovam as necessárias renovações de ar recomendadas, pelo que algumas soluções utilizadas para melhorar a estanquicidade do edifício, como por exemplo a colocação de uma segunda caixilharia, ou outras, podem levar a situações de ar saturado de poluentes interiores – vapor de água, COVs, CO₂, radão, ozono, etc..;

4º Aumentar a resistência térmica dos elementos da envolvente do edifício – Esta medida implica melhorar a envolvente de forma a minimizar as perdas pelo contacto com o exterior. Esta é a solução que mais tem sido utilizada nas reabilitações energéticas. Esta técnica associada à tradicional inércia térmica forte dos edifícios Portugueses e a um sistema de ventilação adequado, pode melhorar consideravelmente o conforto térmico de um edifício. É uma solução passiva que apenas ajuda a conservar a energia térmica produzida por equipamentos de climatização, pelo que os consumos energéticos continuam a ser necessários, embora com menor intensidade;

5º Melhorar a eficiência dos equipamentos de climatização. – O desenvolvimento tecnológico tem permitido desenvolver equipamentos mais eficientes, sendo dessa forma possível minimizar a quantidade de energia necessária para o mesmo desempenho;

6º Desenvolver soluções de climatização passiva – É possível utilizar técnicas mais ou menos conhecidas de aproveitamento das condições do local para climatizar o edifício. Utilizando a radiação solar, os ventos dominantes, vegetação sombreadora, espelhos de água, chaminés de vento, inércia térmica da terra, etc.. Muitas construções vernaculares adotam soluções similares, melhorando as condições de conforto interiores.

2.5.2. CONFORTO TÉRMICO

Os edifícios nos primórdios da civilização humana estavam consideravelmente mais bem adaptados ao clima do local onde estavam implantados do que os edifícios atuais, pois resultavam de melhoramentos constantes numa perspectiva de tentativa/erro durante centenas de anos. Esses longos períodos de tempo permitiam aos construtores uma percepção do clima local, desenvolvendo soluções muito interessantes como as torres de vento ou os sombreamentos seletivos. Por outro lado, na ausência de soluções de melhoria térmica a percepção de conforto térmico era diferente do atual. É de salientar que a atividade física (MET) era muito superior à atual, reduzindo as necessidades de aquecimento. Os edifícios que nos chegam à atualidade são constituídos por uma panóplia de técnicas construtivas, características de diversas épocas nas quais as preocupações térmicas eram praticamente inexistentes. Como atualmente se passa cerca de 90% do tempo no interior dos edifícios as questões do conforto são fundamentais porque condicionam o bem-estar e a produtividade. Até aos anos 70 do século passado, com a existência de energia barata, a resolução deste problema passava simplesmente por aumentar a potência dos sistemas de climatização. Com a crise energética e o desenvolvimento técnico, atualmente a térmica dos edifícios é estudada de uma forma mais rigorosa, embora as soluções se continuem a centrar nos sistemas de climatização mecânica dependente de consumos energéticos.

O conforto térmico é definido como uma condição de satisfação em relação ao ambiente térmico (ASHRAE 55:2010). Basicamente o conforto térmico obtém-se quando a pessoa não sente frio nem calor. Existem numerosos estudos e normas que dissecam as condições nas quais se obtém o conforto térmico.

O RCCTE (Decreto-Lei 80/2006 , 2006) define como temperatura de conforto 20°C na estação de aquecimento e 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento.

O conforto térmico dos ocupantes dos edifícios é influenciado por diversos fatores, estando diretamente relacionado com a atividade física (medido em MET) ou pela quantidade de isolamento térmico (roupa) que transporta consigo (medido em CLO). Na Tabela 8 é possível observar como a atividade desenvolvida pode alterar a geração de calor pelo corpo medido em MET. Na Tabela 9 apresenta-se o valor de isolamento térmico de algumas peças de roupa que é medido em CLO.

Tabela 8 - Alguns valores de atividade metabólica MET por atividade desenvolvida.

Atividade	Atividade metabólica	
	Reclinado	45w/ m ²
Sentado	58w/ m ²	1,0 MET
Em pé	70w/ m ²	1,2 MET
Construção de edifícios	275w/ m ²	4,7 MET
Correr 15km/h	550w/ m ²	9,5 MET

Tabela 9 - Alguns valores de CLO, para referência.

Descrição	CLO
T-shirt	0.09
Calças	0.25
Casaco leve	0.25
Casaco de exterior (inverno)	0.70
Sweater	0.35
Botas	0.10

Contrariamente ao que acontecia no passado, verifica-se uma tendência crescente de os utilizadores dos edifícios estarem sentados a utilizar o computador ou a ver televisão, atividades de baixa intensidade física, que não promovem a geração de calor pelo corpo. Por outro lado, são preferidas as roupas leves que necessariamente têm um baixo nível de isolamento. Juntando um valor de *MET* baixo a um valor de *CLO* também baixo, resulta numa maior necessidade de climatização.

2.5.3. CONFORTO TERMICO EM PORTUGAL

Em Portugal, país de temperaturas moderadas, a necessidade de conforto térmico tem vindo constantemente a ser esquecida ao longo dos anos. A construção passou por diversas fases durante o séc. 20 mas só a força da regulamentação fez com que se incluíssem a partir de 1990 medidas concretas para melhorar o desempenho térmico dos edifícios. Até essa altura manteve-se a lógica de construir o edifício acrescentando posteriormente fontes de energia térmica como lareiras ou aquecedores. Esses pressupostos “culturais” podem explicar a grande percentagem de portugueses que utilizam lenha para aquecimento, como pode ser verificado na Figura 49.

Essa atitude que desprezava as necessidades de aquecimento tem vindo a ser contrariada pela perceção que a falta de condições térmicas dos edifícios é um problema de saúde pública. Portugal é o país da Europa em que mais pessoas morrem por patologias relacionadas com a falta de condições de isolamento e aquecimento nos edifícios. Todos os invernos a comunicação social divulga notícias que denunciam números elevados de fatalidades que ocorrem por essas razões como se pode ver na figura 48.

Portugal é onde mais se morre devido ao frio

08/04/2009

Portugal é um dos países da União Europeia onde mais se morre por falta de condições de isolamento e aquecimento nas casas, conclui um estudo de especialistas da Universidade de Dublin que comparou 14 países europeus.

Figura 48 – Notícia – “Portugal é onde mais se morre devido ao frio” (Portugal é onde mais se morre devido ao frio, 2009)

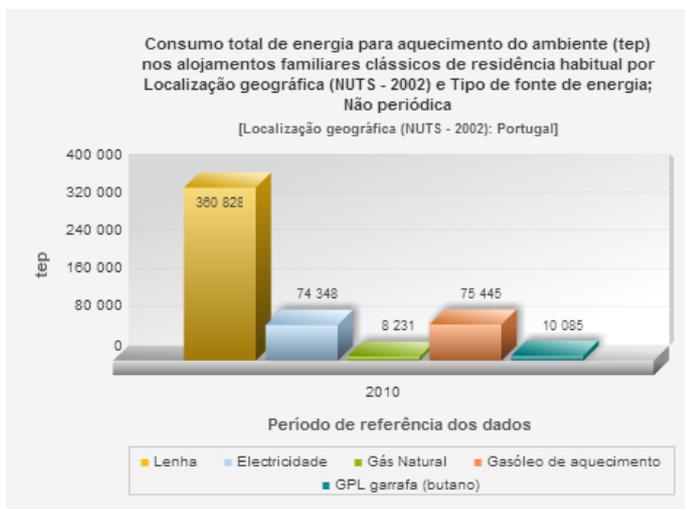


Figura 49 - Consumo de energia para aquecimento ambiente por tipo de fonte (Instituto Nacional de estatística, 2011).

*Households Unable to Heat Home Adequately (1994-97):
% and Number of Households Affected ('000)*

	% 1994	% 1995	% 1996	% 1997	% Mean	No. Mean
Germany	2.0	1.5	1.4	-	1.6	590
Denmark	4.2	2.9	2.8	2.6	3.1	74
Netherlands	2.0	1.8	2.0	2.2	2.0	130
Belgium	4.6	4.1	2.8	3.0	3.6	148
Luxembourg	2.6	3.1	3.5	-	3.1	3
France	8.5	7.3	7.0	5.8	7.2	1,994
UK	8.9	6.2	5.3	2.7	5.8	1,380
Ireland	8.0	5.9	6.5	5.1	6.4	70
Italy	22.4	22.7	20.6	20.3	21.5	2,774
Greece	46.8	45.5	46.8	42.9	45.5	1,820
Spain	58.7	57.7	53.3	49.7	54.9	7,466
Portugal	75.8	74.9	73.8	72.9	74.4	2,306
Austria	-	2.5	1.9	1.8	2.1	76
Finland	-	-	4.7	4.7	4.7	103

Tabela 10 - Percentagem de famílias impossibilitadas de aquecer a casa convenientemente, ao nível Europeu (Healy, 2002).

Além da ineficiência dos equipamentos de queima a lenha, esse sistema passou a ser incompatível com a maioria dos apartamentos citadinos de pequena dimensão, pelo que se encontraram alternativas de energia elétrica e gás para colmatar as necessidades de aquecimento. Tendo em conta que a envolvente desses edifícios apresentam valores muito baixos de resistência térmica, a opção dos habitantes atualmente tem sido, utilizar a fonte de energia mais barata possível e manter os níveis de conforto ao nível do

mínimo suportável. Os níveis de conforto são baixos ao ponto de Portugal ser o país da Europa onde mais se morre de frio (Healy, 2002). Na Tabela 10 é possível observar que apenas aproximadamente 25 % da população Portuguesa tem possibilidade de aquecer a casa convenientemente em contraste com 98,5% da população na Alemanha. Ainda tendo em conta que o clima e respectivas necessidades de climatização destes dois países são muito diferentes, a diferença é muito significativa.

A reabilitação energética dos edifícios pode, não só, fazer baixar drasticamente os consumos de energia como também melhorar consideravelmente o conforto e a

qualidade de vida, promovendo desta forma um aumento de produtividade. Este aumento da produtividade não é facilmente integrado numa análise custo/ benefício, mas deve ser um fator a ter em conta por um dono de obra que está a decidir fazer uma reabilitação energética à envolvente.

A partir de 2006 entrou em vigor um regulamento de térmica mais exigente, o Dec. Lei 80/2006 (Decreto-Lei 80/2006 , 2006) que modificou de uma forma significativa a construção, obrigando os edifícios a terem um certificado energético e exigindo um técnico responsável por essa certificação.

Esperava-se nessa altura que a classificação energética fosse um importante fator de decisão na compra de um imóvel. Na prática esse resultado não chegou a ser muito efetivo pela redução significativa de transações de imóveis que se tem vindo a verificar justificado pelo período recessivo que o país atravessa. Foi publicado em 20 de Agosto de 2013 um novo regulamento desenvolvido na sequência da diretiva europeia (The European Parliament and the council of the European Union, 2010) e que no preâmbulo mostra muito empenho no desenvolvimento de soluções solares passivas, como se pode ler no seguinte extrato. *“Do mesmo modo, por via da definição de formas adequadas de quantificação, é incentivada utilização de sistemas ou soluções passivos nos edifícios, bem como a otimização do desempenho em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização”* texto do preâmbulo do Dec. Lei 118/2013 de 20 de Agosto (Decreto Lei 118/2013, 2013).

2.5.4. MODELO ADAPTATIVO

Sempre se procurou encontrar valores de referência de temperatura e humidade universais, valores de temperatura estáticos que definissem a sensação de conforto térmico. No entanto existem muitos fatores que podem influenciar a sensação de conforto térmico, muitos deles impossíveis de quantificar. Foi percebido que os valores conducentes à sensação de conforto térmico poderiam variar de acordo com as condições exteriores. Foi também entendido que o utilizador considera positivo poder alterar a temperatura ou a ventilação de acordo com as suas necessidades que podem variar ao longo do dia.

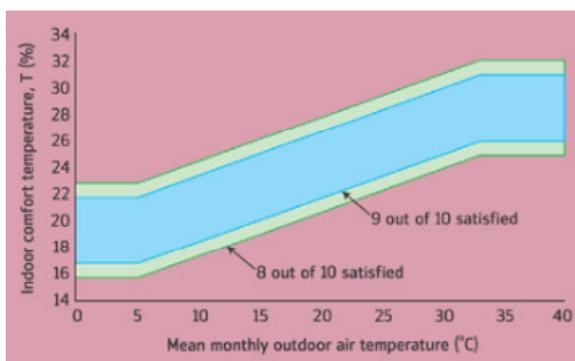


Figura 50 – Temperaturas consideradas de conforto no interior de edifícios ventilados naturalmente, de acordo com as temperaturas exteriores (ASHRAE, 2010).

Estas alterações na percepção do conforto térmico são propostas nas normas 55/2010 da ASHRAE (ASHRAE, 2010), e na CEN EN 15251 2007 (CEN, 2007), e são aplicáveis a edifícios com ventilação natural, que não seguem a norma ISO 7730:2005 baseada no modelo estático de Fanger (Standardization, International Organization for, 2005). Ao invés dos sistemas de climatização terem de seguir uma linha de temperatura estática para oferecerem o conforto aos ocupantes, existe uma gama de temperaturas consideradas dentro do intervalo de conforto, para 90% e 80% dos ocupantes como se pode ver na Figura 50 –. As

temperaturas consideradas de conforto por este método estão relacionadas com as temperaturas exteriores, evitando choques térmicos interior/exterior. O método do conforto térmico adaptativo é o método mais indicado para ser utilizado na análise ao sistema que se pretende desenvolver nesta dissertação, já que os edifícios que irão ser estudados não possuem sistemas de arrefecimento e a ventilação é natural, como na grande maioria do parque habitacional Português.

2.5.5. EPBD RECAST

O parlamento Europeu em junho de 2010 publicou uma diretiva, com o objetivo de estabelecer metas na redução do consumo energético dos edifícios nos estados membros da união europeia. No seu 1º artigo define a matéria que será regulada pela diretiva com a seguinte definição: *“This Directive promotes the improvement of the energy performance of buildings within the Union, taking into account outdoor climatic and local conditions, as well as indoor climate requirements and cost-effectiveness”* (2010), esta definição inclui pela primeira vez de uma forma destacada a problemática económica. Assim todos os estados membros além de respeitarem as metas propostas, deverão estudar quais as soluções, que com o mínimo de esforço económico, possam ter o maior impacto na eficiência energética no conforto e nas emissões de CO₂.

Outro ponto forte desta diretiva foi a definição de uma meta, em que em 2020 todos os novos edifícios deverão ser *“nearly zero-energy buildings”* edifícios de balanço energético quase nulo. Esta diretiva, pelas suas especificidades, terá um grande impacto na legislação nacional, e caso seja cumprida, será um grande avanço para a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

2.6. MATERIAIS

2.6.1. TIPO DE ENVOLVENTES TRANSPARENTES

Para desenvolver uma parede de armazenamento solar térmico, um dos elementos chave será a envolvente transparente, pois será este o elemento que irá filtrar a energia solar e ao mesmo tempo permitir o efeito de estufa. A seleção do elemento transparente deverá ter em conta diversos aspetos de enorme importância: a transparência, para permitir a entrada da radiação; o coeficiente térmico, para evitar a perda de energia durante o período noturno; a resistência, pois estará exposto aos elementos e eventualmente a pessoas; a durabilidade, pois deverá manter-se inalterado pelo maior período de tempo possível; e o preço, uma vez que todo este processo

depende da obtenção de custos equilibrados com o seu desempenho. Estes fatores e outros irão ser pesados de forma a selecionar o material mais indicado para este projeto.

2.6.1.1. Vidro

O vidro pelas suas características é um dos materiais mais utilizados na construção quando se pretendem superfícies transparentes. É um material amorfo, transparente geralmente obtido pelo arrefecimento de uma massa líquida à de base de sílica.

Em seguida apresenta-se uma seleção de tipos de vidro mais utilizados na construção civil, e que estão especialmente vocacionados para o atual projeto.

Float ou simples – É o tipo de vidro mais comum e que serve de base a todos os outros tipos de vidro. Podem ser montados simples, ou em estruturas de vidro duplo, ou triplo. Adquiriu este nome pelo facto de ser formado em flutuação sobre uma camada de estanho líquido, numa patente inglesa.

Vidro anti reflexo – O vidro anti reflexo não possui o mesmo grau de transparência do vidro *float*, é-lhe adicionada uma película invisível que atenua consideravelmente os reflexos de luz.

Vidro de auto limpeza – vidros a serem utilizados em locais de difícil acesso, e que dispensam a limpeza, pois são tratados com produtos que impedem a aderência de outras substâncias ao vidro.

Texturado – O vidro pode ser texturado para que a transmissão de luz seja difusa.

Aramado – vidros com introdução de rede metálica de malha quadrada que aumentam a resistência do composto, embora se perca uma boa parte da transmissão de radiação.

Vidro de baixa emissividade – Também conhecidos como vidros low-e, são vidro que apresentam uma metalização que permite diminuir drasticamente as perdas térmicas.

Vidro colorido – Este tipo de vidro pode ser utilizado por razões estéticas ou para filtrar determinados comprimentos de onda da radiação exterior.

Temperado – O vidro temperado é obtido pela passagem do vidro comum por um forno de têmpera vertical ou horizontal. Após o tratamento térmico a temperaturas da ordem dos 700 Cº, o vidro ganha uma maior resistência e em caso de quebra fragmenta-se em pequenos pedaços minimizando a possibilidade de ferir quem for atingido. Este tipo de vidro pode suportar diferenças de temperatura até 200º e torna-se mais resistente à flexão.

Laminado – Conjunto de duas ou mais chapas de vidro unidas por uma película plástica ou acrílica. Estes vidros são muito resistentes aos impactos e em caso de quebra os pedaços de vidro não se soltam mantendo-se colados à película plástica. Dependendo do tipo de película poderá o vidro obter novas características.

Vidros laminados de temperados – utilizados para fins estruturais, combinam as características resistentes de dois tipos de vidros de segurança.

Vidros laminados especiais – podem ser laminados vidros com texturas ou serigrafados, mantendo as partes serigrafadas ou texturadas protegidas no interior do vidro.

Vidro metalizado a vácuo - vidro refletivo

Vidro electrocrómico – Este tipo de vidro permite ser escurecido quando lhe é transmitida uma corrente elétrica, orientando os cristais num único sentido, pode ter diversas cores e impede a radiação solar de entrar

Vidro espelhado - Vidro do tipo float ou de outro tipo que recebe numa das suas faces um tratamento em forma de uma película metálica que reflete uma parte da radiação solar.

Vidro resistente ao fogo – vidro laminado com camadas de material químico que se expande quando atinge temperaturas de 120°C

Vidro serigrafado – Vidro com aplicação por serigrafia de uma camada de tinta, regra geral nas camadas interiores para a tinta não ficar exposta e poder ser danificada. Regra geral é utilizado para dar um aspeto diferenciador aos edifícios no entanto este tipo de solução pode ser interessante para criar barreiras á entrada da radiação.

Especificações dos vidros para seleção - Para poder tirar o máximo proveito das características de um vidro, este deve ser selecionado de uma forma criteriosa de acordo com as condicionantes e com os objetivos a atingir. Como se viu anteriormente existem inúmeras variedades de vidros com características que muito influenciam o seu desempenho.

Emissividade - é uma característica superficial dos corpos. Quanto mais baixa for, menor é a transferência de calor por radiação. A emissividade típica ϵ_n do vidro é de 0,89. Alguns vidros são cobertos com uma capa de baixa emissividade com uma ϵ_n que pode ser inferior a 0,04.

Coeficiente U - As transferências térmicas através duma superfície por convecção, condução e radiação, exprimem-se através do coeficiente U. Este representa o fluxo de calor que atravessa um m^2 da superfície para uma diferença de temperatura de 1 grau entre o interior e o exterior.

Quanto mais pequeno é o coeficiente U, mais reduzidas serão as perdas térmicas e melhor será o isolamento da superfície. Nos envidraçados esse valor irá depender das características técnicas do vidro e da qualidade da caixilharia. O coeficiente U é medido em W/m^2K (watts por metro quadrado kelvin).

Fator solar do vidro (g) - O fator solar g dum vidro é a relação entre a energia total que passa através desse vidro e a energia solar incidente. Esta energia total é o somatório da energia solar que entra por transmissão direta e a energia que o vidro confere ao ambiente interior devido ao seu aquecimento intrínseco por absorção energética.

Coeficiente de transmissão luminosa (TL) – Nos materiais opacos às radiações a soma da reflectância e da absorvância é unitária, ou seja, a energia que incide na superfície do corpo é reflectida ou absorvida. Em materiais transparentes ou parcialmente transparentes às radiações uma parte da energia é transmitida através do corpo. Define-se transmitância de um corpo como a fração de energia radiante, incidente num elemento da sua superfície, que por ele é transmitida. Neste contexto é possível formular que o somatório da reflectância, da absorvância e transmitância é igual à unidade. Em termos práticos os valores dos fatores de transmissão de luminosa (transmitância) podem oscilar entre os 5% (vidro duplo de cor azul) e os 90% (vidro simples

incolor). Em termos de reflexão luminosa os valores podem ir dos 5% (vidro simples incolor) até aos 60% por utilização de películas de proteção na superfície exterior do vidro.

O fator de transmissão luminosa deverá ser definido de acordo com a tipologia de espaço e com as características de iluminação que se pretendem para esse mesmo espaço (Ramalheira, 2005).

Índice de seletividade (IS) – relação entre a transmissão luminosa e o fator solar $IS = TL/g$

Propriedades de resistência mecânica – As paredes de trombe serão fisicamente muito solicitadas pelas diferenças de temperatura que irão acontecer entre os seus elementos, por outro lado deverá ser tido em conta a resistência contra impactos.

Grau de resistência à sujidade – uma parede de trombe pela dificuldade de acesso será mais difícil proceder á manutenção e limpeza, pelo que é fundamental que este problema seja estudado, eventualmente adotando sistemas de autolimpeza.

2.6.1.2. Policarbonato

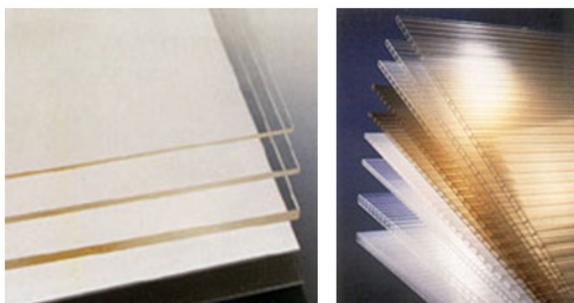


Figura 51 – Policarbonato compacto e alveolar (**Dagol**).

O policarbonato é um dos possíveis substitutos do vidro por ser transparente e ter algumas características diferenciadoras que lhe permitem ser a escolha acertada para aplicações exigentes. É muito resistente ao impacto, mantém uma boa estabilidade dimensional e tem propriedades de retardante ao fogo. Existe em diversos formatos, policarbonato compacto (placas transparentes rígidas apresentada no lado direito da figura 51), policarbonato alveolar (placas em favos que pode ser vista no lado direito da figura 51) e PETg. As placas de policarbonato compacto assemelham-se muito ao vidro mas como a rigidez é inferior é possível observar algumas deformações com o aumento da distância entre apoios. A transmissão de luz é ligeiramente inferior ao vidro embora essa limitação seja mais notória nos painéis de policarbonato alveolar, que apenas se pode considerar que sejam translúcidos. O tipo de construção dos painéis de policarbonato alveolar, como tem uma ou mais caixas-de-ar, permite que seja um material muito leve e com uma boa resistência térmica.

2.6.1.3. Acrílico

Tal como o policarbonato é um termoplástico transparente e incolor, também chamado vidro acrílico ou plexiglas. O Polimetil-metacrilato (PMMA) é reciclável de forma económica e tem cerca de metade da densidade do vidro (1150 a 1190 kg/m³), ainda assim tem uma resistência superior ao impacto. Risca com alguma facilidade o que pode ser colmatado com filmes anti risco. É uma solução mais económica do que o policarbonato quando não existe uma grande exigência de resistência. Inflama-se a 460C^o

Transmite cerca de 92% da luz visível e reflete cerca de 4% numa espessura de 3 mm, tal como o vidro filtra a luz ultravioleta em comprimentos de onda abaixo de 300nm. Permite a passagem de infravermelhos até 25000nm. É possível alterar algumas das suas características de forma a filtrar determinadas frequência de luz conforme o uso pretendido.

2.6.2. ISOLAMENTO TÉRMICO

Existem os mais diversos sistemas de isolamento térmico. Pretende-se fazer um breve sumário dos materiais mais comuns em Portugal e suas principais características e limitações. O isolamento térmico será uma das principais preocupações no desenvolvimento deste projeto pelo que é importante que esteja facilmente disponível a informação atualizada sobre o tema.

