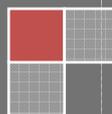


Catálogo de Soluções de Reabilitação Energética de Edifícios

Elaborado no âmbito dos projetos
FCT FCOMP-01-0124-FEDER-007189 – financiado pelo Programa
Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE
e
IEA/ECBCS Annex 50



CATÁLOGO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Elaborado no âmbito do projeto:

REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

FCT FCOMP-01-0124-FEDER-007189

Financiado pelo Programa Operacional Fatores de Competitividade

COMPETE

Manuela Almeida e Pedro Silva

ISBN: 978-989-96543-4-1

ÍNDICE

ÍNDICE DE QUADROS.....	iii
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – MÓDULO DE REABILITAÇÃO PREFABRICADO	3
2.1 CONCEITOS SUBJACENTES	3
2.2 PRODUÇÃO.....	5
2.3 DIMENSIONAMENTO	6
2.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS	7
2.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR	9
3 – MÓDULOS DE REABILITAÇÃO ESTANDARDIZADOS SEMI-PREFABRICADOS	11
3.1 CONCEITOS SUBJACENTES	11
3.2 PRODUÇÃO.....	12
3.3 DIMENSIONAMENTO	12
3.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS	16
3.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR	18
4 – MÓDULOS DE FACHADA PREFABRICADOS DE GRANDE DIMENSÃO.....	21
4.1 CONCEITOS SUBJACENTES	21
4.2 PRODUÇÃO.....	22
4.3 DIMENSIONAMENTO	23
4.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS	24
4.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR	27
5 – MÓDULOS DE REABILITAÇÃO PREFABRICADOS DE GRANDES DIMENSÕES	29
5.1 CONCEITOS SUBJACENTES	29
5.2 PRODUÇÃO.....	30
5.3 DIMENSIONAMENTO	32
5.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS	33
5.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR	34
6 – RESUMO	36
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
8 – PARCERIAS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Módulo de Reabilitação Prefabricado (MRP).....	6
Figura 2 – Materiais que compõem o módulo (vista de topo).....	6
Figura 3 – Dimensões dos perfis laterais dos módulos e da estrutura de suporte	7
Figura 4 – Sistema de encaixe do módulo na subestrutura	8
Figura 5 – Ligação topo/base	8
Figura 6 – Elemento de remate para janelas e portas	9
Figura 7 – Vista de topo do módulo com orifício para passagem de tubagens	9
Figura 8 – Composição do módulo base de reabilitação.....	13
Figura 9 – Vista em planta do painel aplicado à parede do edifício a reabilitar	13
Figura 10 – Secção de corte do painel.....	14
Figura 11 – Fachada rebocada.....	15
Figura 12 – Fachada ventilada	15
Figura 13 – Fachada com isolamento insuflado.....	16
Figura 14 – Processo de montagem do módulo	17
Figura 15 – Pormenor do isolamento dúctil junto à parede existente	17
Figura 16 – Valores de U ao longo do módulo de reabilitação	19
Figura 17 – Ductos de ventilação.....	20
Figura 18 – Composição do módulo	23
Figura 19 – Detalhe do módulo prefabricado aplicado a uma parede existente.....	24
Figura 20 – Transporte do módulo até ao local e montagem	25
Figura 21 – Secção de corte com pormenor das juntas horizontais dos módulos	25
Figura 22 – Pormenor da ligação entre o módulo e o envidraçado	26
Figura 23 – Pormenor do canto do edifício.....	26
Figura 24 – Pormenor de favo solar	27
Figura 25 – Variação de temperatura no painel durante o dia e durante a noite	27
Figura 26 – Produção do módulo de reabilitação prefabricado.....	32
Figura 27 – Colocação dos elementos de fixação	33
Figura 28 – Primeira camada de isolamento	33
Figura 29 – Instalação das janelas no módulo.....	34
Figura 30 – Isolamento entre os módulos	34
Figura 31 – Colocação do revestimento.....	34

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades térmicas dos materiais	19
--	----

1 – INTRODUÇÃO

A reabilitação de edifícios é um sector de relevância crescente no contexto nacional, levando a uma progressiva expansão do mercado de soluções.

As soluções de reabilitação da envolvente dos edifícios, nomeadamente de fachadas, procuram ter um processo de instalação cada vez mais rápido e prático sem descurar o controlo da qualidade, necessário para um bom desempenho final da envolvente.