A tabela 11 indica os valores da condutibilidade térmica de diversos isolantes térmicos. Fonte - (Matias, 2006)

Tabela 11 – Valores de resistência térmica de isolamento térmicos comuns (Matias, 2006).

Material	Kg/m ³	W/ m.°C
EPS	<11	0,055
EPS	11-13	0,045
EPS	13-15	0,042
EPS	15-20	0,040
EPS	>20	0,037
XPS	25-40	0,037
ICB Aglomerado de Cortiça expandida	90-140	0,045
Aglomerado de cortiça natural	100-150	0,050
Aglomerado de cortiça natural	150-250	0,055
PUR e PIR em placas	20-50	0,040
PUR e PIR projetado	20-50	0,042
PUR e PIR em paramentos metálicos	35-50	0,037
MW Lã de rocha	20-35	0,045
MW Lã de rocha	35-100	0,040
MW Lã de rocha	100--180	0,042
MW Lã de vidro	8-15	0,045
MW Lã de vidro	15-100	0,040
PEF Espuma de polietileno expandido extrudido	20-50	0,050
Grânulos de argila vermiculite ou perlite expandida	<400	0,160
Grânulos leves ou fibras soltas	20-100	0,060
FEF Espuma elastomérica flexível	60-80	0,050

2.6.2.1. Eps

O poliestireno expandido é constituído por 95% de ar, o que lhe permite ser um material extremamente leve e termicamente isolante. É um produto industrial baseado no petróleo e que é fabricado por expansão provocada por vapor a pequenos chips de poliestireno. Os chips de poliestireno expandem cerca de 40 vezes o seu volume inicial pela expansão do gás contido no material, formando grandes blocos de material que depois são cortados nos formatos pretendidos (Dyplast products, 2010).

Contrariamente ao que habitualmente se diz, o EPS tem uma grande durabilidade se corretamente aplicado (LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996). Existem no entanto dois elementos que provocam a degradação do EPS, a radiação solar intensa e alguns solventes e colas.

Apesar de todas as vantagens deste material, identificou-se que a produção de espuma de poliuretano é o 5º maior responsável pela criação de resíduos perigosos nos Estados Unidos (EPA, 1986). A reciclagem deste material é possível mas regra geral implica uma descida na cadeia de valor. Tendo em conta que é regra geral mais barato que o XPS, é muitas vezes preferido a este. Para a correta escolha deste produto é necessário verificar que a sua densidade é superior a 20kg/m^3 , porque apenas a partir desta densidade passa a ter uma resistência térmica de $0,037\text{ W/m C}^\circ$.

2.6.2.2. Xps

O poliestireno extrudido é um material de isolamento térmico em tudo similar ao EPS embora o seu processo de manufatura seja diferente já que os cristais de poliestireno são adicionados a aditivos especiais e a um agente expansivo, em seguida alimentados por uma extrusadora que determina o tamanho final das peças.

Existem diversas apresentações deste material, específicas para o tipo de uso que se pretende fazer. As placas deste material tem um aditivo retardante ao fogo embora as placas sejam combustíveis se expostas a fogo intenso (euroclasse E). No entanto as placas de XPS não deverão ser sujeitas a temperaturas superiores a 75°C , valor a partir do qual haverá variação dimensional. As placas são muito resistentes à absorção de água, com capilaridade nula, não permitem o desenvolvimento de fungos e bolores. É um material que pode ser incompatível com colas e outros solventes, pelo que será sempre necessário selecionar materiais compatíveis com espuma de poliestireno. Estima-se que a sua durabilidade seja equivalente ao da vida útil do edifício e poderão ser reutilizadas. Podem ser armazenadas no exterior desde que protegidas da luz solar. Os valores de resistência térmica são superiores no XPS porque contrariamente ao EPS que usa ar no interior das células, usa gases mais eficazes, no entanto algumas fontes alegam que ao longo do tempo os gases presentes nas células de XPS irão sair resultando num menor desempenho (Dyplast products, 2010). Por outro lado alguns fabricantes alegam que as recentes medidas de proteção da camada de ozono, que restringiram o uso de CFC e HCFCs, obrigaram à alteração de processos de manufatura do XPS e fizeram diminuir a diferença de resistência térmica entre o XPS e o EPS.

2.6.2.3. Cortiça

A cortiça é um material abundante em Portugal, que é o maior produtor mundial, no entanto o custo do material continua a ser um dos fatores pelo qual este material não é utilizado em larga escala. Como material natural seria sempre uma solução interessante sob o ponto de vista ambiental, porque o seu desempenho é muito similar a outros produtos industriais, com a vantagem de ser bastante resistente à compressão e de não reagir com outros produtos químicos. A cortiça para isolamento é apresentada em placas, constituídas por aglutinação de granulado de cortiça sem recurso a aditivos e produtos químicos. É estável sob o ponto de vista dimensional, mesmo quando sujeito a variações térmicas, e a sua durabilidade é ilimitada.

A utilização deste material estimula a preservação do montado de sobro, indispensável para a manutenção da biodiversidade no sul da região do Alentejo (Jalali, 2010). Como desvantagens apresenta um custo elevado e um peso específico superior às outras soluções de isolamento térmico.

2.6.3. MATERIAIS PARA CAIXILHO

A seleção do material para a estrutura do sistema a desenvolver é fundamental pois o material deverá ter um compromisso ótimo entre custo, resistência e manutenção.

O alumínio como o segundo metal mais utilizado no planeta, seria a resposta do senso comum para o uso que se pretende dar, no entanto fez-se uma pequena pesquisa para confirmar essa suposição.

2.6.3.1. Alumínio

O alumínio é um metal leve, resistente e com grande resistência à corrosão, essas razões tem levado a que seja um material de eleição para as caixilharias dos edifícios. O aumento de produção deste material desde a metade do século passado tem vindo gradualmente a baixar o preço e a aumentar a penetração no mercado. A grande condutibilidade térmica do alumínio, obrigou a que se desenvolvessem soluções de caixilharias com corte térmico. Apesar de ser um metal que requer uma grande quantidade de energia para o materializar, tem como vantagem a possibilidade de ser reciclado. Em Portugal existem inúmeras empresas que perfilam o alumínio para a indústria da construção, o que permite, caso as quantidades o justifiquem, criar um perfil específico tal como aquele que se prevê neste trabalho.

2.6.3.2. Aço

O aço poderia ser uma outra opção para o caixilho deste projeto, no entanto o aço é significativamente mais pesado do que o alumínio, o que iria tornar o módulo muito mais pesado e colocar problemas na aplicação em paredes pré existentes. Por outro lado a aplicação no exterior obrigaria a utilização de aços especiais com uma forte componente de cromo para o tornar resistente à corrosão, ou prever pinturas periódicas. O que seria inviável num cenário em que se pretende baixos custos de manutenção.

2.6.3.3. PVC

As caixilharias de PVC tem um bom comportamento em isolamento térmico, já que o material tem uma menor transmissão térmica que o alumínio. O PVC tem um preço inferior ao alumínio e cumpre com todos os preceitos necessários ao tipo de utilização pretendida, como resistências às intempéries, resistência aos raios UV e estabilidade dimensional. Como ponto negativo é um material que ainda não é produzido em Portugal, pelo que existem apenas importadores e aplicadores.

Para a solução que se pretende desenvolver o PVC tem como inconveniente a necessidade de ser estruturado por peças de aço galvanizado e como tal um maior cuidado na preparação de cada módulo prejudicando a modularidade e a facilidade de montagem. No entanto com o desenvolvimento desta técnica poderá vir a ser um material interessante, para este sistema.

2.6.4. MATERIAIS PARA O COLETOR

O coletor será o elemento que mais radiação irá receber, deverá ser feito de um material que absorva o máximo do espectro de radiação possível e reflita o mínimo possível de energia para o exterior. É do conhecimento comum que os metais são bons condutores de energia térmica e pelo estudo já descrito no início deste capítulo sabemos que as cores escuras são as mais que mais radiação retém. O material para o coletor deverá ser leve para não criar desequilíbrios na fachada do edifício. Como o coletor não estará exposto aos elementos poderá ter uma proteção à corrosão inferior ao involucro do sistema. Dentro desta linha de pensamento dois materiais perfilam-se, o aço e o alumínio. O alumínio apesar de ser mais leve e melhor condutor de energia térmica é um material mais caro. O aço por outro lado pode ter um tratamento anticorrosão e é um material muito comum e barato. Para maximizar a área de contacto com o ar, e melhorar a sua resistência mecânica o coletor deve ser ondulado ou quinado.

2.7. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A investigação do estado da arte foi direcionada em diversos sentidos de forma a abordar um leque de conhecimentos suficientemente largo, que permitisse refletir a tecnologia de fachadas existente. Inúmeras soluções foram estudadas (algumas incluídas neste relatório) e conclui-se que não existem soluções universais. Existem soluções que se direcionam para a realidade cultural e económica de cada país onde são implementadas. A maior parte das soluções estudadas foi apenas desenvolvida de uma forma experimental nunca tendo alcançado uma aplicação maciça. As razões que levaram à falta de implementação real desta tecnologia prendem-se essencialmente com a falta de standardização de uma eventual solução, mantendo a aplicação de desenhos e soluções muito artesanais. As soluções apresentadas, regra geral, foram desenvolvidas especificamente para um edifício em questão, não tendo existido uma preocupação de aplicação em economia de escala.

O levantamento do estado da arte executado permitiu já identificar o objeto de estudo e os pontos essenciais que terão de ser desenvolvidos ao longo do processo de design/dimensionamento. Esta pesquisa exaustiva deu a conhecer quais os edifícios que necessitam de intervenção, identificando um possível mercado alvo, melhorou o conhecimento pelas técnicas de reabilitação energética existentes, deu a conhecer técnicas e sistemas de aproveitamento solar e respetivas especificidades, permitiu um estudo mais aprofundado dos

materiais de construção existentes nos edifícios e os passíveis de serem utilizados na solução a desenvolver.

Este raciocínio abre portas ao desenvolvimento de uma solução alternativa que reúna o que de melhor têm as diversas soluções, e adaptada à realidade portuguesa onde os custos serão uma das preocupações principais. Confirmou-se a existência de uma enorme lacuna ao nível do conforto nos edifícios existentes, e um enorme potencial de aproveitamento solar completamente desperdiçado.

Depois deste estudo e confirmados os pressupostos iniciais, é reforçado o interesse em desenvolver uma solução alternativa de aproveitamento solar térmico para climatização, que:

- possa ser adicionada aos edifícios existentes, no nicho identificado no estado da arte;
- deverá ser compatível com o máximo possível de edifícios e revestimentos;
- deverá minimizar outras patologias que os edifícios possam já apresentar;
- deverá ser uma valorização do edifício onde seja instalada;
- deverá ser uma mais valia para a certificação energética do edifício;
- deverá funcionar independentemente da intervenção do utente, ou com um interface minimalista e intuitivo;
- deverá ter um custo baixo e uma rápida amortização;
- deverá respeitar o património construído e não ser um elemento perturbador da paisagem urbana;

3.1. ENQUADRAMENTO

Este capítulo revestiu-se da maior importância pois o trabalho de o esboçar permitiu encontrar o fio condutor que guiou parte do processo criativo. Definir a correta sequência de ações, dentro de uma visão de conjunto é por vezes uma tarefa difícil dada a dispersão dos dados necessários. As inúmeras áreas de conhecimento que é necessário tocar para obter informações fidedignas obriga a uma pesquisa muito sistemática mas simultaneamente focada nos objetivos concretos da dissertação em causa. É por isso fundamental criar uma correta linha metodológica que estruture a sequência de ações necessárias para se chegar a um bom resultado final.

3.2. METODOLOGIA

O trabalho de levantamento de estado da arte foi um processo muito relevante já que permitiu identificar dentro do âmbito de pesquisa quais os sistemas existentes e em comercialização. Permitiu igualmente identificar quais os edifícios que necessitavam de intervenção, seu número e características construtivas.

Esse processo de estudo conduziu à conceptualização genérica do sistema, de acordo com os pressupostos identificados.

Tornou-se evidente que para evitar a morte de pessoas por patologias relacionadas com o frio, era necessário melhorar o conforto das habitações durante a estação de inverno, de uma forma económica e se possível sem recorrer a fontes de energia fóssil. As soluções atuais de isolamento térmico pelo exterior permitem melhorar o desempenho térmico, mas são soluções passivas, que não permitem o aporte de energia térmica.

Iniciou-se a conceptualização de um “acessório” ao sistema ETICs que pudesse colmatar essa falha. Foi perceptível neste momento que a solução passaria pela envolvente vertical do edifício, porque são as superfícies comuns às frações dos edifícios e que recebem uma quantidade significativa de radiação solar.

Os primeiros esboços do projeto começam a surgir em papel e sugerem a construção de uma caixa negra colada nas fachadas. A versatilidade do desenho manual foi complementado pelo rigor do desenho informático em software como o Autodesk Autocad (Autodesk inc.) e Google Sketchup (google inc.). Esses esboços são digitalizados para o computador, onde se estabelecem as relações de proporção e as medidas rigorosas.

Após a impressão dos desenhos foi reiniciado o processo de desenho manual que afinou os pormenores e permitiu uma atitude crítica sobre o desenho rigoroso.

O processo de desenho do objeto foi sendo complementado por alguns momentos de pesquisa que visavam tirar dúvidas muito específicas e que só surgem após o problema surgir no estirador.

Este é um processo lento, obrigatório para a maturação das ideias e uma constante atitude crítica com o objetivo de melhorar a solução.

Pequenos detalhes são simplificados, novos materiais são selecionados, num processo de melhoria contínua, que além das questões técnicas tem também a preocupação de que o objeto resultante tenha uma imagem cuidada.

O processo de design incluiu uma outra vertente muito importante, que foi a rigorosa medição dos custos. Essa vertente influenciou de uma forma significativa a definição da solução pois foi uma das premissas iniciais, o controlo de custo do objeto.

Para alimentar o fluxo de dados necessário para o desenvolvimento do projeto, outras ferramentas informáticas como o Designbuilder (Design builder software Ltd) e o Energy-plus (U.S. Department of Energy) foram utilizados para o pré dimensionamento a nível térmico.

O pré dimensionamento permitiu ter uma ideia da eventual eficiência do sistema, mas ainda deverão ser feitos ensaios onde se possa avaliar com rigor a capacidade de captação de energia que o sistema permite. A duração deste trabalho de dissertação não permitiu a execução desses ensaios pelo que será deixado para uma fase posterior.

Foram também estudadas as formas de combinar as diversas peças, de forma a conformar o sistema proposto e sua respetiva aplicação em obra. Esse processo foi acompanhado pela construção de um protótipo à escala real, que serviu para testar a compatibilidade construtiva dos elementos. A arquitetura do sistema foi estabelecida e foi possível observar o aspeto visual do sistema em estudo, e imaginar mais concretamente o efeito da aplicação do objeto na parede de um edifício.

Neste processo foram convocados fornecedores de diversos materiais de construção para reuniões de trabalho que permitiram confirmar a possibilidade de adaptação dos seus produtos ao fim que se previa utilizá-los, e quais as garantias de bom desempenho.

Dessas reuniões foi possível indagar da viabilidade da extrusão de um perfil de alumínio próprio, a rigidez necessária para manter a coesão entre os elementos, e de muitos outros pormenores que agora completam o sistema.

Dado o interesse pelo tema, algumas reuniões com empresas das áreas visadas foram adiadas para fases posteriores em que mais dados estejam disponíveis para avaliar a eventual exploração comercial do projeto. Em reuniões tidas com a TecMinho, abordou-se a questão dos direitos autorais e da necessidade de serem feitos acordos de confidencialidade prévios, a determinados contactos, dada a natureza ainda experimental do sistema.

Após o desenvolvimento de todo este longo e multifacetado processo foram extrapoladas as conclusões, que constam do relatório final da dissertação.

CAPÍTULO 4. SISTEMA DE APROVEITAMENTO SOLAR PROPOSTO

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo mostra parte do processo percorrido até se apresentar a solução final. O processo não decorreu de uma forma linear, foram necessários retrocessos para permitir a evolução no sentido pretendido. O leque de opções possíveis é tão largo que é fácil a dispersão do objetivo inicial, nesse sentido foi necessário fortalecer os conceitos identificados no início do processo.

Pesar as diversas opções de uma forma ponderada e de acordo com os objetivos definidos tornou-se um desafio que se alongou no tempo e abriu a possibilidade de desenvolver alternativas ainda não exploradas. Essa atribuição de valor às diversas componentes teve de ser racionalizada posicionando o investigador nas mais diversas posições, como técnico de térmica, como arquiteto, como urbanista, mas fundamentalmente como utilizador. Esse constante reposicionamento é um exercício difícil mas necessário para obter os necessários compromissos entre a técnica o design, a economia e a funcionalidade.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

O sistema que se propõe neste trabalho, baseia-se nos tradicionais sistemas de parede de trombe/estufas, no sentido em que tem como objetivo capturar o máximo de radiação solar para aquecimento de um espaço interior. A grande diferença relativamente a esses métodos é a inexistência de um elemento de grande massa térmica para acumular a energia capturada. O conceito subjacente ao sistema é o aquecimento do ar interior, fazendo-o circular no interior do edifício para aquecer os elementos construtivos do seu interior, tirando partido da forte inércia térmica conhecida nos edifícios do sul da Europa. Esta opção justifica-se pela impossibilidade de adicionar elementos com grande densidade e como tal, demasiado pesados para serem adicionados à fachada de um edifício pré-existente, em que se desconhece a capacidade resistente dos elementos instalados. Também foi equacionada a possibilidade de utilizar um fluido com maior densidade e como tal melhor capacidade de retenção de energia, mas as técnicas necessárias para garantir a estanquicidade de tal sistema fariam ultrapassar o custo baixo que se pretende atingir. Assim a solução proposta é a que se descreve seguidamente.

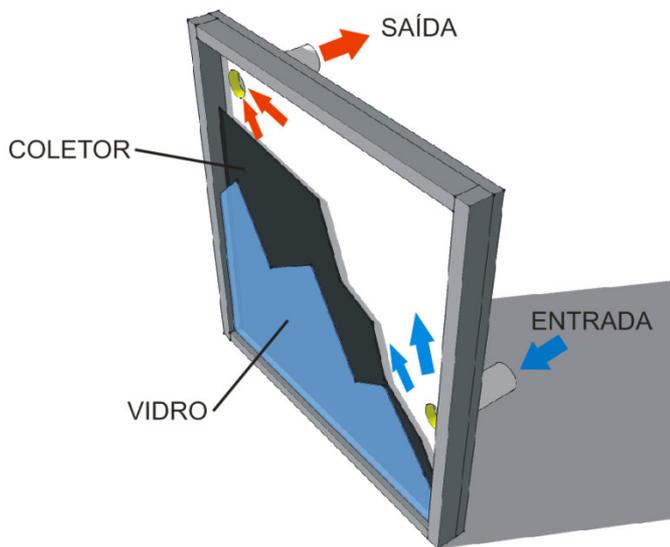


Figura 52 - Esquema em perspectiva do funcionamento do sistema.

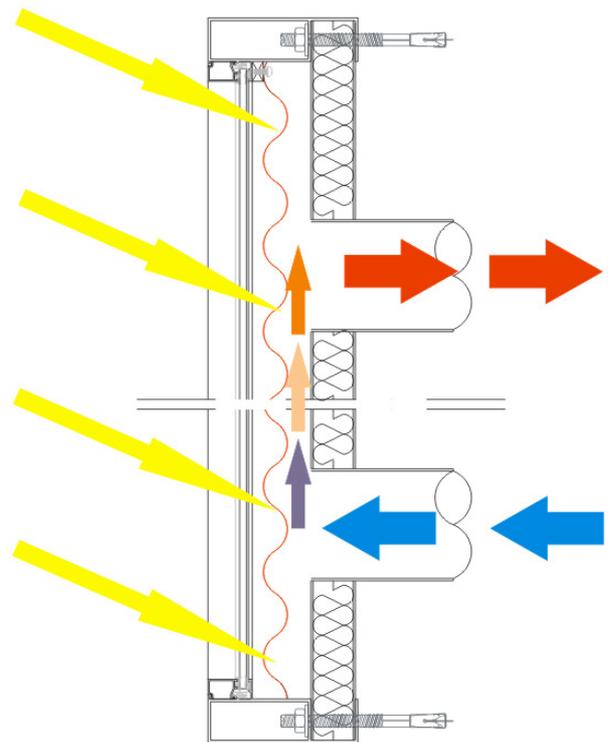


Figura 53 – Esquema em corte do funcionamento do sistema.

As figuras 52 e 53 exemplificam o princípio de funcionamento do sistema que foi desenvolvido. A radiação solar aquece o coletor e o ar presente na estufa primária, desenvolvendo um efeito de estufa no espaço entre a chapa metálica ondulada e o vidro. A chapa metálica pintada de uma cor escura aquece por via da radiação direta e por contacto com o ar aquecido na estufa primária. Dada a alta condutividade térmica da chapa metálica o ar que circula na parte posterior da chapa é aquecido provocando um efeito de convecção ascendente provocado pela diferença de pressão do ar frio/aquecido. O ar do interior do edifício é aspirado a um nível inferior para o interior do sistema e insuflado a uma temperatura superior pela conduta situada acima, este movimento poderá ser potenciado com a instalação de um ventilador elétrico com obturador com um controlo de temperatura. A localização da grelha de aspiração deve ser colocada cerca de 10 cm acima do pavimento para recolher o ar mais frio mas simultaneamente evitar a aspiração de outras partículas. A grelha de insuflação deverá ficar situada cerca de 10 cm abaixo da soleira da janela e simultaneamente no extremo oposto a nível horizontal da grelha de aspiração para aumentar a área de transferência de energia que o ar do interior do edifício terá de percorrer. Essa geometria pode ser visualizada na figura 54.

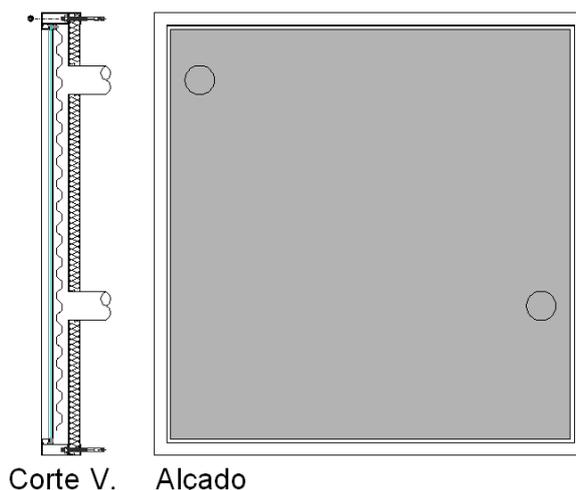


Figura 54 - Localização das grelhas de ventilação relativamente à geometria do caixilho.

O ar aquecido irá entrar em contacto com os elementos construtivos do edifício independentemente da sua cor ou formato e irá transferir parte da sua energia térmica para esses mesmos elementos.

O ar proveniente do interior do edifício não entra em contacto com o vidro do coletor pois poderá vir contaminado com partículas de pó que se iriam alojar na parte interior do vidro e ao longo do tempo prejudicar a eficiência de captação do sistema. Este ponto é fundamental ter em conta pois a parte interior do vidro não está acessível sem desmontar toda a estrutura e no caso de um edifício com desenvolvimento vertical não seria economicamente viável montar sistemas de elevação para proceder a esse tipo de manutenção.

A parte de trás do sistema é constituída por um painel de isolamento térmico de 40 mm que irá evitar a existência de uma ponte térmica. Foi selecionado o isolamento em poliuretano de 40 mm encapsulado em metal para satisfazer as regras da legislação em vigor, embora possa ser substituído por espessura superior caso necessário.

4.3. DESIGN

O desenho e a imagem do objeto que se pretende desenvolver é um dos aspetos mais importantes a ter em conta, pois esse será também um fator decisivo para a aquisição por parte dos consumidores.

O sistema será montado na parte mais visível dos edifícios, a fachada, como tal deverá ser construído com materiais de boa qualidade que lhe permitam um excelente desempenho, manutenção mínima e grande durabilidade. Apesar do sistema ser pensado como uma solução pré fabricada, não quer dizer que seja uma solução de repetição modular. Deverá ser possível alterar as dimensões dos coletores solares para que se adaptem às dimensões arquitetónicas de cada edifício. Esse trabalho de ajustamento dimensional terá um custo superior por unidade mas que será minimizado pela escala dos projetos e pelas mais-valias a nível do aumento do valor imobiliário do edifício, valorizado por um melhor desempenho e por uma imagem da fachada renovada.

O sistema foi pensado para funcionar em paralelo com uma solução de isolamento térmico pelo exterior, a nível de desempenho térmico e resolução de patologias, associam-se os efeitos

positivos já demonstrados do isolamento térmico pelo exterior combinado com uma melhorada capacidade de captação de energia solar. Assim está garantida uma melhoria considerável no nível de conforto do edifício, após a intervenção.

Sob o ponto de vista da imagem, o edifício seria estudado sob o ponto de vista arquitetónico de forma a integrar os novos elementos em harmonia com o existente. O melhoramento da sua imagem, e a maior perceção de valor por parte dos proprietários terá como consequência o aumento do tempo de vida do mesmo. O que será uma vantagem sob o ponto de vista económico mas principalmente sob o ponto de vista ambiental, no sentido em que irá minimizar o consumo de energia incorporada na demolição/construção de novas edificações.

Estas múltiplas vantagens permitirão ao sistema um aumento da sua penetração no mercado e dessa forma beneficiar o edificado existente, tanto nos seus aspetos funcionais como na melhoria da paisagem urbana.

Na figura 55 apresenta-se uma imagem 3d, esquemática, do sistema proposto, que permite perceber a relação de escala entre os elementos componentes.

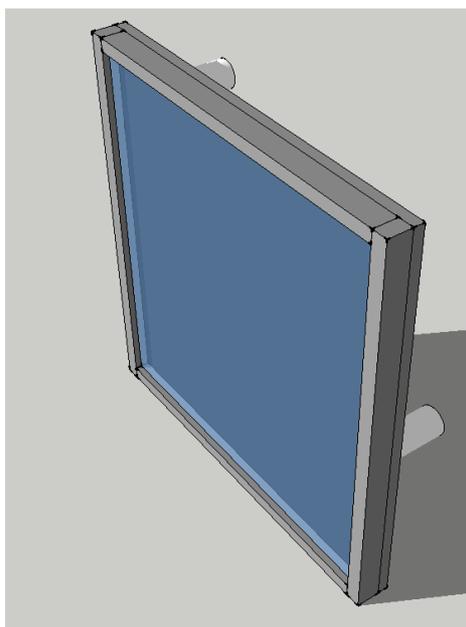


Figura 55 - Imagem 3D do sistema proposto.

4.3.1. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Neste ponto será apresentado sumariamente o processo de desenvolvimento realizado no decurso da investigação.

O início da investigação passou por um estudo da dimensão dos vãos existentes e sua relação com a restante organização da fachada em edifícios já construídos em Portugal.

A necessidade de perfurar paredes de uma construção faz com que seja necessária a prévia verificação da inexistência de infraestruturas ou elementos estruturais. Estudada a fisionomia das construções existentes chegou-se à conclusão de que o local mais indicado para aplicar algum sistema de captação solar composto por vidro, seria na parte inferior das janelas existentes. A

parte inferior dos vãos envidraçados é a melhor opção, pois na grande maioria dos casos, não contem nenhum elemento estrutural e é também um local por onde não é comum passarem outras infraestruturas.

Por outro lado a ideia de colocar quadrados pretos na fachada de um edifício, de uma forma desenquadrada da arquitetura original é o pesadelo de qualquer urbanista com preocupações ao nível da paisagem urbana. Se esses mesmos elementos puderem ser integrados em continuidade com os elementos envidraçados já existentes, passa a existir uma imagem de sequência formal mais integrada.



Figura 56 - Esquema exemplificativo das diversas possibilidades de integração arquitetónica, na imagem à esquerda o edifício original, na imagem ao centro a aplicação irregular de uma solução não dimensionada, na imagem à direita a aplicação de uma solução dimensionada ao edifício e aplicada respeitando a métrica pré-existente.

Na figura 56, apresenta-se à esquerda o desenho original de uma edificação. No segundo desenho foram aplicados quadrados envidraçados de 1x1 metro na sua fachada, de uma forma regular mas fora do alinhamento dos vãos existentes. Na terceira solução, a que se preconiza, os módulos solares foram dimensionados e alinhados com as aberturas já existentes na construção.

Esta solução permite dar uma nova imagem ao edifício, mantendo no entanto alguma coerência formal no desenho da fachada.

O custo de uma solução personalizada é sempre superior ao custo de uma solução repetida em série, no entanto, como o mercado alvo são os edifícios multifamiliares, é sempre possível beneficiar de uma economia de escala. Chegou-se então à conclusão, de que não seria racional propor uma medida única, já que a implementação de tal solução iria desfigurar os edifícios na sua componente mais visível o que faria provavelmente o seu valor imobiliário baixar, contrariando o interesse dos proprietários.

Após uma decisão cada vez mais refletida em aplicar o coletor solar na parte inferior dos vãos, ainda se desconhecia como seriam fixos os diversos componentes, que se supunha ser necessários para configurar o objetivo proposto.

Representava-se um retângulo, possivelmente de alumínio que seria o caixilho exterior do conjunto. Esse seria um dos elementos mais importantes, pois teria de ser suficientemente resistente para manter a integridade estrutural da peça e simultaneamente pequeno para não minimizar a área de captação solar. Por outro lado é fundamental garantir que o sistema proposto

não agrave problemas já existentes na construção como por exemplo infiltrações. As perfurações teriam que garantir a estanquicidade, assim optou-se por fazer a furação de fixação na parte interior do perfil de alumínio. A relação do sistema com as soleiras existentes também foi estudada pois esse será sempre um ponto frágil, já que as partes laterais do painel ficarão em contacto com o sistema ETICs e a possibilidade de infiltração é inferior.

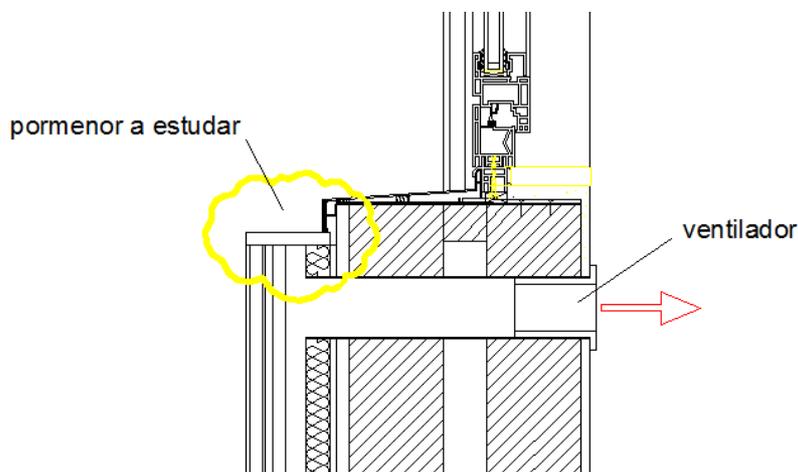


Figura 57 – Primeiros desenhos relativos à fixação do painel à parede existente.

Na figura 57 exemplifica-se o risco de infiltração por via da aplicação do captador solar sob a pingadeira de uma soleira metálica.

Na pesquisa de mercado foram identificados os materiais existentes mais apropriados para esta solução:

- Para a parte posterior do painel foi selecionado um painel sandwich plano de 40 mm de espessura. Este painel tem como vantagem o facto de ter rigidez estrutural e isolamento térmico, já que é constituído por duas chapas galvanizadas e lacadas de 0.5 mm e 40 mm de poliuretano expandido. O papel que irá desempenhar no conjunto será a garantia do isolamento térmico mínimo na área do coletor, permitindo estar de acordo com a legislação em vigor. Como mais valia será também a garantia de um bom funcionamento estrutural do painel, uma vez que ficará aparafusado ao caixilho, fazendo a coesão e manutenção da geometria. O facto de não estar exposto aos elementos e sua estrutura metálica estar protegida por uma galvanização e lacagem são garantia da sua manutenção sem corrosão. O preço baixo deste conjunto é outro dos elementos que o torna interessante para este conjunto;
- Para o elemento coletor, selecionou-se um painel de chapa ondulada galvanizada e lacado a cor escura. O facto do elemento coletor ser metálico, é explicado pela necessidade de ser suficientemente resistente a variações de temperatura e ter um coeficiente elevado de transmissão térmica. O facto de ser ondulado deve-se à necessidade de aumentar a área de permuta para com o ar existente na caixa-de-ar. Este elemento tem também um custo muito baixo;
- Para o caixilho exterior selecionaram-se perfis de alumínio pela sua resistência aos elementos. Para a estrutura geral foi escolhido um perfil simples retangular 150x60 de alumínio da Extrusal. A fixação do vidro é garantida por um caixilho para vidro simples da Extrusal Ref. – A.006.013 e respetivo tafe Ref – A.001.031;

- Para os elementos sombreadores, selecionou-se um perfil “asa de avião” da Extrusal F.016.007 (de 12 cm) devidamente suportado por um sistema de suportes orientáveis tipo Extrusal G.021.400.

Da identificação dos materiais existentes no mercado resultou a construção de um protótipo, que serviu para identificar mais fragilidades do sistema.

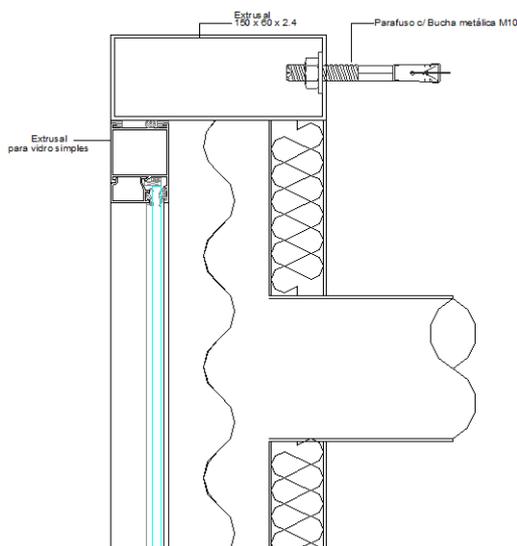


Figura 58 – Adaptação do desenho original aos materiais existentes no mercado.

A figura 58 mostra a configuração do sistema durante uma das fases de desenvolvimento. Este esquema mostra que com os materiais atualmente existentes no mercado é possível construir um modelo funcional. No entanto mesmo apenas a nível de desenho é possível detetar já algumas fragilidades como por exemplo:

- A dificuldade em fixar o painel sandwich dentro do caixilho de alumínio;
- A existência de uma ponte térmica em todo o desenvolvimento do caixilho de alumínio;
- O caixilho de alumínio de fixação do vidro tem uma expressão demasiado grande retirando captação solar.

Esta análise posterior permitiu o desenvolvimento da solução que se apresenta na figura 59.

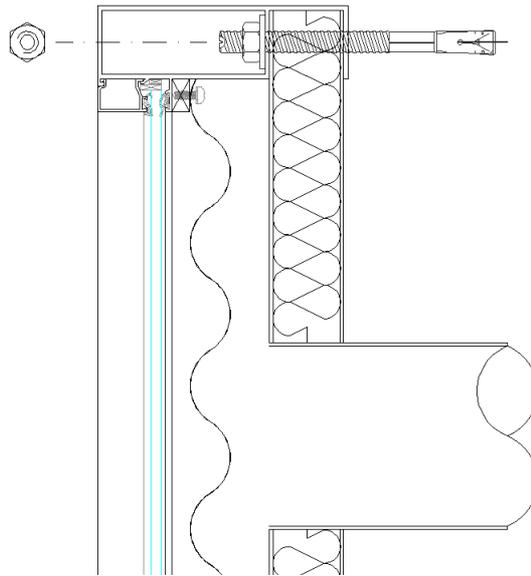


Figura 59 - Solução melhorada com um perfil de alumínio personalizado.

A solução encontrada passa pelo desenvolvimento de um perfil de alumínio que utilizando os mesmo elementos construtivos:

- Mantem coesa toda a estrutura do conjunto, por via de encaixes e ligações aparafusadas entre o painel sandwich e o caixilho;
- Maximiza a área de captação solar, uma vez que minimiza a área de caixilho;
- Evita a ponte térmica no local de fixação com a parede porque integra o painel de isolamento.

Este perfil de alumínio poderia ser produzido em série caso se considerasse que existia viabilidade económica para tal. A combinação das peças de todo o conjunto poderia ser feita de uma forma simples como se pode verificar na figura 60.

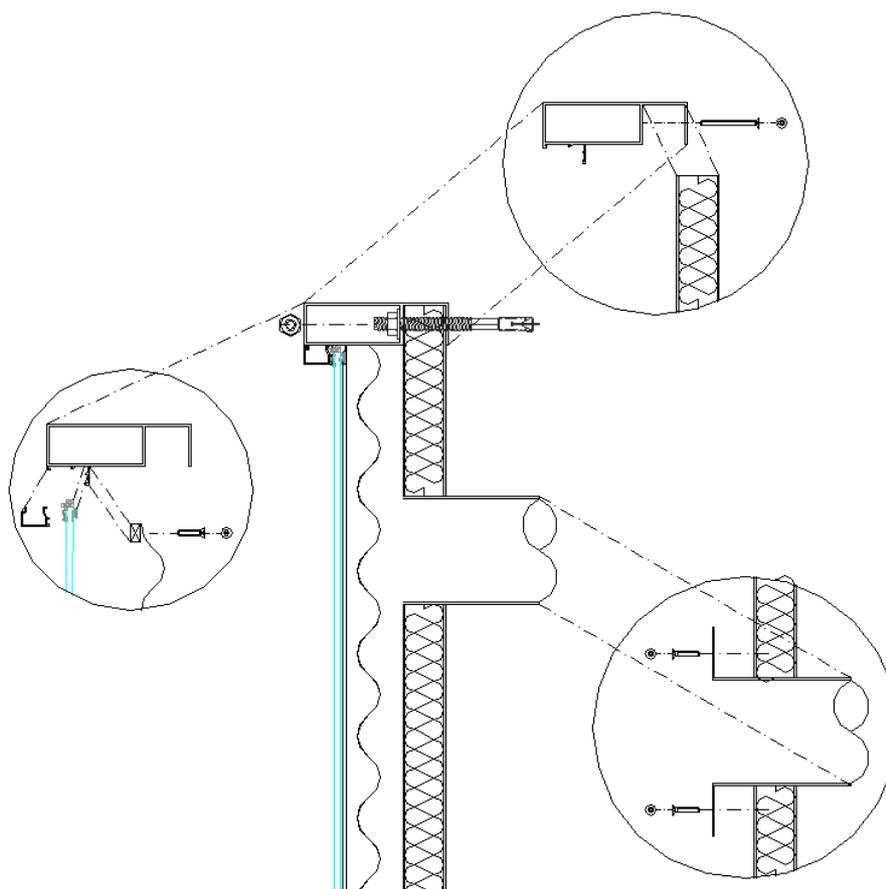


Figura 60 – Esquema de combinação das diferentes peças do sistema recorrendo ao perfil de alumínio desenvolvido especialmente para este projeto.

A figura 60 e a descrição seguinte explicam o processo de combinação necessário para configurar o sistema proposto.

Processo de montagem:

- Fase 1 – O perfil de alumínio é cortado a 45º na medida necessária e aparafusado em esquadria, deixando apenas uma das 4 laterais por fixar;
- Fase 2 - É aplicado o bit que irá suportar a chapa ondulada;
- Fase 3 – É colocada e aparafusada ao bit a chapa ondulada;
- Fase 4 – As bocas de ventilação são aparafusadas ao painel sandwich já cortado à medida;
- Fase 5 – O painel sandwich já com as bocas de ventilação corre ao longo do perfil e é aparafusado nos pontos de contacto;
- Fase 6 – É aplicada a ultima parte do perfil;
- Fase 7 – É colocado o vidro e respetivo bit de alumínio.

4.3.2. DESENHO FINAL

Após todo o processo de desenvolvimento foi possível chegar a uma forma final. Tendo em conta as medidas médias das janelas dos edifícios, o modelo final deverá ter aproximadamente 1,5 m de largura por 1,7 m de altura. A espessura é fixa, 0,135 m. Os tubos de ventilação terão o

comprimento necessário, para se adaptarem à espessura da parede do edifício. A figura 61 apresenta o desenho técnico final do sistema.

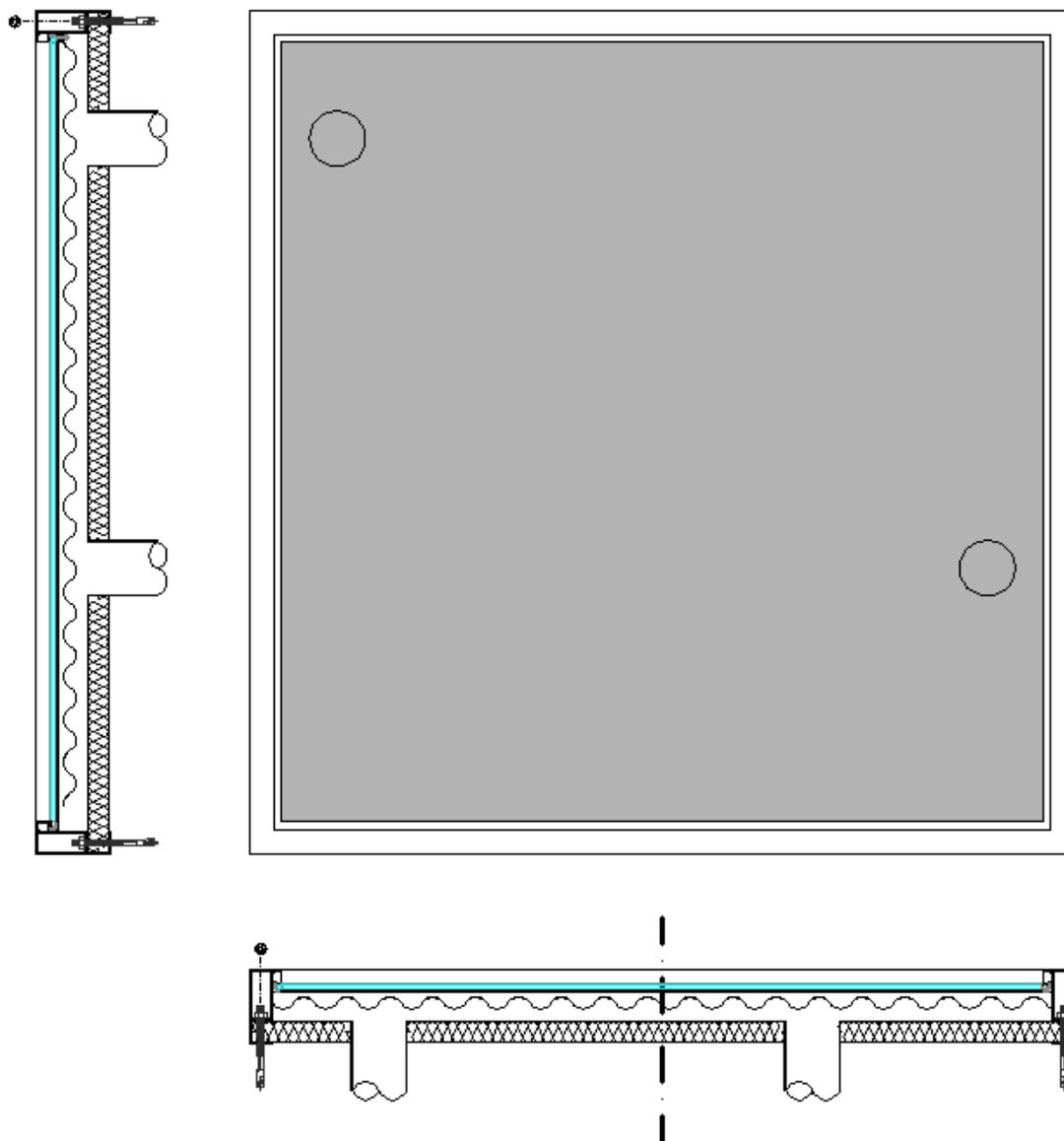


Figura 61 - Desenho final do sistema.

4.3.3. COMPONENTES

Desde o início deste processo ficou claro que o bom resultado deste sistema estaria intimamente ligado a uma forte componente de prefabricação e à seleção de materiais polivalentes de preferência já desenvolvidos e testados. A pesquisa procurou criar apenas o que ainda faltava para se poder montar uma estrutura com custos muito controlados. Desse trabalho de pesquisa resultou que apenas o perfil de alumínio de caixilho tenha de ser desenvolvido especificamente para esta solução. Todos os restantes materiais são facilmente adquiridos em qualquer fornecedor de materiais de construção. Em seguida ir-se-á caracterizar cada um dos componentes selecionados:

- Para o elemento transparente selecionou-se o vidro laminado. Este material garante uma grande durabilidade sem nenhuma intervenção. Selecionou-se vidro laminado porque deve garantir a resistência aos elementos ou a pequenas solicitações mecânicas. Este material não corre o risco de perder algumas das suas características ao longo do tempo. A espessura base será 6mm mas poderá variar consoante a dimensão do caixilho;
- Como elemento coletor, selecionou-se um painel de chapa ondulada galvanizada e lacada numa cor escura (ver figura 62). O facto do elemento coletor ser metálico é explicado pela necessidade de ser suficientemente resistente a variações de temperatura e ter um coeficiente elevado de transmissão térmica. O facto de ser ondulado deve-se à necessidade de aumentar a área de permuta com o ar existente na caixa-de-ar. Apesar de, sob o ponto de vista visual, uma chapa lisa ser mais apelativa, a chapa ondulada tem uma resistência superior. Este elemento tem também um custo muito baixo;



Figura 62 - Perfil de chapa de ferro zincado e lacada.

- Para a parte posterior do sistema foi selecionado um painel sandwich plano de 40 mm de espessura. Este painel tem como vantagem o facto de ter rigidez estrutural e isolamento térmico, já que é constituído por duas chapas galvanizadas e lacadas de 0.5 mm e 40 mm de poliuretano expandido. O papel que irá desempenhar no conjunto será a garantia do isolamento térmico mínimo na área do coletor, permitindo estar de acordo com a legislação em vigor. Como mais valia será também a garantia de um bom funcionamento estrutural do painel, uma vez que ficará aparafusado ao caixilho, garantindo a coesão e manutenção da geometria. O facto de não estar exposto aos elementos e ao facto da sua estrutura metálica estar protegida por uma galvanização e lacagem são garantia da sua manutenção sem corrosão. O preço baixo deste conjunto é outro dos elementos que o torna interessante para este conjunto;
- Para o caixilho exterior optou-se pela utilização do alumínio, material que garante um bom funcionamento ao longo do tempo por via de ser resistente à corrosão.

4.3.4. VARIANTES

À medida que se estudavam alternativas ao desenho, chegou-se à conclusão de que deveriam ser criadas diversas variantes que flexibilizassem a utilização do conceito base. No estado da arte verificou-se que a grande maioria dos edifícios existentes eram implantados sem preocupações ao nível da sua orientação solar. Assim, torna-se evidente que para incluir esses edifícios no lote de edifícios suscetíveis de beneficiar deste sistema teriam de se criar soluções alternativas. Ainda que baseadas no mesmo princípio e seguindo a mesma base estrutural, as alternativas devem poder ser utilizadas em diferentes circunstâncias. Dentro de um sistema comercial poderiam também ser

alternativas com preços de venda diferentes. A figura 63 mostra o desenho de cada uma das alternativas.

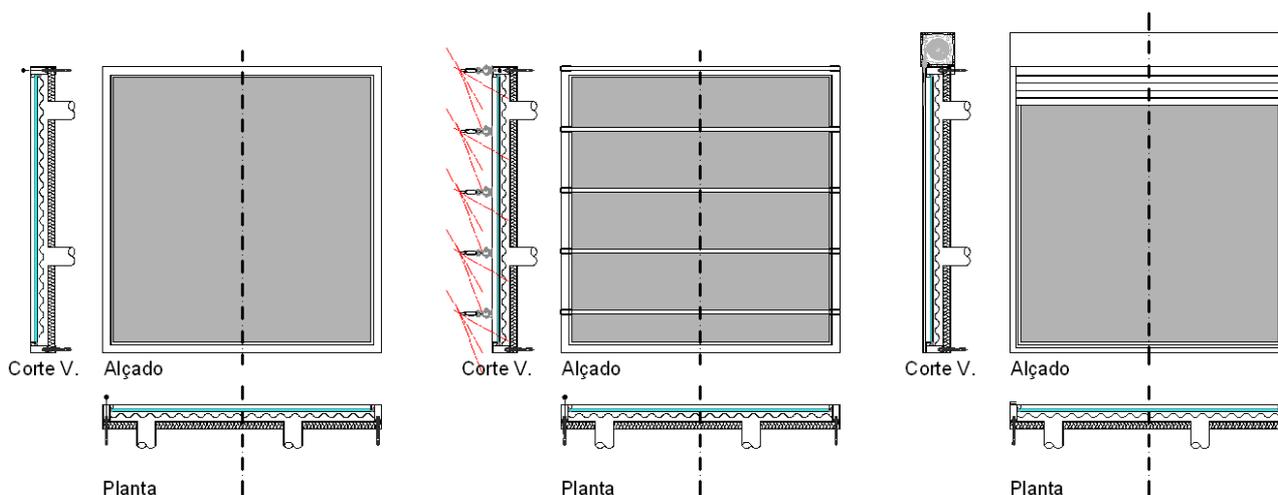


Figura 63 - As três variantes possíveis com o mesmo sistema.

Na figura 63 O esquema do lado esquerdo refere-se à versão base; esta versão pode ser utilizada em edifícios com orientação preferencial a sul e com sombreamentos já existentes. Pode também ser utilizada noutras situações em que se preveja um sombreamento de verão com materiais específicos para uma melhor integração no edifício existente, deixando alguma liberdade ao arquiteto para melhor integrar este elemento no edifício. Esta solução é a que dá origem a todas as variantes que se apresentam seguidamente.

4.3.4.1. 1º Variante

Esta variante tem um elemento adicional; Um sombreador, tipo asa de avião, em alumínio que se encontra aplicado ao longo da área envidraçada com espaçamentos regulares estudados para a latitude média em Portugal.

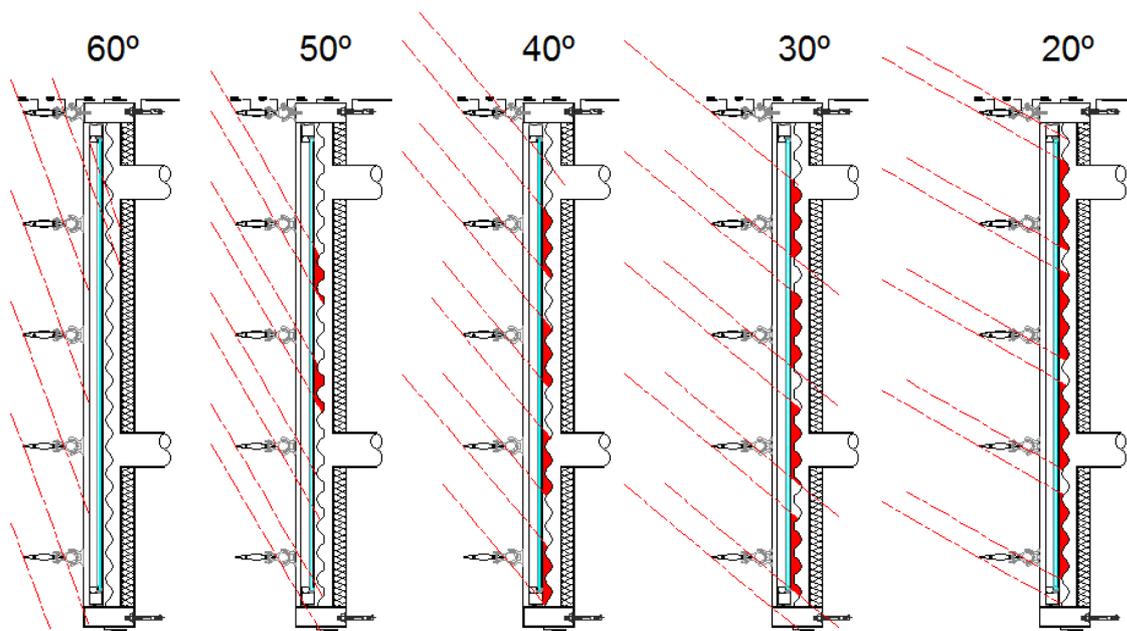


Figura 64 - Funcionamento da variante com sombreamento simples.

Na figura 64 mostra-se a capacidade que esta variante ao sistema tem de se auto sombrar, quando voltada a sul nos períodos em que o sol tem uma inclinação superior, o que acontece geralmente nos meses mais quentes. É possível observar que apenas com uma inclinação próxima dos 20° é que o coletor solar está mais exposto à radiação solar. Nos meses de arrefecimento em que a inclinação solar ronda os 70°/50°, parte da radiação nem sequer chega a incidir no coletor solar. O sistema de sombreamento adotado ainda permite a flexibilidade de ser ajustado em ângulo e distância para poder maximizar a sua influência em cada situação particular.

4.3.4.2. 2ª Variante

A última variante que se propõe é a mais cara, dispõe de um estore elétrico comandado por um sensor de temperatura via rádio. Esta variante foi desenhada para poder ser utilizada estando exposta a qualquer quadrante exceto o Norte, onde não existe radiação solar disponível. Com este sistema é possível aproveitar o sol, em todas as situações, mesmo nos edifícios com as piores orientações.

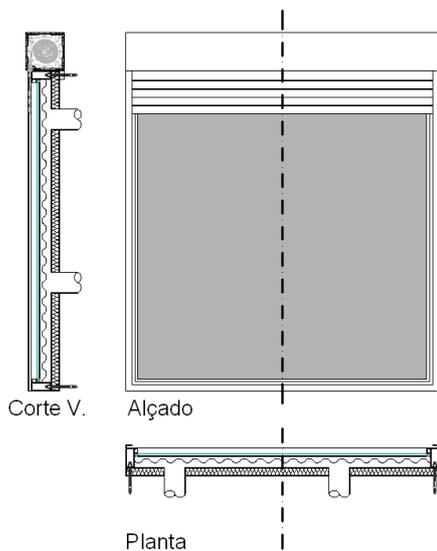


Figura 65 - Variante com estore elétrico.



Figura 66 – Sensor exterior de vento e sol e sensor interior de temperatura com ligação sem fios ao motor do estore (somfy, 2014).

O sistema funciona definindo o limite superior e inferior da temperatura pretendida. O sensor interior sem fios (ver figura 66) comunica ao motor a necessidade de abrir ou fechar o estore do sistema de captação solar (ver figura 65). Assim é possível por exemplo aproveitar a radiação solar de poente durante o inverno e rejeitá-la no verão, quando é um fator de sobreaquecimento. Numa fachada com múltiplos sensores poderia ser adicionado um segundo sensor que funcionaria para todo o edifício que deteta a presença ou não de radiação solar evitando assim aberturas desnecessárias em período noturno. Apesar de ser uma tecnologia sem fios, cada sensor emite um código específico para cada motor pelo que é possível a montagem num edifício com inúmeros sensores interiores. Esta solução implicaria um outro custo adicional que seria estender uma cablagem elétrica ao longo da fachada para alimentar os motores. Não seria necessário abrir roços na fachada, a cablagem ficaria embebida no isolamento térmico a aplicar posteriormente pelo que a sua colocação seria muito facilitada. Sendo um edifício multifamiliar, a ligação seria feita ao circuito comum que alimenta os elevadores e a iluminação, simplificando a questão da divisão de custos no condomínio.



Figura 67 - Aspeto exterior da caixa de estore já com os mecanismos elétricos integrados.



Figura 68 - Aspeto do mecanismo em funcionamento.

A caixa dos mecanismos mecânicos tem diversos pontos de abertura para acesso ao motor para reparação de eventuais avarias. O sistema que estudado permite a existência de uma abertura na parte superior o que permite um fácil acesso ao motor diretamente pela janela que se situa imediatamente acima, como se pode ver na figura 67 e 68.

4.4. INTEGRAÇÃO DO SISTEMA NOS EDIFÍCIOS

Desde o início deste projeto que a integração arquitetónica foi um dos aspetos mais importantes, pois tornou-se claro que soluções que não se integrassem devidamente nos edifícios iriam ser rejeitadas pelos proprietários e pelos técnicos. A fachada de um edifício é um dos elementos mais importantes para a sua caracterização. Intervir neste elemento traz uma responsabilidade redobrada pois influencia a perceção de valor do edifício.

A figura 69 mostra um hipotético exemplo de aplicação do sistema desenvolvido num edifício. De notar os seguintes aspetos no exterior:

- Aumentou consideravelmente a área envidraçada e como tal um aumento significativo na captação da energia solar;
- A intervenção previu igualmente a beneficiação da envolvente com a aplicação de um sistema ETICS, que irá melhorar o desempenho térmico da parede exterior tanto de verão como de inverno;
- A intervenção permitiu homogeneizar o desenho do edifício - note-se que a versão escolhida é a que inclui um estore e como tal é a que tem maior impacto visual;
- Este exemplo mostra que a intervenção pode ser mais profunda e incluir a instalação de novos estores das janelas com controlo elétrico que tira partido do mesmo sistema e possibilita também o controle dos ganhos solares térmicos diretos.



Figura 69 – Exemplo 3d de uma intervenção num edifício existente.

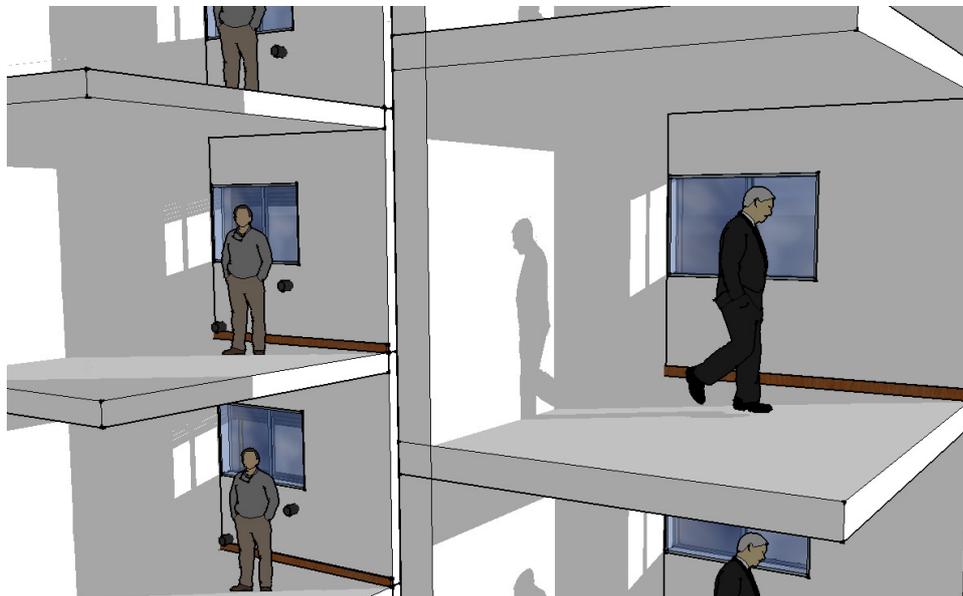


Figura 70 – Alterações interiores num edifício intervencionado e outro sem intervenção.

A figura 70 mostra a diferença do interior de um edifício intervencionado e um outro sem intervenção. A única alteração visual pelo interior é a existência de dois difusores que fazem a permuta da energia térmica gerada no painel. A existência deste sistema é praticamente impercetível no interior do edifício, minimizando a necessidade de obras ou alterações. Mesmo no momento da montagem do sistema praticamente todo o trabalho é feito pelo exterior mantendo o regular funcionamento do edifício.

4.4.1. PROCESSO DE MONTAGEM

Procurou-se que o sistema tivesse um processo de montagem o mais simples possível para minimizar os custos de mão-de-obra. A grande componente de preparação do trabalho em fábrica permite minimizar atrasos associados à componente climatérica.

Na figura 71 descreve-se os passos mais importantes da montagem do sistema. Da esquerda para a direita observa-se:

- O edifício sem intervenção;
- A execução de duas aberturas recorrendo a uma caroteadora. As aberturas serão executadas facilmente após verificação da inexistência de infraestruturas, o que na grande maioria dos casos se traduzirá na abertura em tijolo e rebocos de fraca resistência mecânica;
- O painel é aplicado deslizando pelas aberturas já preparadas;
- São feitas as fixações mecânicas através de parafusos com bucha metálica ou bucha química conforme as condições do suporte encontrado. São fixas as grelhas interiores, que fazem o remate dos acabamentos interiores.

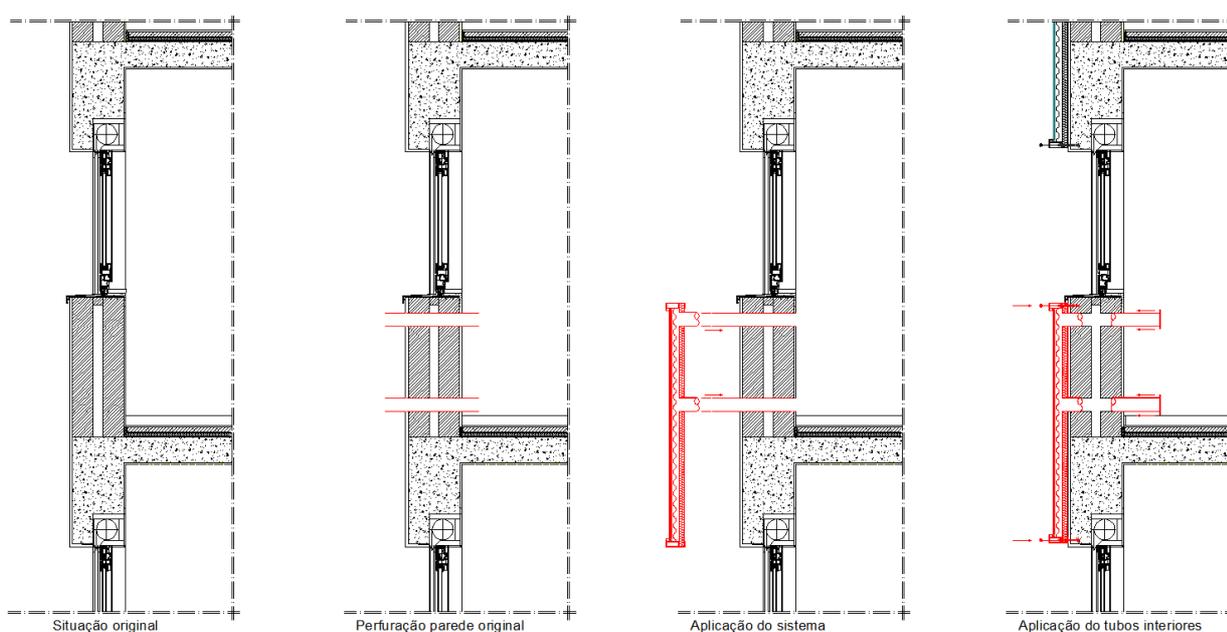


Figura 71 - Processo de montagem do módulo num edifício pré existente.

4.4.2. EXEMPLOS

Para que seja possível visualizar de uma forma concreta qual seria o resultado de uma intervenção com aplicação do sistema proposto combinado com a aplicação de sistema ETICs foram feitas fotomontagens utilizando como modelos edifícios multifamiliares de grande escala. Os edifícios em causa, sofrem já de diversas patologias, como infiltrações de água, destacamentos de elementos cerâmicos, etc. Essas patologias não são perceptíveis à escala de impressão das fotografias. As imagens 72 e 74 apresentam os edifícios no seu estado atual. As figuras 73 e 75 apresentam os edifícios com uma previsão foto realista do que poderia ser uma intervenção preconizada pelo sistema em desenvolvimento. Em ambos os edifícios foram selecionadas as fachadas voltadas a sul, e foram aplicados sob as janelas, os coletores solares. Toda a restante

envolvente do edifício foi melhorada pela adição de isolamento térmico pelo exterior, embora essa alteração não tenha um efeito visual significativo por se ter mantido a cor do revestimento original.



Figura 72 - Exemplo de edifício suscetível de ser intervencionado, não é muito visível na fotografia, mas existem ao longo do edifício inúmeras fissuras e destacamentos de elementos cerâmicos.



Figura 73 - Previsão de aspeto após intervenção, com aplicação de sistema ETICs, sistema de captação solar ativo e alteração de esquema de pintura.



Figura 74 - Exemplo de edifício suscetível de ser intervencionado.



Figura 75 - Previsão de aspeto após intervenção.

4.5. CUSTOS

4.5.1. ANÁLISE DE CUSTOS DO SISTEMA

Tendo em conta que o trabalho que se pretende desenvolver tem como objetivo cumprir metas de custos muito rigorosas, neste ponto serão desenvolvidas tabelas de custos de materiais por m² que terão campos adicionais dependendo das características do material, para que se consiga avaliar corretamente a relação benefício/dimensão/custo.

A tabela 12 incide nos principais materiais de isolamento térmico elegíveis para o sistema estudado. A primeira coluna define o material selecionado, a segunda coluna indica a densidade do material, pois o mesmo material com diferentes densidades tem comportamentos diferentes. A terceira coluna indica a resistência térmica do material a última coluna indica o custo por m² para uma espessura de 4cm.

Tabela 12 - Comparação de preços de isolamentos térmicos (valores sem IVA) (Fonte: CIMACA, VN de Gaia 7/2013).

Material	Densidade Kg/m ³	U W/M ² °C	4 Cm exp/ €/ m ²
EPS	<11	0,055	3,40€(c)
EPS	15-20	0,040	1,40€(c)
XPS	25-40	0,037	3,86€(c)
ICB Aglomerado de Cortiça expandida	90-140	0,045	10,11€(c)
MW Lã de rocha	20-35	0,045	2,71€(c)
MW Lã de rocha	35-100	0,040	4,35€(c)
Grânulos de argila vermiculite ou perlite expandida	<400	0,160	12,00 €(c)
Painel sandwich plano metálico com 4 cm de poliuretano tipo IRMA		0.037	17.10€

A tabela 13 apresenta preços dos outros materiais necessários, para a construção do sistema estudado. A primeira coluna indica o tipo de material, a segunda coluna o valor por unidade, a terceira coluna uniformiza o valor para metros quadrados, e a quarta coluna uniformiza o valor para metros lineares. Todos os valores indicados são sem IVA.

Tabela 13 - Valores do custo de materiais relacionados com o sistema a desenvolver (valores sem IVA) (fonte: CIMACA, VN de Gaia 12/2014).

Material	Preço Un	Preço m ²	Preço ML
Chapa de ferro zincada lacada	7.5€	3.75€	n/a
Tinta de alta temperatura preta	5.00€	n/a	n/a
Caixilho de alumínio em perfil retangular 150x60x2.4 Ref. Extrusal D.012.017	6.5mts 98.22€	n/a	16.79€
Perfil de alumínio tipo asa de avião Ref Extrusal F.016.007	6.5mts 36.83€	n/a	6.82€
Perfil de alumínio para suporte de vidro Ref Extrusal A.006.013	6.5mts 23.40€	n/a	4.00€
Perfil de alumínio bit Ref Extrusal A.001.031	6.5mts 1.32€	n/a	7.72€
Perfil de suporte dos sombreadores 1 Ref Extrusal Base porta lâminas F16	Un 1.68€	n/a	n/a
Perfil de suporte dos sombreadores 2 Ref Extrusal Porta lâminas F16	Un 1.63€	n/a	n/a
Vidro float simples de 5 mm	n/a	13.30€	n/a

4.5.2. CUSTO DE UMA UNIDADE

Para estimar o custo de construção de uma unidade com uma dimensão de 1 m² útil calculou-se a quantidade de cada material necessário. A primeira coluna da tabela 14 indica o material, a segunda o valor unitário de cada material, já uniformizado, a terceira coluna indica a quantidade de material necessária para compor cada modulo e a quinta coluna apresenta o valor total de custo de cada material aplicado na unidade.

Tabela 14 – Custo de materiais e montagem de um sistema com uma área útil de 1 m².

Material	Preço Un.	Quant.	Sub total
Chapa de ferro zincada lacada	7.5€	0.5	3.75€
Pintura com tinta de alta temperatura preta	5.00€	1 Un	5.00€
Caixilho de alumínio em perfil retangular 150x60x2.4 Ref. Extrusal D.012.017	16.79€	4.52 mL	75.89€
Perfil de alumínio para suporte de vidro O valoRef Extrusal A.006.013	4.00€	4.52 mL	18.08€
Vidro float simples de 5 mm	13.30€	1 m ²	13.30€
Painel sandwich plano metálico com 4 cm de poliuretano tipo IRMA	17.10€	1 m ²	17.10€
Ventilador elétrico com obturador tubagens e montagem	50.00€	1 UN	50.00€
Despesas de assemblagem	35.00€	1 Un	35.00€
TOTAL			218.12€

Ao modelo simplificado pode ser acrescentado um sistema de sombreamento que irá onerar o valor de cada unidade. Assim adicionou-se ao valor do módulo o custo dos elementos selecionados para sombreamento com lâminas fixas. Na tabela 15 a primeira coluna indica a descrição do material, a segunda coluna o valor do material a aplicar, a terceira coluna a quantidade de material necessário e na quarta coluna o valor do subtotal. O custo de uma unidade de 1 metro quadrado com sistema de sombreamento fixo fica por aproximadamente 275 €. Este tipo de unidade está vocacionada para ser aplicada em orientações sul, uma vez que inibe a radiação solar de verão prevenindo o sobreaquecimento.

Tabela 15 - Custo de materiais e montagem de um sistema com uma área útil de 1 m², com aplicação de um sistema de lâminas fixas, 2º variante do sistema.

Material	Preço Un.	Quant.	Sub total
Módulo de 1x1 m completo	168.12€	1 Un	168.12€
Perfil de alumínio tipo asa de avião Ref. Extrusal F.016.007	6.82€	4.52 ML	30.82€
Perfil de suporte dos sombreadores 1 Ref. Extrusal Base porta lâminas F16	1.68€	8	13.44€
Ventilador elétrico com obturador tubagens e montagem	50.00€	1 UN	50.00€
Perfil de suporte dos sombreadores 2 Ref. Extrusal Porta laminas F16	1.63€	8	13.04€
TOTAL			275.42€

Para orientação nascente ou poente, torna-se necessário um sistema de sombreamento mais sofisticado que permita a leitura das temperaturas interiores e definir automaticamente a necessidade de abrir ou fechar um elemento sombreador. Tendo em conta toda a eletrónica e mecânica necessária o custo do sistema aumenta. Na tabela 16, procura estabelecer-se os preços dos materiais e equipamentos necessários para montar um metro quadrado desse sistema.

Tabela 16 - Custo de materiais e montagem de um sistema com uma área útil de 1 m², com aplicação de um sistema de sombreamento ativo, 3º variante do sistema.

Material	Preço Un.	Quant.	Sub total
Módulo de 1x1 m completo	168.12€	1 Un	218.12€
Estores de alumínio lacado	130.00€	1 Un	130.00€
Motor da marca "Somfy" com radio	150.00€	1 Un	150.00€
Leitor de temperatura rádio	150.00€	1 Un	150.00€
Comando (para todo o prédio)	45.00€	1 Un	45.00€
TOTAL			693.12€

O valor aproximado dessa solução é aproximadamente 690€ por metro quadrado.

Na figura 76 apresentam-se os desenhos das diversas variantes ao sistema inicial, que se compõem essencialmente de diferentes sistemas de sombreamento aplicados ao sistema coletor base. Pelas suas diferentes características essas variantes podem ser aplicadas em situações específicas, dependendo do local de aplicação.

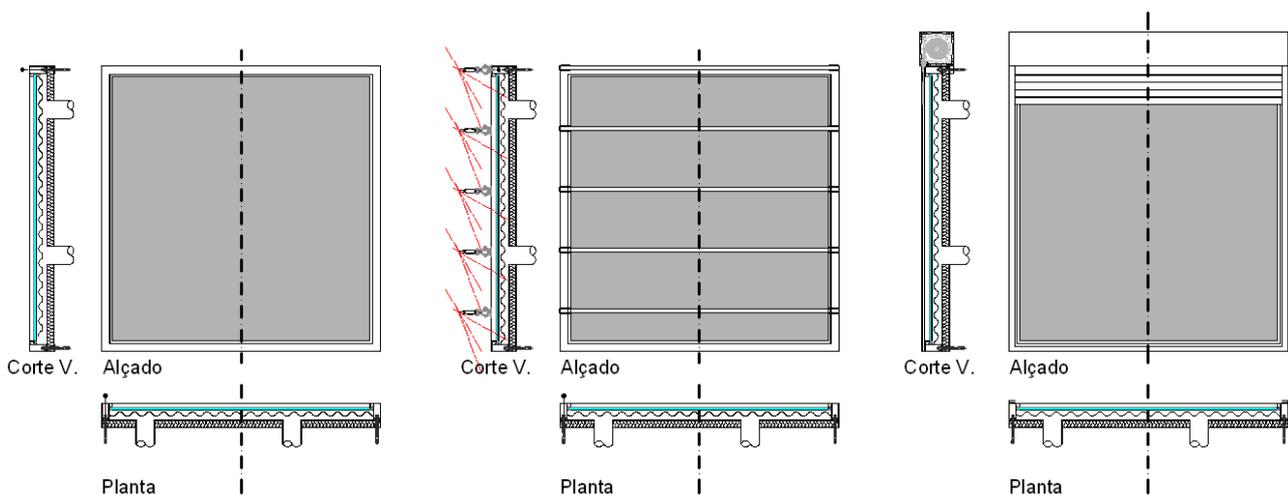


Figura 76 - Imagem de cada uma das variantes.

4.5.3. CONCLUSÃO DA ANÁLISE DE CUSTOS

Analisando os custos, conclui-se que as soluções base e com sombreamento fixo têm um custo muito aceitável, permitindo ainda ganhos ao nível da economia de escala. Por exemplo, o perfil de alumínio com o desenho proposto neste trabalho pode ser otimizado sob o ponto de vista económico, pela empresa que o vier a produzir. Para esta montagem de custos foram utilizados os perfis existentes no mercado.

Conseguir um custo relativamente baixo por m^2 nos módulos solares permite um aumento da área coberta por estes sistemas e como tal maior rendimento e satisfação dos consumidores.

O custo baixo dos sistemas, permite ainda que exista margem para o desenvolvimento da parte de marketing e de comercialização.

As soluções com sistemas de sombreamentos ativos aumentam de valor consideravelmente. Simultaneamente o seu rendimento é também inferior perspetivando-se a sua utilização apenas em situações especiais.

4.5.4. ANALISE SWOT

Qualquer que seja o projeto que se pretenda desenvolver, é necessário estudar quais as potencialidades, fraquezas, oportunidades e ameaças que encontrará. A correta identificação destes fatores permite corrigir erros e definir uma estratégia de desenvolvimento futura. Este projeto ainda não é um projeto comercial, mas a análise “SWOT” é um instrumento fundamental para a estruturação da ideia e permite que se alarguem as perspetivas, procurando perceber qual o enquadramento geral desta solução e colmatando eventuais pontos fracos. Este estudo pode evitar que no fim do processo se perceba que a solução desenvolvida apesar de excelente sob o ponto de vista funcional, não seja útil pois não desperta o interesse dos possíveis utilizadores.

1º POTENCIALIDADES:

- Sistema de baixo custo;
- Sistema sem custos de manutenção;
- Rápido retorno económico;
- Aumento considerável e perceptível do conforto quando associado a reabilitação energética da envolvente de uma construção.

2º FRAQUEZAS:

- Fraca compreensão dos sistemas solares;
- Possibilidade de maus resultados quando mal instalado, por exemplo: com orientações indevidas;
- Preconceito contra soluções passivas;
- Forte oposição dos instaladores de soluções convencionais;
- Crise económica – a recessão que atualmente afeta o país retrai os investidores particulares, por perceberem que os seus imóveis valem menos do que valor pago inicialmente, levando a evitar outros melhoramentos.

3º OPORTUNIDADES:

- Pequena oferta comercial alternativa;
- Forte necessidade de alternativas para climatização de baixo custo;
- Compatibilidade com sistemas ETICs;
- Grande necessidade de reabilitação do edificado existente.

4º AMEAÇAS

- Edifícios multifamiliares – Falta de organização dos condóminos nos edifícios multifamiliares;
- Fraca capacidade de investimento das pessoas, associada à dificuldade de perceção dos benefícios a prazo;
- Barreiras à alteração das fachadas por parte das camaras municipais, ou autores do projeto;

4.5.5. CONCLUSÃO

Este levantamento permite-nos chegar à conclusão de que a maior barreira para o sucesso deste projeto será a fraca capacidade de investimento associada à falta de organização e capacidade de intervenção dos condomínios. Por outro lado, após a decisão de uma reabilitação integral da fachada, o baixo custo do sistema proposto relativamente ao montante geral poderá permitir a

sua implementação. Noutros países em que existem muitos edifícios que pertencem a um único proprietário a implementação deste sistema tornar-se-ia mais simples.

4.6. VANTAGENS RELATIVAMENTE A OUTROS SISTEMAS SIMILARES

Verificou-se recentemente o aparecimento de sistemas similares ao projeto apresentado. No entanto, entende-se que a solução que se propõe é mais completa e versátil.

Diferencia-se dos sistemas existentes pelas razões que se explicam seguidamente:

- Não se trata de um módulo com medidas fixas. Contrariamente às outras soluções, pretende ser um sistema versátil adaptável ao edifício pré existente, tanto no que diz respeito a revestimentos como relativamente a dimensões dos vãos. Nesse sentido é uma solução que pode valorizar a coerência formal do edifício;
- É uma solução compatível ou mesmo complementar com sistemas de isolamento térmico pelo exterior podendo ser considerado acessório a um sistema ETICS;
- Com os elementos de sombreamento previstos, é um sistema completamente autónomo e que pode inclusivamente ser utilizado em orientações variantes de sul. Nenhum outro sistema similar conhecido tem sistema de sombreamento;
- A aplicação do sistema é simples e conceptualmente orientada para não danificar elementos estruturais num edifício, uma vez que está prevista a sua aplicação na parte inferior dos vãos das janelas;
- Tendo isolamento térmico incluído, contrariamente às outras soluções, não é uma ponte térmica plana, o que além de benefícios térmicos o torna uma solução compatível com o atual regulamento de térmica, podendo valorizar a certificação energética do edifício.
- O ar aspirado do interior da casa não entra em contacto com a área envidraçada, o que minimiza a possibilidade de contaminação do vidro com partículas de pó e cumulativamente a perda de eficiência e necessidade de manutenção;
- Ao utilizar a inércia térmica do edifício está especialmente vocacionado para os países do sul da europa que tem por tradição a utilização de materiais pesados;
- Pode ser aplicado em diferentes divisões pois não implica praticamente alterações ao interior;
- O sistema não tem manutenção, e o acesso aos elementos acessórios é possível pelo interior do edifício;
- Pode ser aplicado em edifícios sem serem necessárias alterações estruturais, dado o baixo peso do conjunto;
- O benefício dos ganhos térmicos não tem o defeito de prejudicar a utilização de equipamentos multimédia ou danificar mobiliário por via da radiação solar.

5.1. INTRODUÇÃO

A importância deste capítulo prende-se com a necessidade de afastamento da imaterialidade do projeto. Desenvolver um conceito e um objeto apenas em modelos informáticos e desenhos, seria deixar o processo incompleto. Construir uma maquete de pequena escala permitia apenas a avaliação de determinados aspetos formais, negligenciando as funções técnicas. A única opção válida passava pela construção de um modelo à escala real, que pudesse adicionar valor ao processo de desenvolvimento. Esse trabalho implicou a alocação de tempo e investimento adicional, mas foi um processo de aprendizagem fundamental, até para impor limites físicos à imaginação.

5.2. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO

Com o propósito de detetar dificuldades de construção, testar a viabilidade tornar possível futuros trabalhos de investigação sobre este sistema, foi construído um protótipo com uma área de coletor de 1m^2 . Foi construído com as dimensões exteriores de 1.12×1.12 para permitir uma medida interior fixa de 1×1 m que irá facilitar as conversões proporcionais para futuros cálculos.

5.2.1. MATERIAIS SELECIONADOS

O protótipo foi construído com materiais existentes no mercado. Os perfis de alumínio foram adquiridos à Extrusal e são das seguintes referências:

Perfil de contorno exterior – perfil simples retangular 150x60.

Perfil de suporte de vidro – Extrusal Ref. – A.006.013 e respetivo tafife referência – A.001.031

Perfil sombreador - “asa de avião” da Extrusal F.016.007

A chapa do coletor, é uma chapa de ferro ondulada e zincada. Essa chapa foi posteriormente pintada com uma tinta preta de alta temperatura em spray.

O isolamento térmico em painel sandwich é da referência: Irma plano 4 cm. É formado por duas chapas metálicas lacadas, sendo o interior preenchido com poliuretano de alta densidade.

5.2.2. PROCESSO DE MONTAGEM

O caixilho exterior foi montado com perfis metálicos interiores aparafusados. A localização dos parafusos foi selecionada para não ser visível no exterior do conjunto.

A furação final para aplicação à parede não foi feita por ainda não haver medidas concretas para aplicação do protótipo. Após a furação e aplicação dos parafusos o perfil poderá ser preenchido com poliuretano de forma a melhorar o isolamento do caixilho do sistema.

O coeficiente de transmissão térmica plana do módulo do protótipo prevê-se que seja $U = 0,56 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Este valor foi calculado pela sobreposição dos diversos materiais componentes, da área do coletor (descritos do exterior para o interior): um vidro de 4 mm; uma caixa-de-ar de 20 mm; uma chapa metálica pintada de preto de 0.5 mm; uma caixa de ar de 20mm; um conjunto do painel sandwich composto pelas duas chapas de 0.5 mm e 40 mm de poliuretano de alta densidade.

O protótipo não utiliza o perfil de alumínio melhorado que foi desenvolvido neste trabalho, assim mantém-se uma ponte térmica no entorno do caixilho, cujo coeficiente prevê-se que seja

aproximadamente $U = 2.38 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Como indicado anteriormente a aplicação de poliuretano no interior do caixilho irá minimizar o efeito dessa ponte térmica.

A figura 77 apresenta o corte construtivo utilizado para a construção do protótipo.

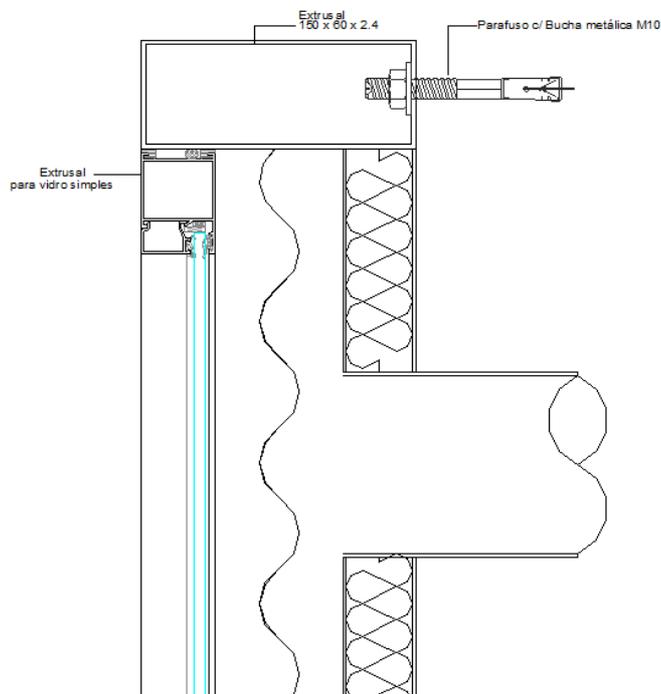


Figura 77 - Corte construtivo do protótipo.

Foi escolhido o modelo com sombreamento passivo, pois permite que sejam testadas a versão base e a versão com sombreamento fixo, as duas opções mais económicas.

A experiência de construção deste protótipo possibilita a percepção de pormenores que poderão ser melhorados posteriormente, como por exemplo a necessidade de aplicar um cordão de silicone em torno da ligação painel sandwich/caixilho de alumínio.



Figura 78 – Parte posterior do sistema que mostra a ligação entre o caixilho de alumínio e o painel sandwich, que deverá ser selado com silicone.

A figura 78 mostra a parte posterior do protótipo ainda sem terem sido executadas as furações necessárias para aplicação das condutas de ar.

A construção levanta também outras dúvidas como por exemplo a necessidade de utilizar uma camada de material compressível na área posterior para adaptar o modelo às eventuais irregularidades da parede. Nesta fase não se considerou necessária a inclusão desse item pois quando o modelo for fixo à parede, pelos parafusos com bucha metálica, não haverá margem para oscilação e por outro lado a aplicação do sistema ETICs em toda a volta colmata a possibilidade de existir uma ponte térmica.



Figura 79 - Estrutura do protótipo antes da pintura.



Figura 80 - Aplicação do vidro.



Figura 81 - Protótipo com sistema de sombreamento fixo instalado.



Figura 82 - Pormenor do sistema de sombreamento fixo.

O sombreamento foi aplicado de acordo com os afastamentos previstos para que a radiação solar de verão possa ser retida no exterior. Na orientação sul, a altura solar do verão irá fazer incidir a radiação num ângulo, em que provavelmente grande parte da radiação será refletida pelo vidro, sem provocar o sobreaquecimento excessivo do coletor. Esse comportamento do sistema poderá dispensar a aplicação dos sombreadores e como tal tornar mais económica a solução. Esses resultados concretos só serão obtidos após experimentação. O peso do conjunto com o sistema de sombreamento aplicado é de 41.2 Kg.

A figura 79 mostra o protótipo antes de ter recebido a pintura e o vidro. A figura 80 mostra o processo de aplicação do vidro, com aplicação de uma borracha para fixação.

A figura 81 mostra o aspeto geral do protótipo, com o acabamento à cor natural do alumínio, sendo que a caixilharia do vidro e os sombreadores estão com o acabamento anodizado. A opção destes acabamentos foi selecionada apenas por ser a versão mais económica, no entanto em futuros desenvolvimentos do sistema qualquer outra cor e acabamentos poderão ser utilizados de forma a melhor integrar o sistema nos edifícios. Poderão inclusivamente vir a ser utilizados outros materiais para os coletores, desde que se assegure a sua compatibilidade e desempenho. Materiais como a ardósia e algumas cerâmicas compósitas poderão ser elegíveis, embora nesta fase inicial apenas se pretenda utilizar os materiais elencados.

A relação entre a altura e a largura dos módulos serão adaptadas ao local onde virão a ser aplicadas, no entanto prevê-se que as proporções venham a ser similares a este protótipo.

6.1. INTRODUÇÃO

Como forma de antever quais os resultados esperados de determinada solução é possível fazer simulações informáticas com recurso a algoritmos matemáticos previamente testados. Este tipo de solução permite fazer uma pré avaliação da viabilidade de determinada solução e inúmeras variantes, sem ter um único modelo real. Além da redução de custos inerente à construção de células de teste, é possível a simulação do espaço temporal de um ano em apenas segundos.

Para desenvolver o pré-dimensionamento da solução desenvolvida foram testados diversos programas informáticos de simulação térmica, embora não se tenha conseguido identificar um que permitisse reproduzir de uma forma rigorosa o modelo que se pretendia testar. Quantificar a radiação que incide sobre determinada área com uma determinada orientação, foi já feito no levantamento do estado da arte com recurso ao Solterm 5.0 (LNEG). Essa quantificação não permitia saber qual o impacto da instalação do sistema proposto numa determinada área construída, pois existem muitos outros fatores que irão influir na eficiência da conversão da radiação solar em aquecimento útil.

Conseguir avaliar o impacto no conforto e na redução de consumo de energia de fontes convencionais passou a ser o objetivo a perseguir. A existência de múltiplos fatores complexos como a convecção interior e a eficiência da passagem de energia térmica pelo sistema de ventilação torna a simulação com a maioria dos programas de simulação um processo de difícil cálculo.

Selecionou-se o software Design Builder (Design builder software Ltd), cujos algoritmos de cálculo estão baseados no Energy Plus (US department of energy, 2012), e permite entre outras a simulação de paredes de trombe.

Tendo em conta que o tempo disponível para esta dissertação foi limitado, apenas foi possível desenvolver um pré dimensionamento, que deverá em futuros trabalhos ser desenvolvido com maior rigor.

Tendo em conta a limitação tempo e as limitações do software na criação do modelo de cálculo, foi necessário proceder a algumas alterações de desenho no modelo que poderão originar resultados ligeiramente diferentes daqueles que se conseguirão em testes reais. A utilização de software de teste virtual implica sempre uma margem de erro que obriga a verificações posteriores.

Vários cenários de teste prévios foram feitos para avaliar a resposta do software e qual seria a forma de introdução de dados que permitiria uma simulação mais próxima da realidade. Por razões de racionalização de espaço não serão incluídas neste relatório. Após a afinação dos modelos informáticos, foram definidos dois modelos principais nos quais se introduziram as variações necessárias para que se conseguissem extrair algumas conclusões que ainda a nível de pré dimensionamento permitem ter alguma aproximação à realidade.

6.2. SIMULAÇÕES DE PRÉ DIMENSIONAMENTO

Seguidamente irão apresentar-se as simulações e os resultados obtidos. Foram utilizados dois modelos principais, um de pequena dimensão baseado nos princípios das células Passys (Commission of the European Communities, 1990), e um outro de dimensão superior que simula a área e volume interior de um pequeno apartamento.

6.2.1. - 1ª SÉRIE DE SIMULAÇÕES

O 1º modelo utilizado para as simulações tem as dimensões interiores de 5 metros de comprimento, 2,75 metros de largura e 2,75 metros de altura, conforme se pode ver na figura 84.

Utilizaram-se estas medidas com referência às células de teste Passys (Commission of the European Communities, 1990). Estas células têm como objetivo o teste de sistemas solares e foram construídas um pouco por toda a Europa, num projeto comum. O conceito inerente à construção das células Passys, é a criação de uma célula de teste de pequena dimensão com medidas normalizadas, com um forte isolamento térmico ($U = 0,1\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$). As mais valias de aproximar as simulações deste trabalho às células Passys, tem a ver a com existência de uma metodologia estudada especificamente para testar diferentes soluções de fachada, e extensiva informação sobre o tema.

O isolamento e o afastamento ao solo, tem como objetivo isolar ao máximo a célula da interferência de perdas ou ganhos de energia por elementos externos, permitindo um estudo aprofundado de cada solução de aproveitamento solar. Em cada célula é instalada uma solução de aproveitamento solar como se pode ver na figura 83, são incluídos todos os sensores que permitem o registo do desempenho ao longo do ano térmico. Na parte posterior orientada a norte, as células têm um espaço técnico para colocação de instrumentação de teste, que através de uma porta dá acesso ao interior da célula. Esse espaço não foi reproduzido nas simulações uma vez que é um elemento independente sem interesse de cálculo.

Nas simulações utilizaram-se os valores de isolamento térmico preconizados nos elementos construtivos das células Passys ou seja $U = 0,1\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$, embora se tenha atingido esses valores com isolamento por XPS, contrariamente à solução mais complexa das células Passys, na qual existem elementos estruturais.



Figura 83 – Diversas células de teste passys (Commission of the European Communities, 1990).

Tal como nas células Passys, uma das faces de menor dimensão foi voltada a sul, tendo sido essa a selecionada para alojar o sistema solar em teste. Esta configuração foi selecionada para aproximar a proporção de fachada voltada a sul à realidade, minimizando a eventualidade de falsos ganhos térmicos. Na figura 84 é possível ver duas perspectivas da célula de simulação utilizada no Design Builder. Na imagem é possível observar a zona identificada como “Zone 2” que será testada. Esta área foi parametrizada para ser uma sala de estar, aquecida a 20°C todo o ano, sem arrefecimento na época de verão. Na simulação todos os equipamentos elétricos e iluminação foram desligados e anulou-se as fontes de calor associadas à presença de pessoas. Na figura 84 é possível também ver a indicação do norte. A parede de absorção solar é uma parede de partição constituída por uma chapa metálica de 1 mm pintada de negro com uma capacidade de absorção solar de 0.96 - voltada ao exterior, uma caixa de ar de 2 cm e 4 cm de EPS de alta densidade, tal como no sistema em estudo. Nesta parede estão localizadas duas condutas de ar para o interior da Zona 2. A passagem de ar inferior é um ventilador elétrico que é ligado diariamente das 7.00 às 18.00, a passagem de ar superior é uma grelha simples.

A janela aberta a sul que faz parte do sistema tem 1,50m de largura por 1,70m de altura e é composta por um vidro float simples de 3 mm de espessura aplicado num caixilho de alumínio de 4 cm com corte térmico, sem nenhum tipo de sombreamento.

Foi considerada a existência de ventilação natural em todo o modelo com 0.3 renovações de ar por hora. O modelo climático utilizado foi o do Porto, mais concretamente Pedras Rubras.

Apesar de todo o esforço que foi feito para aproximar o modelo informático ao desenho que se apurou para o sistema proposto, houve necessidade de adaptar o desenho ao funcionamento e parâmetros do software. Uma das diferenças que existem entre o modelo informático e o sistema proposto resulta da impossibilidade de recriar a segunda caixa-de-ar existente no projeto. Contrariamente ao princípio do projeto em que o ar interior é aquecido pela parte posterior do coletor solar, as simulações serão feitas aspirando o ar aquecido na parte frontal do coletor solar. Tendo em conta a grande condutibilidade térmica da chapa de metálica do coletor solar, entende-se que o desfasamento de resultados não será significativo.

A segunda diferença reside na divergência de dimensões entre a chapa do coletor no modelo informático e do desenho do sistema proposto. Entende-se que não haverá discrepâncias significativas nos resultados por se ter mantido o formato e dimensões da área envidraçada que permite os ganhos térmicos. A diferença de dimensão que existe no elemento coletor/dissipador de energia poderia, quando muito, alterar o tempo de permuta da carga térmica com o ar, mas sendo um elemento metálico, não parece um cenário provável.

Por existirem essas desconformidades inultrapassáveis dentro do prazo permitido por este trabalho de dissertação, passou a chamar-se a este capítulo “pré dimensionamento térmico” em vez de “simulações dinâmicas”. Haverá provavelmente discrepâncias que afastarão os resultados obtidos nestas simulações e a realidade, no entanto tendo em conta a uniformização dos modelos será possível comparar as diferentes alternativas.

Por ter sido necessário contornar as dificuldades descritas com alguma criatividade, torna-se fundamental a execução de ensaios em condições reais, que possam dissipar as dúvidas relativamente à eficiência e validade do sistema proposto.

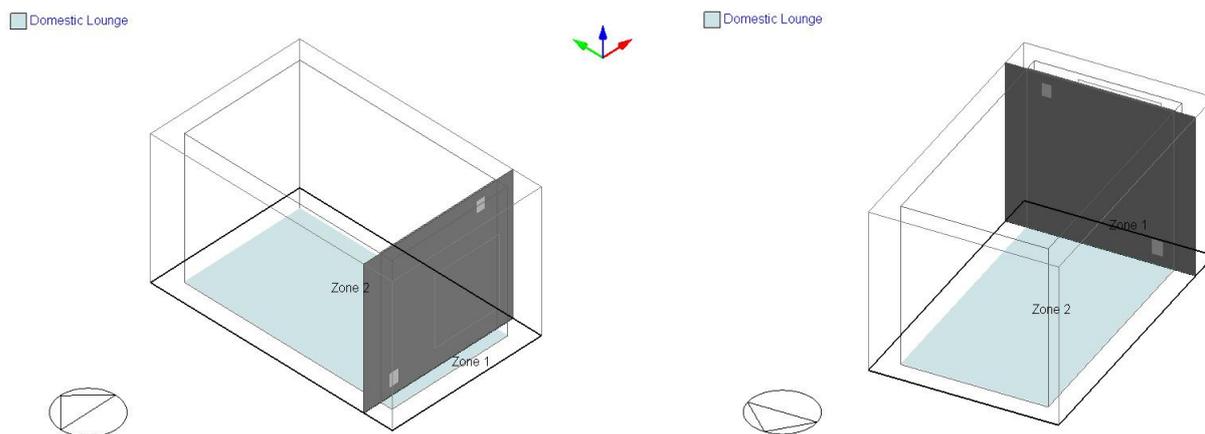


Figura 84 - Imagem tridimensional do modelo utilizado para as simulações.

Utilizando o modelo apresentado na figura 84, foram executadas algumas simulações com diversas variantes entre elas que nos permitisse atingir os objetivos desejados.

6.2.1.1. Simulação nº1

Esta simulação é a simulação base que servirá como referência.

O modelo foi testado com as condições descritas anteriormente não incluindo o elemento transparente voltado a sul que permite captar os ganhos solares térmicos. Esta simulação serve de referência para saber qual o consumo energético necessário para manter a célula de teste a 20°C, sem nenhum tipo de adição de energia externa para além da caldeira a gás natural prevista.

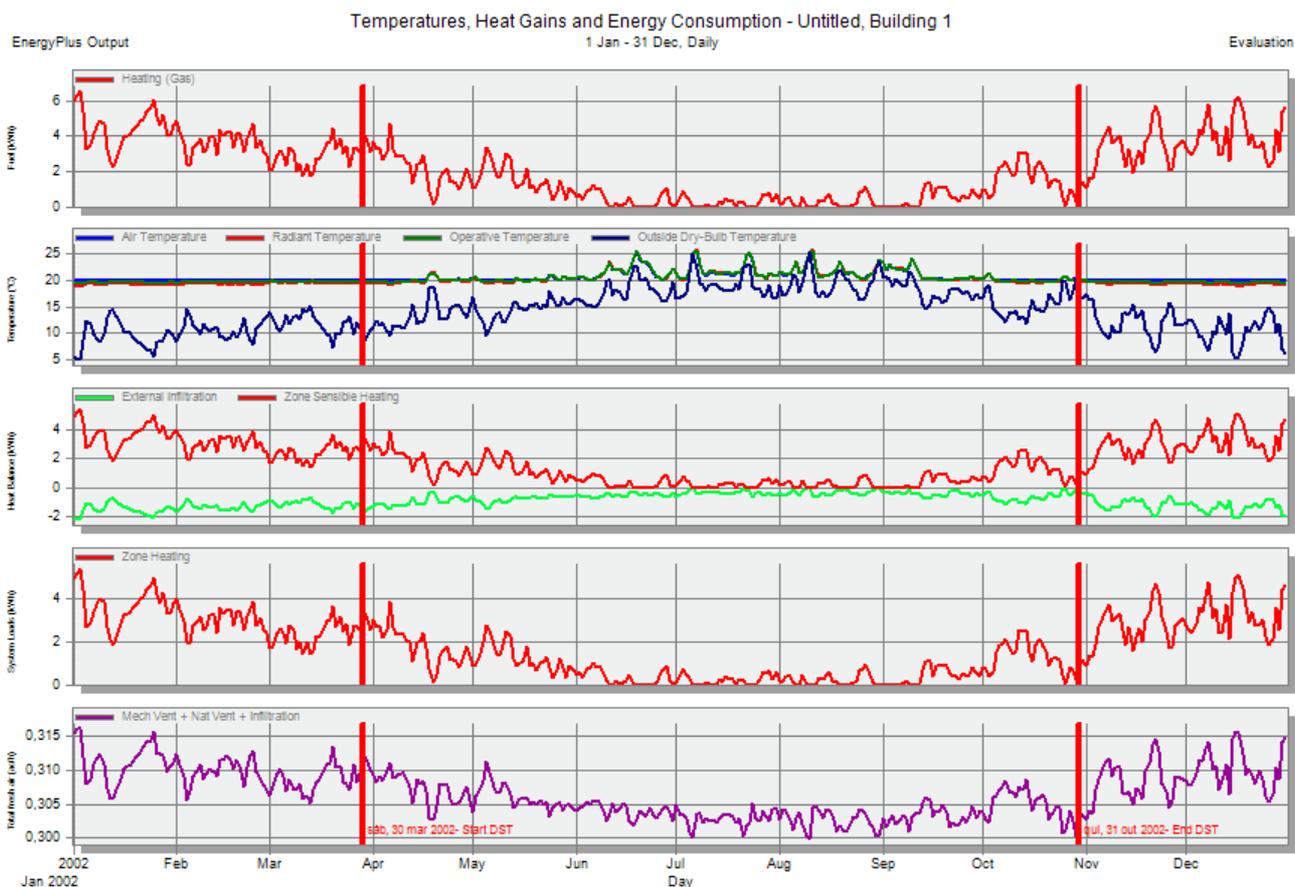


Figura 85 – Gráficos resultantes da simulação da situação de referência (**Design builder software Ltd**).

A figura 85 mostra o gráfico com os resultados obtidos, nos quais se pode destacar a necessidade de aquecimento durante todo o ano, mesmo nos meses de verão. A intensidade do consumo energético é também notória, pois existem picos de consumo superiores a 6 kWh, para manter a 20°C uma área de apenas 13.75 m², equipada com um isolamento muito acima da média da realidade portuguesa. O consumo de energia para manter a temperatura da célula a 20°C com uma caldeira gás com eficiência 83% foi de 630.80 kWh por ano.

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 34.5 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – EPS 34.5 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 34.5 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – Não.

6.2.1.2. Simulação nº 2

O modelo foi testado com as mesmas características mas foi acrescentado o elemento transparente que permite captar os ganhos térmicos pela fachada sul. Da análise da figura 86 é notório um aumento da temperatura interior da célula de teste e uma redução significativa dos picos de consumo energético que agora se situam apenas pontualmente nos 5 kWh. Os gráficos têm uma nova linha, a dos ganhos solares térmicos, que principalmente nos meses de inverno tem

picos que chegam aos 10 kWh. Os ganhos solares térmicos tem mais energia do que a energia é solicitada à caldeira em grande parte da estação fria.

Apesar de não existir sombreamento, a diminuição da intensidade energética dos ganhos solares nos meses de verão serão eventualmente explicados pelo efeito de reflexão do vidro nos meses em que o sol circula a uma altura superior e como tal incidem de rasante no vidro.

O consumo de energia da caldeira gás com eficiência 83% necessário para manter a célula a 20°C, foi de 429.09 kWh por ano. A aplicação do sistema de aproveitamento solar em teste nas condições indicadas permitiu uma redução de consumo de 201.71 kWh por ano.

Uma observação critica sobre os valores, faz suspeitar que os valores se encontram demasiado altos para um espaço tão pequeno 13.75 m² e um volume de 37.81 m³.

O consumo de energia por m² para aquecimento da solução sem sistema solar é de 45.8kWh por ano por m². O consumo de energia por m² para aquecimento da solução com sistema solar é de 31.2kWh por ano por m².

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 34.5 cm - U = 0,10 W/m²°C;

Paredes exteriores – EPS 34.5 cm - U = 0,10 W/m²°C;

Pavimento – EPS 34.5 cm - U = 0,10 W/m²°C;

Presença do sistema solar em teste – Sim.

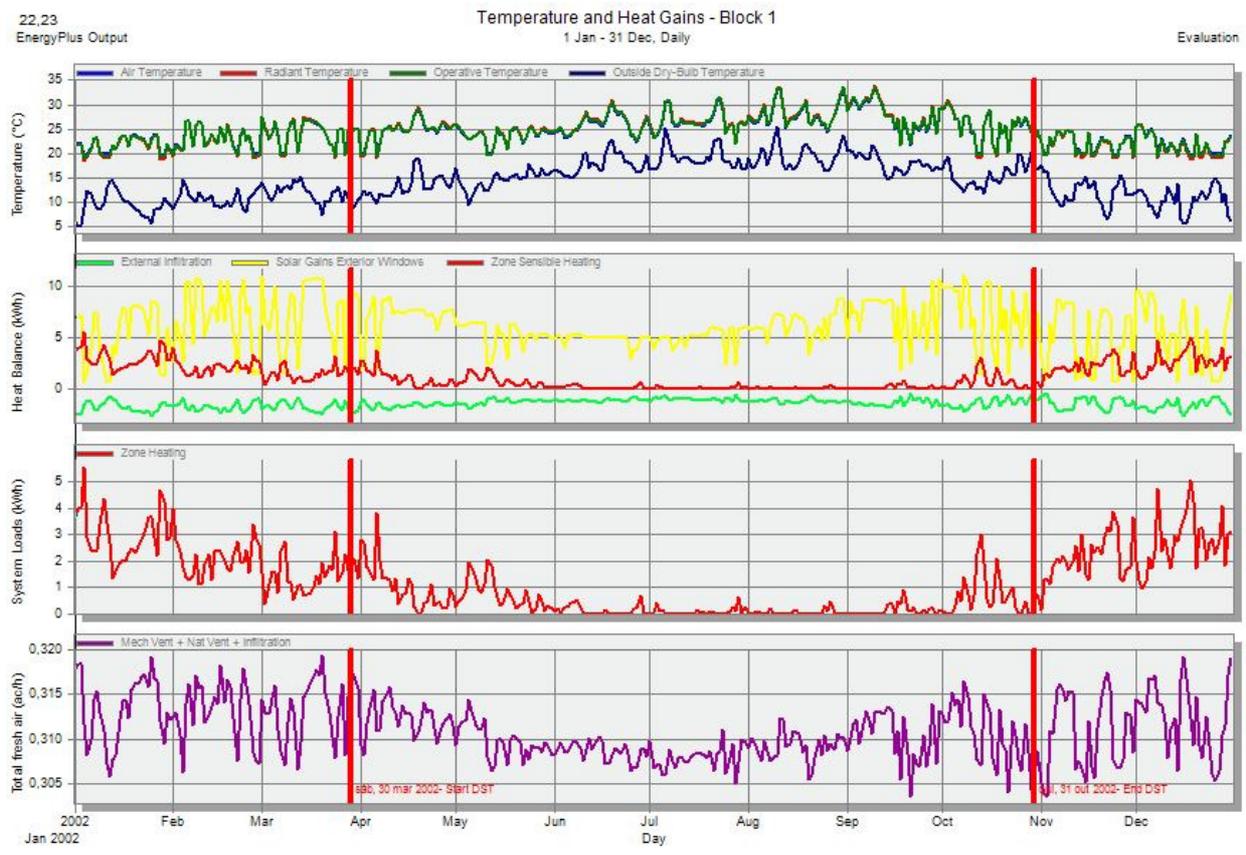


Figura 86 – Consumo energético para aquecimento 429.09 kWh por ano (Design builder software Ltd).

6.2.1.3. Simulação nº3

Na simulação nº2 entendeu-se que a necessidade de aquecer o espaço mesmo nos períodos de verão se devia à falta de inércia térmica do modelo, assim, optou-se por acrescentar a todas as superfícies interiores 10 cm de bloco de betão, ficando assim a espessura das paredes, pavimentos, e cobertura com 43 cm - 33 cm EPS + 10cm bloco de cimento. Para manter o nível de isolamento no mesmo valor ($U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$) foi necessário retirar cerca de 1,5 cm de EPS de alta densidade. A inércia térmica (bloco de cimento) foi aplicada pelo interior do isolamento. Os blocos de cimento utilizados na simulação têm uma densidade de 600kg/m^3 , pelo que a massa que representam neste cenário é 4 950 Kg, com um volume de 8.23 m³.

Para que o volume interior se mantivesse após a modificação de espessura, foram alteradas as medidas exteriores do modelo.

A simulação nº3 repete o cenário da 1ª simulação mas inclui a inércia térmica descrita anteriormente. A importância de testar a mesma solução com o efeito da inércia térmica é fundamental para aproximar os testes laboratoriais à realidade da construção portuguesa, cujos edifícios são tradicionalmente construídos com materiais densos. O efeito da inércia térmica alterou significativamente os gráficos da temperatura interior, que agora passaram a ser uma linha continua com ligeiras e lentas variações de temperatura, ao longo do ano. Como não existe outra fonte de energia a perturbar o equilíbrio que não a caldeira, o termostato consegue estabilizar a temperatura, nos 20°C.

De notar a resistência do modelo ao aumento de temperatura nos meses de verão, que praticamente não tem significado nos gráficos.

O valor do consumo energético para climatização aumenta para 746.37 kWh por ano, ou seja 54.2kWh por ano por m².

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – Não.

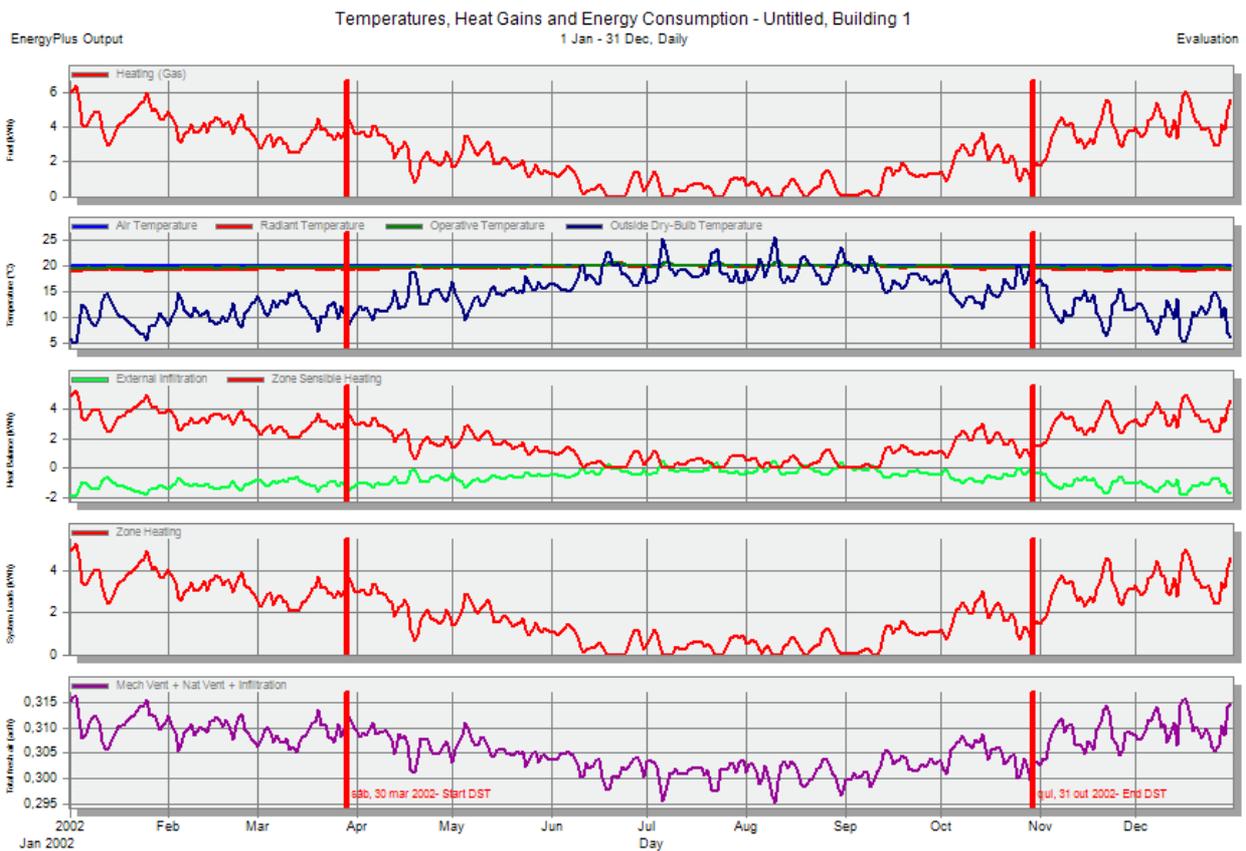


Figura 87 – Gráficos de desempenho da célula de teste com a inércia térmica (Design builder software Ltd).

6.2.1.4. Simulação nº4

Ao cenário anterior foi novamente acrescentado o elemento transparente de 1,5 x 1,7 m na fachada sul que ativa o sistema de aquecimento solar térmico.

A linha que representa as temperaturas interiores volta a um estado mais instável, denotando a existência de uma fonte de energia, cujo controlo não passa por um termostato. A explicação reside no facto da caldeira manter a temperatura nivelada nos 20°C, mas a radiação solar continua a exercer o seu efeito sobre o sistema solar podendo pontualmente ultrapassar a temperatura regulada.

Os diversos parâmetros que medem a temperatura encontram-se relativamente próximos o que favorece o conforto interior, mas mais importante que isso verifica-se que os valores flutuam entre os 20°C e os 25°C, dentro dos objetivos que tinham sido propostos inicialmente

O gráfico da figura 88 mostra também que contrariamente ao que aconteceu nas simulações em que o sistema solar proposto não estava presente a caldeira a gás natural está praticamente sempre desligada durante os meses de verão.

Neste cenário o consumo de energia para aquecimento solicitado à caldeira a gás com eficiência 83% passa para 302.63 kWh por ano, ou seja 22.0kWh por ano por m².

A renovação de ar é responsável por uma significativa perda de energia para o exterior, sendo no entanto visível nos gráficos que as perdas de energia são inferiores nos modelos que incluem mais inércia térmica interior.

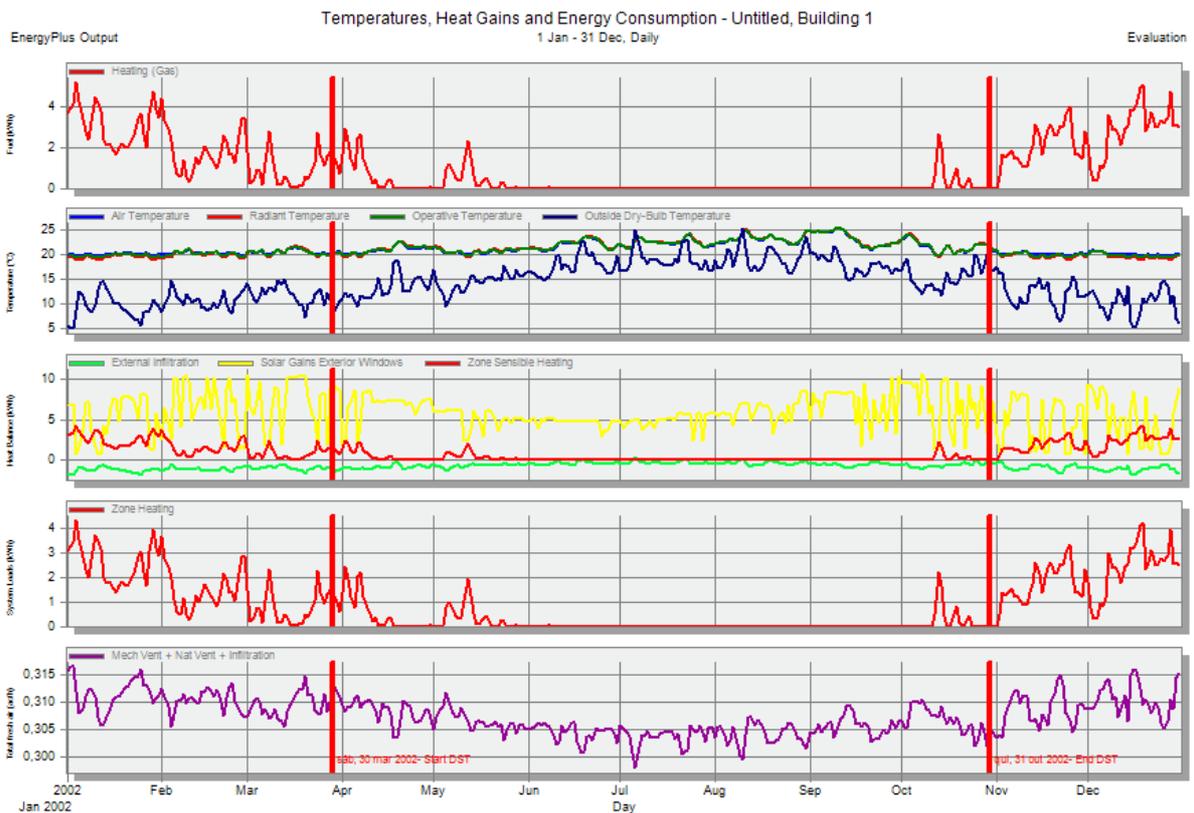


Figura 88 – Gráficos de desempenho da solução com sistema solar incluindo a inércia térmica descrita (**Design builder software Ltd**).

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – Sim.

6.2.1.5. Conclusão da 1ª série de simulações.

A utilização do sistema solar proposto na célula de teste sem inércia térmica interior resulta numa redução de 201.71 kWh por ano (630.80 kWh - 429.09 kWh).

Pela análise dos resultados do pré dimensionamento, o sistema testado funciona melhor em soluções com grande inércia térmica, permitindo o armazenamento da energia térmica e minimizando em grande medida o funcionamento do sistema de aquecimento convencional.

A utilização do sistema de aproveitamento solar testado permite a redução da utilização do sistema de aquecimento convencional em 443.74 kWh por ano (746.37 kWh - 302.63 kWh), na situação em que existe maior inércia térmica interior proporcionada pelos blocos de cimento.

Esse valor traduz-se numa redução de 32,2 kWh por ano por m², para um valor de 22.0kWh por ano por m².

O isolamento térmico em conjugação com a inércia térmica da célula de teste permitem minorar o sobreaquecimento notado no verão, sendo aparentemente desnecessária a utilização de sombreamento, pelo menos no que ao quadrante sul diz respeito.

6.2.2. 2ª SÉRIE DE SIMULAÇÕES

Após a 1ª série de simulações pretendeu-se aproximar mais os testes à realidade, testando espaços com dimensões superiores, como se de um apartamento num edifício multifamiliar se tratasse. O objetivo é obter dados sobre a eficiência da conversão da radiação solar em energia passível de ser utilizada para aquecimento com o mínimo de interferências possíveis (outras fontes de energia térmica). Para isso foi desligada a iluminação, o equipamento informático e de entretenimento, a presença de pessoas, e outros processos. No entanto mantiveram-se as perdas de energia promovidas pela ventilação natural e uma taxa de infiltração de ar de 0,3 renovações de ar por hora. O controlo será feito medindo a energia convencional necessária para aquecer o espaço da célula de teste a 20°C continuamente e depois comparar com a energia necessária para manter as mesmas condições já com o sistema solar proposto instalado.

Manteve-se a solução construtiva da 1ª série de simulações na cobertura e no pavimento, mantendo a inércia térmica do bloco de cimento aplicado pelo interior. As paredes exteriores no entanto foram substituídas por duas soluções que se pretendem testar, a primeira a que foi identificada no levantamento do estado da arte como uma solução construtiva utilizada em milhares de edifícios em Portugal, que consiste numa parede dupla de tijolo rebocado e uma caixa-de-ar interior. A outra solução repete a mesma solução construtiva anterior, mas adiciona uma camada de 6 cm de EPS de alta densidade pelo exterior, como se um sistema ETICs tivesse sido adicionado ao um sistema de construção tradicional.

Estes estudos foram feitos para aferir o rendimento esperado da solução solar proposta numa situação de uma área de 80 m² e qual a solução de parede mais compatível com o sistema solar proposto. A figura 89 apresenta o aspeto do modelo informático criado.

Caracterização do modelo informático criado:

- 8 x 10m de dimensões interiores, 80 m² de área útil – a área aproximada de um apartamento T2 ou T3;
- Uma das faces mais pequenas voltada a sul – para minimizar a influência dos ganhos solares pelas superfícies verticais;
- Sem janelas – para minimizar a interferência dos ganhos solares e das perdas térmicas;

- Cobertura e pavimento composto por 33cm de EPS de alta densidade e na face interior 10 cm de bloco de cimento, resultando num valor de isolamento $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Solução idêntica à utilizada na 1ª série de simulações. Os 10 cm de bloco de cimento foram adicionados, na sequência dos resultados da experimentação anterior, para dar inércia térmica ao interior, característica comprovada da construção nacional.
- Duas versões de paredes exteriores:
 - 1ª composta por dois paramentos de tijolo vazado, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior, $U = 0,98 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
 - 2ª composta por dois paramentos de tijolo vazado, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior, com aplicação de 6 cm de EPS de alta densidade pelo exterior - $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- Duas versões de apoio solar térmico de climatização, uma com sistema solar proposto aplicado outra sem.

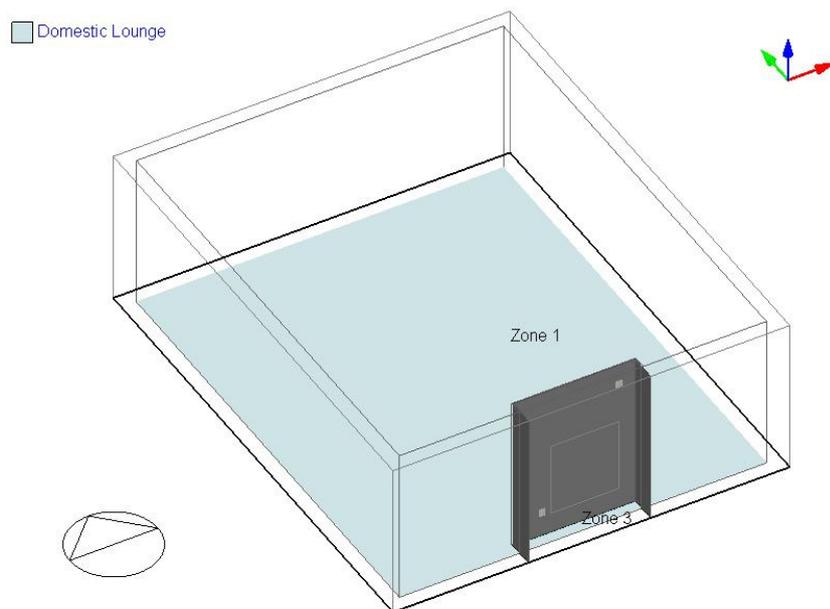


Figura 89 – Imagem 3d do modelo utilizado (Design builder software Ltd).

6.2.2.1. Simulação nº5

A figura 90 apresenta os gráficos resultantes da simulação do cenário base, a primeira linha de gráficos, representa as temperaturas. A linha azul representa a temperatura exterior com as respetivas variações ao longo do ano, as outras três linhas representam as diversas temperaturas

verificadas no interior da célula de teste, a temperatura radiante, a temperatura do ar e a temperatura operativa.

Nesse primeiro gráfico é possível observar um desfasamento entre a temperatura radiante e a temperatura do ar interior, que se suspeita relacionar-se com a presença de paredes fraca resistência térmica e como tal com uma grande perda de energia para o exterior. Além do consumo excessivo de energia esta configuração prejudica o conforto interior, porque as paredes radiam valores de temperatura diferentes das temperaturas de conforto.

A segunda linha de gráfico representa o balanço relativo ao funcionamento do sistema de aquecimento. A linha vermelha representa o funcionamento da caldeira e o input de energia em kWh, a linha verde representa as perdas de energia provocadas pela infiltração de ar.

A terceira linha de gráficos representa novamente a input de energia exigido à caldeira, que se considerou ser uma caldeira a gás natural com um rendimento de 83%.

A quarta linha de gráficos representa o número de mudanças de ar por hora, ao longo de todo o ano. O consumo de energia para aquecimento para manter esta célula de simulação a 20°C com uma caldeira a gás com eficiência 83% foi 5 990.1 kWh por ano. O que resulta num consumo de 74.8 kWh por ano por m².

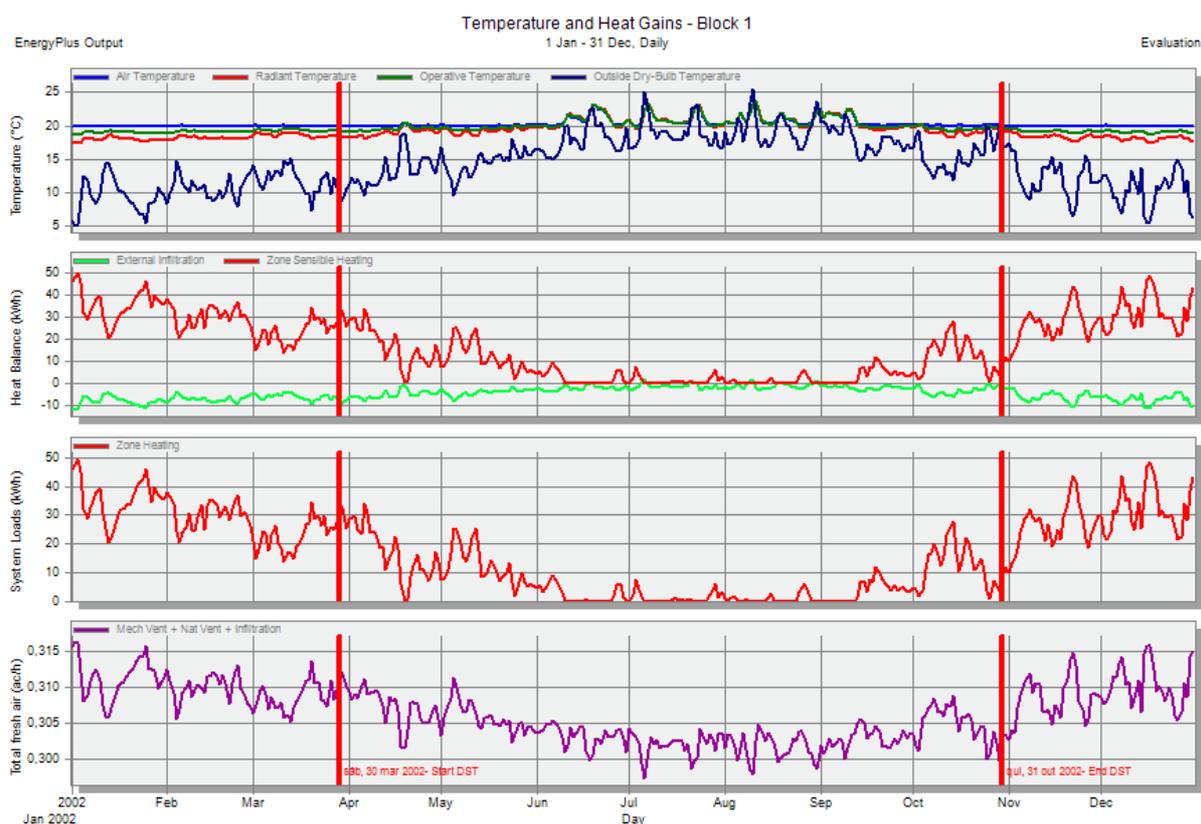


Figura 90 – Gráficos do pré dimensionamento relativo ao cenário base (Design builder software Ltd).

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – Parede de tijolo vazado dupla, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior $U = 0,98 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – não.

6.2.2.2. Simulação nº6

A simulação nº 6 replica as mesmas condições de isolamento da célula de teste utilizada na simulação nº 5, embora inclua o sistema solar térmico proposto. A análise aos gráficos, da figura 91, denota a continuação da existência de temperaturas, radiantes e operativas diferentes da temperatura do ar interior. A temperatura do ar mantém-se estável ao longo de todo o ano por via do funcionamento do termostato que provoca o arranque da caldeira. A inercia térmica da célula de teste mantém a temperatura estabilizada no verão replicando com curvas de temperatura mais suaves os picos da temperatura exterior.

O gráfico relativo ao balanço de energia assinala a presença dos ganhos solares térmicos, ao longo de todo o ano, mas com valores mais altos nos períodos em que existe necessidade de aquecimento. É visível uma pequena diminuição do funcionamento da caldeira, em virtude dos ganhos solares térmicos, conseguidos pelo sistema solar térmico proposto. Ainda assim é notório que os ganhos relativos ao sistema solar térmico são bastante menos significativos, do que na primeira série de simulações. Esse facto explica-se por a área interior a aquecer ter dimensões superiores, tendo-se mantido a área de coleção solar. O consumo de energia para aquecimento da célula de teste a 20°C através de caldeira a gás com eficiência de 83% foi de 5 537.39 kWh por ano. Esse valor representa uma redução de consumo de energia convencional de 452.8 kWh por ano relativamente à solução base da simulação nº5. Ainda assim o consumo de energia para aquecimento é 69.2 kWh por ano por m^2 .

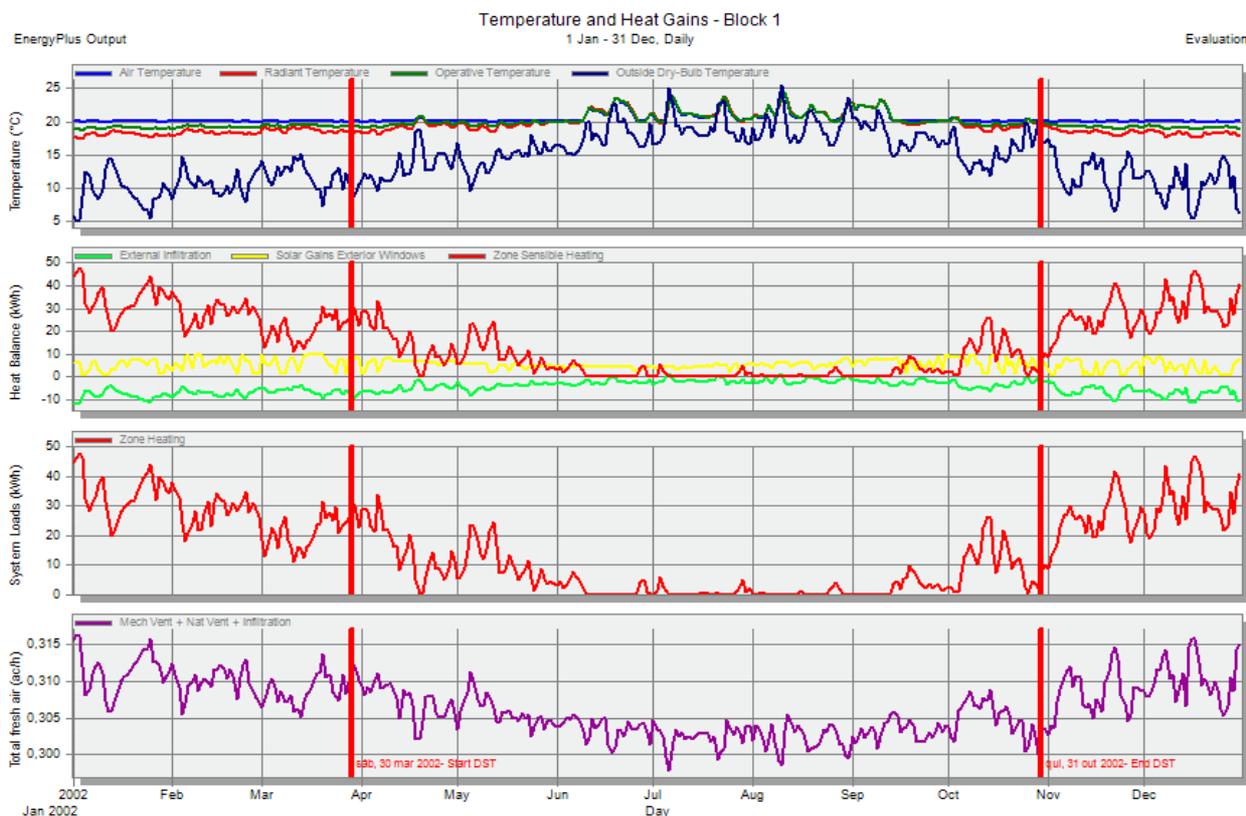


Figura 91 – Gráficos relativos ao cenário base com um módulo de 2.55 m^2 do sistema de aquecimento solar térmico proposto (Design builder software Ltd).

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – Parede de tijolo vazado dupla, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior $U = 0,98 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – sim.

6.2.2.3. Simulação nº7

A célula de teste da simulação nº 7 é igual à utilizada na simulação nº5, mas inclui isolamento térmico pelo exterior. O conceito que conduz a esta simulação é avaliar a vantagem de aplicar 6 cm de EPS pelo exterior na redução de consumos energéticos para aquecimento. Esta solução não tem ganhos térmicos para além dos proporcionados pela energia da caldeira a gás natural, e não tem presente o sistema solar proposto.

Da análise dos gráficos resultantes da simulação que podem ser observados na figura 92 pode concluir-se que o isolamento térmico da envolvente vertical minimiza o desfasamento da temperatura radiante e operativa da temperatura do ar interior, melhorando o conforto, como é possível ler na primeira linha de gráficos. Existe uma menor necessidade de recurso ao aquecimento proporcionado pela caldeira relativamente à simulação nº5, como é possível verificar na segunda linha de gráficos. A intensidade e os picos de energia necessária para aquecimento baixam em cerca de 20 kWh em alguns momentos. As perdas de energia motivadas pela ventilação e infiltração de ar exterior mantem-se em valores similares relativamente à simulação nº5.

O consumo de energia para aquecimento da célula de teste a 20°C por uma caldeira a gas com eficiência de 83% nesta simulação foi de 4 129.25 kWh por ano. Este valor representa uma redução de 1 860.8 kWh por ano (5 990.1 kWh – 4 129.2kWh). O consumo de energia para aquecimento foi neste cenário de 51.6kWh por ano por m^2 , um valor já mais próximo dos objetivos.

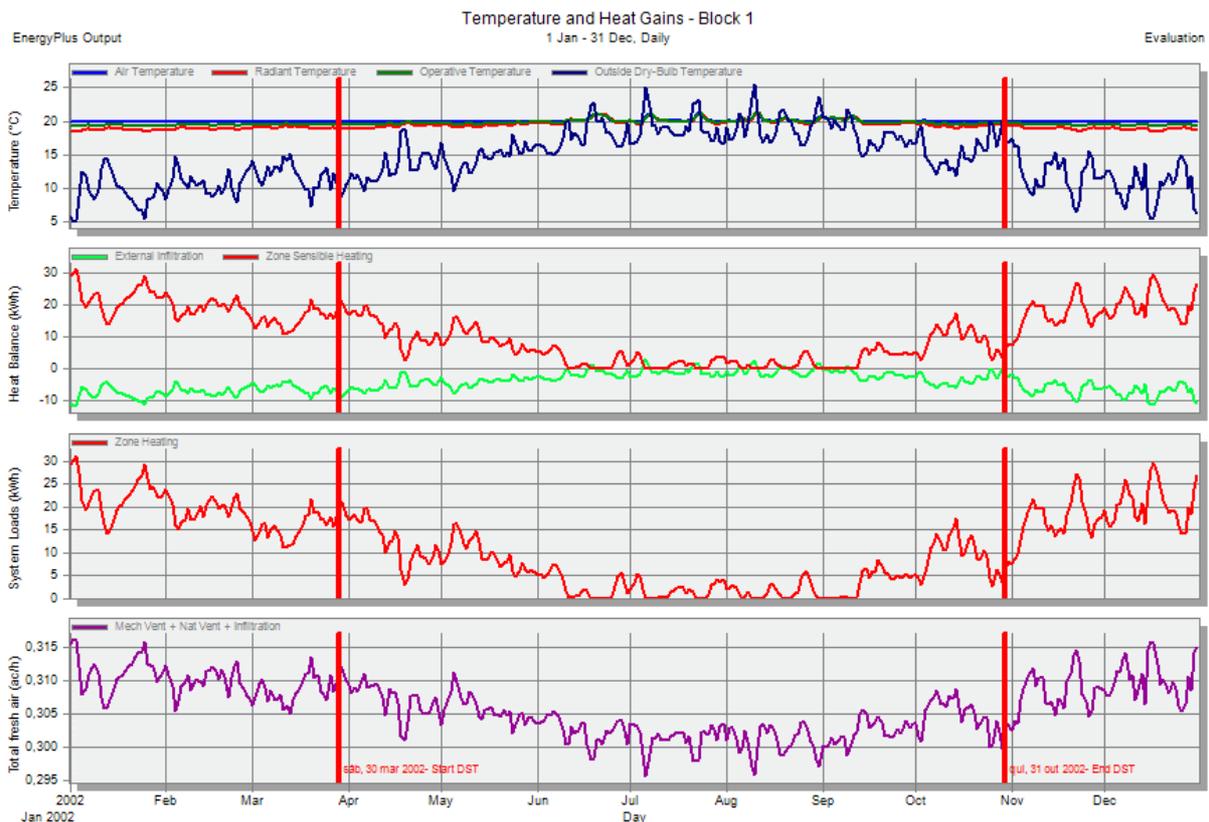


Figura 92 – Gráficos relativos ao cenário base com aplicação de isolamento térmico pelo exterior (Design builder software Ltd).

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – Parede de tijolo dupla, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior, com aplicação de 6 cm de EPS de alta densidade pelo exterior - $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – não.

6.2.2.4. Simulação nº8

A célula de teste da simulação nº8, foi desenhada de acordo com a célula da simulação nº5, e foi-lhe adicionado isolamento térmico pelo exterior, 6 cm de EPS, e um módulo do sistema solar proposto de 2.55m^2 voltado a sul. Na figura 93 estão patentes os gráficos resultantes da simulação.

É possível observar a menor necessidade de energia requerida pelo sistema de aquecimento convencional. É possível verificar que o gráfico que representa a temperatura do ar interior ultrapassa momentaneamente os 20°C , provocado eventualmente pelos ganhos térmicos do sistema solar que continua em funcionamento mesmo após a caldeira ter atingido a temperatura alvo. Apesar de ainda existir uma pequena diferença entre a temperatura do ar e da temperatura radiante e operativa, esse valor é inferior a outras simulações, promovendo o conforto. Apesar do

sistema solar proposto não ser sombreado a inércia térmica do edifício consegue absorver o excesso de temperatura de verão sem grande variação da temperatura interior.

No segundo gráfico é possível ver que os ganhos de energia solar térmica se aproximam muito dos ganhos promovidos pela caldeira de aquecimento. Tendo em conta a dimensão do espaço a aquecer o sistema solar proposto com apenas 2.55 m² consegue fornecer uma boa fração da energia necessária para aquecer o espaço aos 20°C. As perdas de energia por efeitos da ventilação são significativos ultrapassando os benefícios do sistema solar proposto. A taxa de renovação de ar oscila entre as 0.3 renovações de ar por hora no verão e 0.315 renovações por hora no inverno promovido por uma maior turbulência do ar exterior.

O consumo de energia para aquecimento da célula de teste a 20°C com uma caldeira gás com eficiência de 83% foi 3 581.52 kWh por ano (cerca de 340 m³ de gás natural). Este valor representa uma redução de 2 408.6 kWh relativamente à situação base (5 990.1 – 3 581.5). O consumo de energia para aquecimento foi neste cenário de 44.7kWh por ano por m². Este valor por m² é já um valor interessante uma vez que ainda não estão contabilizados todos os outros ganhos energéticos que existem num edifício.

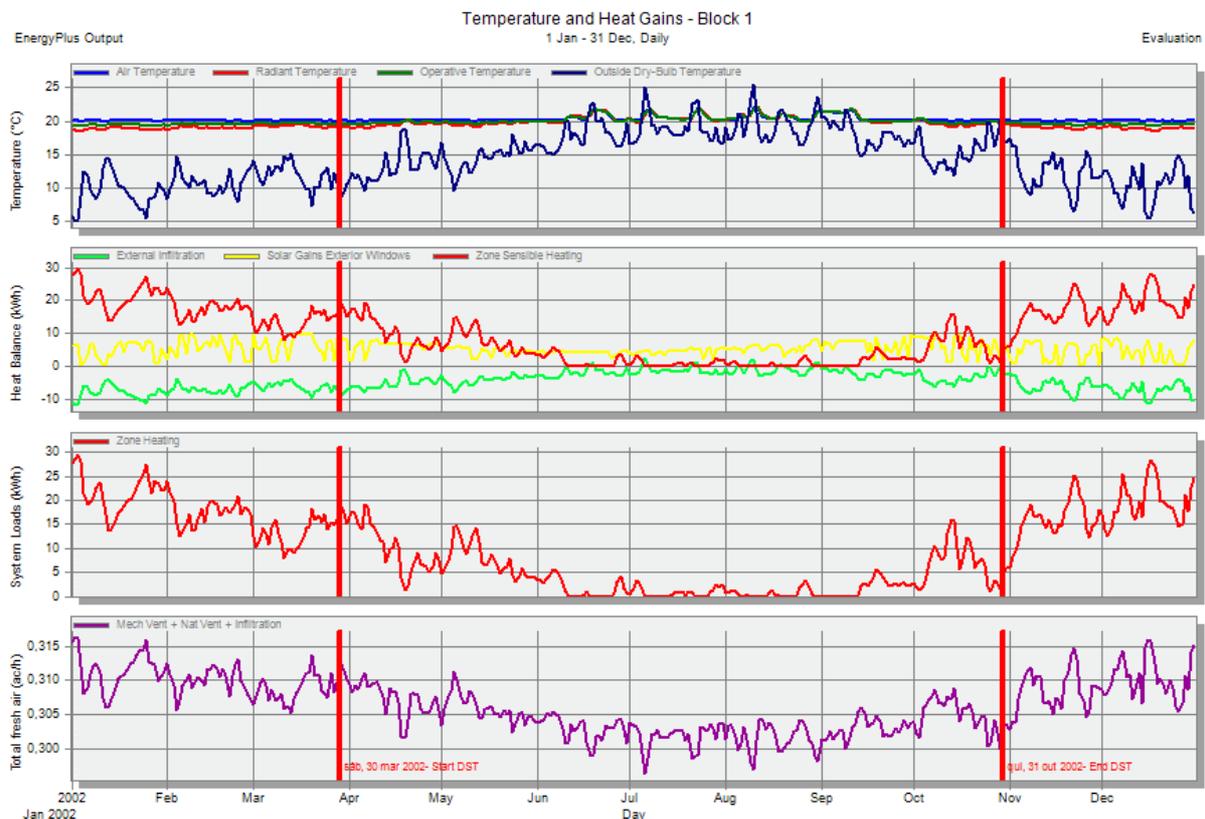


Figura 93 – Gráficos relativos ao cenário base com um módulo de 2.55 m² do sistema de aquecimento solar térmico proposto e com aplicação de 6 cm de EPS em toda a envolvente exterior (Design builder software Ltd).

Resumo das especificações da simulação:

Cobertura – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Paredes exteriores – Parede de tijolo dupla, com caixa-de-ar e reboco nas faces interior e exterior, com aplicação de 6 cm de EPS de alta densidade pelo exterior - $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Pavimento – EPS 33 cm + Bloco de cimento (interior) 10 cm - $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

Presença do sistema solar em teste – sim.

6.2.2.5. Conclusões da 2ª série de simulações

Após os testes de pré dimensionamento efetuados chegou-se à conclusão de que o benefício da aplicação do sistema solar proposto varia conforme o tipo de isolamento térmico existente na envolvente vertical da célula de teste. Caso a solução construtiva das paredes seja a típica construção Portuguesa de dois paramentos de tijolo rebocado com uma caixa-de-ar interna, com um $U = 0,98 \text{ W/m}^2\text{°C}$, o benefício seria cerca de 452.75 kWh por ano.

Se a envolvente vertical exterior da célula de teste for reabilitada com a aplicação de um sistema tipo ETICS com 6 cm de EPS a redução de consumo de energia para aquecimento por via da instalação do sistema solar proposto passa para 547.73 kWh por ano.

Os testes de pré dimensionamento do sistema proposto apontam para uma eficiência da conversão da radiação solar em redução da energia necessária para aquecimento de 32%, nas condições indicadas.

Para este cálculo considerou-se a radiação solar incidente num plano vertical orientado a sul, na cidade do Porto, de Janeiro a Abril e de Outubro a Dezembro. A radiação disponível nestas condições é 670 kWh por ano por m^2 , multiplicando por 2.55 m^2 da área do sistema solar proposto, resulta num valor de 1 708.5 kWh por ano. O valor 543.7 kWh por ano representa cerca de 32% de 1708.5 kWh.

O benefício da aplicação do isolamento térmico, combinado com a aplicação do sistema solar térmico proposto terá um impacto de **2 408.62 kWh** por ano. A verificar-se esta ordem de grandeza de valores nos ensaios a executar, a redução de consumo de energia para aquecimento chega a **43.5%**, dos valores de consumos energéticos medidos inicialmente. Embora uma boa parte da redução do consumo se dever ao isolamento térmico a existência de um elemento que possa aportar energia térmica para o conjunto pode ser um acessório com grande viabilidade económica, como se poderá constatar no ponto seguinte.

6.2.3. PRÉ-AVALIAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO

Apesar de ainda numa fase muito preliminar da avaliação da eficiência do sistema proposto, considerou-se importante ter uma ideia do impacto económico que poderia ter a adoção do sistema solar proposto num edifício, e sua eventual amortização ao longo do tempo. Nesses termos e após conhecer, ainda que de uma forma aproximada a redução do consumo de energia de aquecimento, têm-se valores que permitem fazer alguns cálculos de custo benefício.

O pré dimensionamento da solução solar proposta aponta para uma redução no consumo de energia térmica convencional de cerca de 547.73 kWh por ano, nas condições indicadas.

A transformação desse valor em custo económico vai depender do tipo de energia adotado e do valor da tarifa energética.

Por outro lado, as variações macro económicas na procura e a própria escassez de algumas matérias energéticas irá promover variações desconhecidas nos preços praticados ao consumidor. A tendência será a de subida do valor da energia, num ritmo que se desconhece, embora existam previsões da comissão europeia que apontam para um incremento de 3% ao ano.

Para avaliar o benefício da utilização do sistema proposto deverá utilizar-se um prazo alargado, neste caso, 30 anos que é o valor considerado razoável para a duração de uma ação de reabilitação. Para calcular o valor do custo da energia poderão utilizar-se os valores praticados atualmente, perspetivando uma taxa de aumento do custo da energia similar à que tem sido prática nos anos anteriores.

Seguindo os pressupostos elencados fez-se um cálculo da evolução do custo da energia para os próximos 30 anos, com um aumento de 2.8% ao ano abaixo até do valor previsto pela comissão europeia de 3% ao ano (E3M-Lab: Prof.P Capros, 2013). Para calcular o valor da taxa, utilizou-se o valor de aumento realizado do ano 2013/2014. O valor que resulta desta previsão é absolutamente teórico, mas tendo em conta as tendências atuais, qualquer outra tentativa será igualmente especulativa a esta distância de tempo.

A tabela 17 procura estabelecer uma relação entre o valor de redução do consumo de energia e a evolução do custo da energia.

Segundo este cálculo, ao fim de 30 anos a redução de custos associados ao aquecimento por via unicamente do sistema solar proposto caso a energia utilizada fosse o gás natural seriam 2.265.51€, caso fosse a eletricidade 4.120.79€.

De notar que foi corrigido o valor da eficiência energética dos equipamentos considerados, a caldeira a gás considerada nas simulações tinha uma eficiência de 83%. O valor dos consumos elétricos foram corrigidos para um fator de eficiência de 100%.

Tabela 17 – Redução de consumos de energia para aquecimento promovida pelo sistema solar proposto, e respetiva valorização em função da evolução possível do custo da energia.

Gás natural					Electricidade				
ano	preço kwh	Aumento de 2,8%	redução kWh/ano	valor redução/ano	ano	preço kwh	Aumento de 2,8%	redução kWh/ano	valor redução/ano
2015	0,07310	0,0020468	547	39,99 €	2015	0,1602	0,0044856	454	72,73 €
2016	0,075147	0,00210411	547	41,11 €	2016	0,164686	0,004611197	454	74,77 €
2017	0,077251	0,002163025	547	42,26 €	2017	0,169297	0,00474031	454	76,86 €
2018	0,079414	0,00222359	547	43,44 €	2018	0,174037	0,004873039	454	79,01 €
2019	0,081638	0,002285851	547	44,66 €	2019	0,17891	0,005009484	454	81,23 €
2020	0,083923	0,002349855	547	45,91 €	2020	0,18392	0,00514975	454	83,50 €
2021	0,086273	0,00241565	547	47,19 €	2021	0,189069	0,005293943	454	85,84 €
2022	0,088689	0,002483289	547	48,51 €	2022	0,194363	0,005442173	454	88,24 €
2023	0,091172	0,002552821	547	49,87 €	2023	0,199805	0,005594554	454	90,71 €
2024	0,093725	0,0026243	547	51,27 €	2024	0,2054	0,005751201	454	93,25 €
2025	0,096349	0,00269778	547	52,70 €	2025	0,211151	0,005912235	454	95,86 €
2026	0,099047	0,002773318	547	54,18 €	2026	0,217063	0,006077778	454	98,55 €
2027	0,10182	0,002850971	547	55,70 €	2027	0,223141	0,006247955	454	101,31 €
2028	0,104671	0,002930798	547	57,26 €	2028	0,229389	0,006422898	454	104,14 €
2029	0,107602	0,00301286	547	58,86 €	2029	0,235812	0,006602739	454	107,06 €
2030	0,110615	0,003097221	547	60,51 €	2030	0,242415	0,006787616	454	110,06 €
2031	0,113712	0,003183943	547	62,20 €	2031	0,249202	0,006977669	454	113,14 €
2032	0,116896	0,003273093	547	63,94 €	2032	0,25618	0,007173044	454	116,31 €
2033	0,120169	0,00336474	547	65,73 €	2033	0,263353	0,007373889	454	119,56 €
2034	0,123534	0,003458952	547	67,57 €	2034	0,270727	0,007580358	454	122,91 €
2035	0,126993	0,003555803	547	69,47 €	2035	0,278307	0,007792608	454	126,35 €
2036	0,130549	0,003655366	547	71,41 €	2036	0,2861	0,008010801	454	129,89 €
2037	0,134204	0,003757716	547	73,41 €	2037	0,294111	0,008235104	454	133,53 €
2038	0,137962	0,003862932	547	75,47 €	2038	0,302346	0,008465686	454	137,27 €
2039	0,141825	0,003971094	547	77,58 €	2039	0,310812	0,008702726	454	141,11 €
2040	0,145796	0,004082285	547	79,75 €	2040	0,319514	0,008946402	454	145,06 €
2041	0,149878	0,004196589	547	81,98 €	2041	0,328461	0,009196901	454	149,12 €
2042	0,154075	0,004314093	547	84,28 €	2042	0,337658	0,009454415	454	153,30 €
2043	0,158389	0,004434888	547	86,64 €	2043	0,347112	0,009719138	454	157,59 €
2044	0,162824	0,004559064	547	89,06 €	2044	0,356831	0,009991274	454	162,00 €
			SUB-TOTAL	1.841,88 €				SUB-TOTAL	3.350,24 €
			IVA	423,63 €				IVA	770,55 €
			TOTAL	2.265,51 €				TOTAL	4.120,79 €

Na tabela 18 apresenta-se uma estimativa de redução de custos de aquecimento ao longo dos 30 anos que se prevê seja a duração da reabilitação ao edifício, para o sistema completo incluindo um revestimento em EPS de 6 cm e o sistema solar proposto.

Tabela 18 - Redução de consumos de energia para aquecimento promovida pelo sistema solar proposto e pelo isolamento térmico, e respetiva valorização em função da evolução possível do custo da energia.

Gás natural					Electricidade				
ano	preço kwh	Aumento de 2,8%	redução kWh/ano	valor redução/ano	ano	preço kwh	Aumento de 2,8%	redução kWh/ano	valor redução/ano
2015	0,07310	0,0020468	2408	176,02 €	2015	0,1602	0,0044856	1998	320,08 €
2016	0,075147	0,00210411	2408	180,95 €	2016	0,164686	0,004611197	1998	329,04 €
2017	0,077251	0,002163025	2408	186,02 €	2017	0,169297	0,00474031	1998	338,26 €
2018	0,079414	0,00222359	2408	191,23 €	2018	0,174037	0,004873039	1998	347,73 €
2019	0,081638	0,002285851	2408	196,58 €	2019	0,17891	0,005009484	1998	357,46 €
2020	0,083923	0,002349855	2408	202,09 €	2020	0,18392	0,00514975	1998	367,47 €
2021	0,086273	0,00241565	2408	207,75 €	2021	0,189069	0,005293943	1998	377,76 €
2022	0,088689	0,002483289	2408	213,56 €	2022	0,194363	0,005442173	1998	388,34 €
2023	0,091172	0,002552821	2408	219,54 €	2023	0,199805	0,005594554	1998	399,21 €
2024	0,093725	0,0026243	2408	225,69 €	2024	0,2054	0,005751201	1998	410,39 €
2025	0,096349	0,00269778	2408	232,01 €	2025	0,211151	0,005912235	1998	421,88 €
2026	0,099047	0,002773318	2408	238,51 €	2026	0,217063	0,006077778	1998	433,69 €
2027	0,10182	0,002850971	2408	245,18 €	2027	0,223141	0,006247955	1998	445,84 €
2028	0,104671	0,002930798	2408	252,05 €	2028	0,229389	0,006422898	1998	458,32 €
2029	0,107602	0,00301286	2408	259,11 €	2029	0,235812	0,006602739	1998	471,15 €
2030	0,110615	0,003097221	2408	266,36 €	2030	0,242415	0,006787616	1998	484,34 €
2031	0,113712	0,003183943	2408	273,82 €	2031	0,249202	0,006977669	1998	497,91 €
2032	0,116896	0,003273093	2408	281,49 €	2032	0,25618	0,007173044	1998	511,85 €
2033	0,120169	0,00336474	2408	289,37 €	2033	0,263353	0,007373889	1998	526,18 €
2034	0,123534	0,003458952	2408	297,47 €	2034	0,270727	0,007580358	1998	540,91 €
2035	0,126993	0,003555803	2408	305,80 €	2035	0,278307	0,007792608	1998	556,06 €
2036	0,130549	0,003655366	2408	314,36 €	2036	0,2861	0,008010801	1998	571,63 €
2037	0,134204	0,003757716	2408	323,16 €	2037	0,294111	0,008235104	1998	587,63 €
2038	0,137962	0,003862932	2408	332,21 €	2038	0,302346	0,008465686	1998	604,09 €
2039	0,141825	0,003971094	2408	341,51 €	2039	0,310812	0,008702726	1998	621,00 €
2040	0,145796	0,004082285	2408	351,08 €	2040	0,319514	0,008946402	1998	638,39 €
2041	0,149878	0,004196589	2408	360,91 €	2041	0,328461	0,009196901	1998	656,26 €
2042	0,154075	0,004314093	2408	371,01 €	2042	0,337658	0,009454415	1998	674,64 €
2043	0,158389	0,004434888	2408	381,40 €	2043	0,347112	0,009719138	1998	693,53 €
2044	0,162824	0,004559064	2408	392,08 €	2044	0,356831	0,009991274	1998	712,95 €
			SUB-TOTAL	8.108,32 €				SUB-TOTAL	14.743,99 €
			IVA	1.864,91 €				IVA	3.391,12 €
			TOTAL	9.973,23 €				TOTAL	18.135,11 €

Apesar de ser uma estimativa sem rigor económico, pois desconhece-se o rumo do desenvolvimento tecnológico e as tendências futuras de consumo de energia, esta análise tem um objetivo de relativizar os custos de investimento iniciais, quando existe um longo período de amortização. Não servirá como uma referência rigorosa, mas permite cativar a atenção do utente/consumidor para a importância de investir num sistema sem custos de manutenção com uma rápida amortização, e com mais-valias ao nível da emissão de CO₂.

6.2.4. PRÉ AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂

Um aspeto também importante tendo em conta a conjuntura atual é a redução das emissões de CO₂ que a adoção do sistema proposto permite.

Utilizando os dados obtidos na segunda série de pré simulações térmicas, utilizando o modelo de 80 m², procurou-se quantificar quais as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia necessário para aquecer o modelo para os valores indicados.

Para o efeito dos cálculos considerou-se que o poder calorífico de 1 m³ de gás natural equivale a 10.76 kWh (EDP gas distribuição). Considerou-se igualmente que a queima de 1kWh de gás natural equivale à emissão de 0.548Kg de CO₂ (EIA).

Na tabela 19 é possível observar os valores obtidos, cerca de 3 toneladas de CO₂ emitido por ano para o modelo convencional e pouco menos de 2 toneladas para o modelo melhorado com o sistema solar térmico e isolamento.

Tabela 19 – Calculo de emissões de CO₂ de dois cenários de pré simulação.

Calculo de emissões de CO2			
Simulação	Consumo anual em kWh/h	Kg/Co2/kW g - GN	Emissões CO2 equivalentes
Cenário simulação 5	5537,39 kWh/ano	0,548	3034,5 Kg/Co2/ano
Cenário simulação 8	3581,52 kWh/ano	0,548	1962,7 Kg/Co2/ano

A tabela 20 estabelece a quantidade de emissões de dióxido de carbono evitadas por solução adotada. O isolamento térmico mais o sistema solar proposto evita a emissão de 1319 Kg de CO₂ para a atmosfera, sendo que cerca de 300Kg de CO₂ são da responsabilidade do sistema solar proposto.

Tabela 20 – Calculo de emissões equivalentes de CO₂ evitadas pela adoção do sistema solar térmico e isolamento no modelo informático utilizado na segunda série de simulações.

Calculo de emissões de CO2 evitadas			
Sistema	Consumo anual evitado em kWh/h	Kg/Co2/kW g - GN	Emissões CO2 equivalentes
Solução solar proposta	547 kWh/ano	0,548	299,8 Kg/Co2/ano
Solução solar proposta e isolamento termico EPS 6 cm	2408 kWh/ano	0,548	1319,6 Kg/Co2/ano

Pelos resultados do pré dimensionamento efetuado é possível estimar que a redução de emissões de dióxido de carbono ao fim de 30 anos utilizando a melhor solução (simulação 8) seria de cerca de 39 570 Kg.

Este valor de dióxido de carbono é o equivalente a conduzir um veículo que emita 150 g/CO₂/Km cerca de 6.5 voltas ao planeta Terra.

7.1. INTRODUÇÃO

Sem querer retirar importância ao capítulo das conclusões, o percurso de investigação e criação do sistema proposto deixou em aberto inúmeras possibilidades que poderão vir a ser aproveitadas posteriormente.

Existe a percepção que esta é apenas uma das fases necessárias num processo mais complexo que envolverá mais meios e horas de trabalho. Este documento além de uma dissertação de mestrado poderá servir como um relatório de progresso atual, que condensa o conhecimento obtido durante a investigação, e que servirá para futura referência e consulta.

As conclusões extraídas do processo impõem que exista continuidade no desenvolvimento deste projeto ou de eventuais variantes.

7.2. CONCLUSÕES

Após todo o trabalho de investigação desenvolvido ficou bem claro que o tema selecionado merece continuar a ser desenvolvido pois existem motivos económicos, sociais e ambientais, para o desenvolvimento de tecnologias que aproveitem a energia do sol para a climatização dos edifícios.

Nos países do sul da Europa esta necessidade torna-se mesmo imperativa de forma a melhorar o desempenho dos edifícios e simultaneamente reduzir a dependência de fontes de energia não renovável e importadas. Apesar de ser um tema já muito explorado, na prática ainda não se verifica uma efetiva implementação deste tipo de sistemas, o que se explica parcialmente pela ausência de soluções flexíveis e credíveis no mercado.

No decorrer da pesquisa confirmou-se que as soluções existentes são artesanais e demasiado caras para que possam ser implementadas numa escala em que possam ter algum impacto nas questões energéticas e no mercado imobiliário.

Acredita-se que a solução desenvolvida possa ser uma alternativa válida neste contexto, porque responde de forma eficaz às diversas solicitações da envolvente social económica e ambiental.

As simulações informáticas que foram executadas no pré dimensionamento sugerem que o sistema solar proposto complementado por sistemas de isolamento térmico pelo exterior, permite reduções significativas do consumo de energia para aquecimento. O valor de redução do consumo de energia para aquecimento a 20°C numa célula de teste com 80 m² é de cerca de 44 %.

Caso se verifique que em situações reais, a redução de consumo seja da mesma ordem, obter-se-iam enormes poupanças à escala do país. Multiplicando esse valor de redução de consumos pelo milhão de edifícios que neste momento necessitam de intervenção ao nível da envolvente vertical só em Portugal, obteríamos valores muito significativos, de redução de custos, de redução de emissões de dióxido de carbono e melhorando significativamente as condições de conforto da população.

A evolução do custo da energia que prevê um aumento de cerca de 3% ao ano, em estimativas conservadoras, irá permitir a rápida amortização de qualquer sistema que possa reduzir os consumos de energia.

Nas estimativas que se elaboraram chegou-se à conclusão de que ao fim de 30 anos o benefício económico da instalação do sistema solar proposto combinado com a aplicação de isolamento térmico seria de quase 10 000.00€. Esta estimativa foi feita utilizando o gás natural, uma das energias mais económicas na presente data, caso a energia fosse a eletricidade com uma eficiência de conversão de 100%, o benefício económico seria superior a 18 000.00€.

Tendo em conta que a humanidade enfrenta nas alterações climáticas o maior desafio comum de sempre, todas as técnicas devem ser consideradas para minimizar a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Os resultados do pré dimensionamento sugerem que a utilização do sistema solar proposto em conjunto com o isolamento térmico previsto evitaria a emissão de cerca de 40 toneladas de dióxido de carbono, na vida útil do sistema - 30 anos – nas condições da simulação e caso a energia seja o gás natural.

A solução apresentada representa um primeiro passo no desenvolvimento de um produto com aptidões comerciais, mas que poderá ter variantes que a possam tornar mais apelativa ao consumidor final e que serão trabalhadas posteriormente com a participação de especialistas de outras áreas do conhecimento.

7.3. TRABALHOS FUTUROS

As simulações informáticas deverão ser complementadas por testes em ambientes reais de forma a confirmar efetivamente as conclusões a que foi possível chegar nesta fase. Nesse sentido foi já construído um protótipo que poderá ser utilizado em células de teste por períodos alargados. O protótipo tem uma dimensão normalizada para facilitar a extrapolação de dados. O desenvolvimento dessa experiência necessita de pelo menos um ano de recolha de dados, além da posterior análise de resultados o que excede largamente o tempo previsto para este trabalho. Prevê-se que o trabalho de investigação continue até que existam provas irrefutáveis dos benefícios do sistema proposto. Pretende-se que a parceria com a Universidade do Minho continue, independentemente do formato, para que este projeto se possa tornar realidade.

O percurso de pesquisa desenvolvido abriu as portas à conceptualização de inúmeras outras variantes, como por exemplo a integração de sistemas de produção de energia elétrica via sistemas fotovoltaicos. Essa é uma das vias que irá ser explorada, uma vez que os módulos solares fotovoltaicos têm tido uma queda abrupta de preços e a legislação que regula a sua implementação foi simplificada. A possibilidade de gerar energia elétrica pode ser um complemento interessante a uma solução de aproveitamento solar térmico, até como forma de unificar duas tecnologias distintas que tiram partido da mesma fonte energética.

Outra vertente que será também estudada, será a possibilidade de integrar sistemas de ventilação mecânica com aproveitamento térmico, pois verificou-se nas simulações efetuadas que grande parte das perdas térmicas dos modelos se verificou serem devidas às necessárias renovações de ar interior.

Pretende-se que, com a ajuda de especialistas das mais variadas áreas se consiga reunir uma equipa multidisciplinar motivada para levar este projeto agora iniciado, ao nível seguinte de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(DE ACORDO COM A NORMA ISO 690)

An outcome of the Concerted Action EPBD. 2008. *Implementation of the Energy Performance of Buildings Directive, Country reports 2008*. Brussels : European Commission, 2008.

ASHRAE. 2010. *Standard 55-2010 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy(ANSI approved)*. s.l. : ASHRAE, 2010.

Associação Portuguesa para o ensino da astronomia. 2014. Associação Portuguesa para o ensino da astronomia. *Associação Portuguesa para o ensino da astronomia*. [Online] 15 de 08 de 2014. <http://oal.ul.pt>.

Augé, Marc. 1992. *Non-lieux , introduction à une anthropologie de la surmodernité*. s.l. : Seuil, 1992.

Autodesk inc. ecotect-analysis. [Internet] <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/> : Autodesk inc.

builditsolar 2013. <http://www.builditsolar.com/>. *builditsolar*. [Online] <http://www.builditsolar.com/>.

CEN. 2007. *Indoor environmental input parameters for design and*. s.l. : CEN, 2007.

Cerdeira, César Eduardo Carvalho. 2011. *Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais*. s.l. : Universidade do Minho, 2011.

Commission of the European Communities. 1990. *The passys test cells*. Brussels : BBRI, 1990.

Conserval Engineering Inc. solarwall. solarwall.com. [Online] [Citação: 03 de 08 de 2015.] <http://solarwall.com>.

Cruz, Joana Maria Peixoto Bogas e Paulo. 2011. *Fachadas de vidro, explorar os limites da utilização do vidro na construção*. s.l. : Universidade do Minho, 2011.

Dagol. Dagol. Dagol. [Online] [Citação: 08 de 08 de 2015.] www.dagol.pt.

Daikinme. 2015. Daikinme. *Daikinme*. [Online] 12 de 1 de 2015. http://www.daikinme.com/vrv-iv/continuous_heating/.

Decreto Lei 118/2013. 2013. Decreto Lei 118/2013. *Diario da Republica*. 20 de 08 de 2013.

Decreto-Lei 80/2006 . 2006. Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). Lisboa : Diário da República, I Série – A, n.67, 4 de Abril de 2006.

Design builder software Ltd. *Design Builder*. <http://www.designbuilder.co.uk/> : s.n.

domoheat. 2015. domoheat. *domoheat sistemas de aquecimento para grandes espaços*. [Online] 11 de 8 de 2015. www.domoheat.com.

Dyplast products. 2010. Customer bulletin 07-10. *Dyplastproduts.com*. [Online] 2010. [Citação: 15 de 7 de 2013.] http://www.dyplastproducts.com/Customer_Bulletins/Customer_bulletin_0710.pdf.

E3M-Lab: Prof.P Capros, a. de Vita, N.Tasios, D. Papadopoulos, P.Siskos, E.Apostolaki, M. Zampara, L. Paroussos, K. Fragiadakis, N.Kouvaritakis, et al. 2013. *EU ENERGY, TRANSPORT AND GHG EMISSIONS TRENDS to 2050*. Luxemburg : Publications office of the european union, 2013.

ECBCS annex 50. 2011. *ECBCS project fact sheet annex 50*. s.l. : IEA, 2011.

EDP. EDP origens da electricidade. *EDP origens da electricidade*. [Online] [Citação: 15 de setembro de 2015.] <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>.

EDP gas distribuição. EDP gas distribuição. *EDP gas distribuição*. [Online] [Citação: 20 de 10 de 2015.] <http://www.edpgasdistribuicao.pt/index.php?id=484>.

EDP2015. Edp serviço universal. *Edp serviço universal*. [Online] [Citação: 15 de Setembro de 2015.] <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>.

EIA. EIA - FAQ. *EIA - FAQ*. [Online] [Citação: 20 de 10 de 2015.] <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=74&t=11>.

EPA. 1986. *solid waste report*. s.l. : Enviromental protection Agency, 1986.

gap-solution. 2014. gap-solution. *gap-solution*. [Online] 12 de 08 de 2014. www.gap-solution.at.

google inc. sketchup. *sketchup*. [Online] google inc. [Citação: 15 de 01 de 2015.] <http://www.sketchup.com/>.

Hall, Edward G. eghall.com. *eghall*. [Online] [Citação: 11 de 08 de 2013.] <http://www.eghall.com/>.

he, Wei. 2007. PV-Trombe Wall Design for Buildings in Composite Climates. *Journal of Solar Energy Engineering*. 11 de 2007.

Healy, John D. 2002. *Housing conditions, energy efficiency, affordability and satisfaction with housing: a pan european analysis*. Dublin : University College Dublin, 2002.

IEA ECBCS Annex 50. 2011. *Retrofit Module Design Guide*. s.l. : IEA, 2011.

Ineti. Dez 2005. *Edifício Solar XXI*. Lisboa : Ineti, Dez 2005.

Instituto Nacional de estatística. 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. s.l. : INE e DGEG, 2011.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007, Synthesis Report*. s.l. : IPCC, 2007.

Isodur. Isodur. *Isodur*. [Online] [Citação: 05 de 08 de 2015.] www.isodur.pt.

Jalali, F.Pacheco Torgal e Said. 2010. *A sustentabilidade dos materiais de construção*. s.l. : Tecminho, 2010.

Jardim, Fátima Maria Gomes. 2009. *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. 2009.

Kachadorian, James. 1992. *The passive solar house*. s.l. : Chelsea Green, 1992.

LI, XIANDE FANG e YUANZHE. 1999. *Numerical simulation and sensivity analysis of lattice passive solar heating walls*. Beijing, China : s.n., 1999.

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1996. *Estudo sobre a Durabilidade de Placas de EPS usadas no Isolamento Térmico de Edifícios*. s.l. : LNEC, 1996.

LNEG. *SolTerm - Análise de desempenho de sistemas solares*. <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/> : s.n.

Marina Economidou et all. 2011. *Europe's buildings under the microscope*. s.l. : Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.

Matias, Carlos A. Pina dos Santos e Luis. 2006. *Coeficientes de transmissão termica de elementos da envolvente dos edificios.* s.l. : LNEC, 2006.

Moita, Francisco. 1987. *Energia Solar passiva.* Lisboa : Imprensa nacional casa da moeda, 1987.

— . **2010.** *Energia Solar Passiva.* s.l. : Argumentum, 2010.

OECD/IEA,. 2011. *Technology Roadmap, Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment.* 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France : International energy Agency, 2011.

Oficinadeobras. 2015. *Oficinadeobras. Oficinadeobras.* [Online] 12 de 06 de 2015. <http://Oficinadeobras.blogspot.com>.

Pordata e INE. 2013. *pordata.* <http://www.pordata.pt>. [Online] 10 de 6 de 2013. [Citação: 10 de 6 de 2013.]

Portugal é onde mais se morre devido ao frio. noticias, Jornal de. **2009.** Porto : Jornal de noticias, 08 de 04 de 2009, Jornal de Noticias.

Ramalheira, Francisco José Carvalho. 2005. *Manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados.* s.l. : FEUP, 2005.

Republica, Diario da. 2014. DL - 153. *Diario da Republica.* 20 de 10 de 2014.

S.V.Szokolay. 1983. *Arquitectura solar.* s.l. : Blume, 1983.

Saint Gobain. *Guias tecnicos da Saint Gobain glass.* s.l. : Saint Gobain.

Serra, Rafael. 2000. *Arquitectura y Climas.* s.l. : GG, 2000.

Shen et al Shen, J., et al. 2007. Numerical study on the thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls. *Energy and Buildings.* s.l. : elsevier, 2007, pp. 962–974.

solarwall.com. <http://solarwall.com/en/home.php>. *solarwall.com.* [Online] [Citação: 11 de 08 de 2013.] <http://solarwall.com/en/home.php>.

somfy. 2014. *somfystore. somfystore.* [Online] 14 de 10 de 2014. www.somfystore.com.

Standardization, International Organization for. 2005. *ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment*. s.l. : International Organization for Standardization, 2005.

The European Parliament and the council of the European Union. 2010. directive 2010/31EU on the energy performance of buildings. 2010.

—. **2010.** Directive on the energy performance of buildings (recast). May de 2010.

U.S. Department of Energy . *Energy Plus*. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> : s.n.

US department of energy. 2012. active solar heating. *Energy.gov*. [Online] 06 de 2012. <http://energy.gov/energysaver/articles/active-solar-heating>.

Wells, Bruce Anderson e Malcolm. 1981. *Passive Solar Energy -- The Homeowner's Guide to Natural Heating and Cooling*. s.l. : Brick House Pub Co , 1981.

yoursolarhome. <http://www.yoursolarhome.com>. *yoursolarhome*. [Online] [Citação: 11 de 08 de 2013.] <http://www.yoursolarhome.com>.

Zimmermann, Mark. 2012. *ECBCS Annex 50 Prefabricated Systems for low energy Renovaion of residential buildings* . s.l. : International Energy Agency, 2012.