Este catálogo contém algumas soluções de reabilitação de fachadas prefabricadas desenvolvidas para a reabilitação de edifícios multifamiliares. As soluções foram desenvolvidas no âmbito do projeto IEA ECBCS Annex 50 “Sistemas Prefabricados para uma Reabilitação de Baixo Consumo de Energia de Edifícios Residenciais”, da Agência Internacional de Energia. O objetivo é apresentar uma ferramenta conceptual de apoio a fabricantes e *designers* para avaliar as possibilidades para uma reabilitação eficiente de edifícios existentes de forma a valorizar a sua envolvente. Destina-se também a promover a colaboração e facilitar o processo de desenvolvimento do projeto, abrangendo apenas o *design* e a construção de módulos de reabilitação.

Para o desenvolvimento dos sistemas de reabilitação prefabricados foram tidos em conta os seguintes aspetos:

- Os módulos são construídos em série;
- Os módulos são flexíveis na arquitetura, forma e revestimento;
- Os módulos podem ser combinados uns com os outros e com soluções de reabilitação convencionais (sem prefabricação).

Existem duas abordagens diferentes para a criação dos módulos de reabilitação (Mark Zimmermann, 2011):



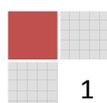
- Uma solução totalmente prefabricada, com módulos que envolvem toda a fachada do apartamento a reabilitar;



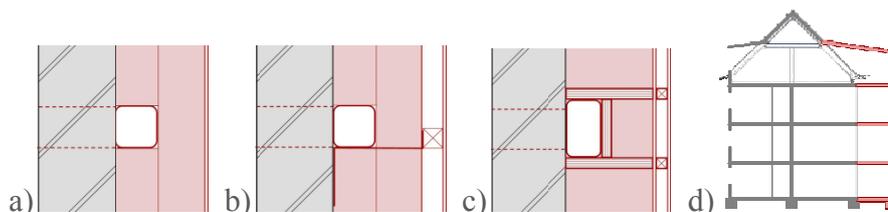
construção.

- Uma solução semi-prefabricada, com módulos prefabricados concentrados na zona dos envidraçados, área onde se concentram mais pormenores de

No âmbito deste projeto foram desenvolvidos diferentes tipos de módulos prefabricados para a reabilitação das fachadas dos edifícios. O isolamento da fachada compacta (a)



baseia-se num isolamento convencional pelo exterior com poliestireno ou lã mineral e revestimento final em estuque. O isolamento da fachada ventilada (b) consiste num isolamento de lã mineral e um revestimento exterior prefabricado tipo fachada ventilada, fixado através de um sistema de montagem também prefabricado. O módulo de fachada integrado prefabricado (c) é composto por lã mineral, isolamento em espuma ou vácuo e revestimento ventilado em que todo o sistema é prefabricado, incluindo janelas e sistema de tubagens embutidas. O módulo para ampliação de espaço (d) trata-se de uma fachada leve e prefabricada adequada à integração de varandas no espaço habitável.



Tipologia dos módulos de reabilitação de fachadas

Estes quatro tipos de módulos representam conceitos que podem vir a ser alterados e otimizados para aplicações futuras.

Descrevem-se de seguida as soluções de reabilitação de fachada desenvolvidas no âmbito do referido projeto.

2 – MÓDULO DE REABILITAÇÃO PREFABRICADO

O Módulo de Reabilitação Prefabricado (MRP) é da autoria do Doutorando Pedro Silva e foi desenvolvido na Universidade do Minho em parceria com a empresa DST S.A., ao abrigo do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-007189 intitulado “Reabilitação Energética de Edifícios”, assim como do projeto ECBCS IEA Annex 50 da Agência Internacional de Energia.

O painel foi desenvolvido para aplicação em fachadas de edifícios e pretende ser uma solução que melhore o desempenho térmico da mesma, que permita um processo de reabilitação rápido, causando reduzido incómodo aos utilizadores dos edifícios e que resulte numa obra com encargos económicos de pouca dimensão (Mark Zimmermann, 2011), (Peter Schwehr, Robert Fischer, Sonja Geier, 2011), (René L. Kobler et al, 2011).

2.1 CONCEITOS SUBJACENTES

Em Portugal, as soluções construtivas de fachada têm evoluído ao longo das décadas, desde a alvenaria de pedra de grande espessura até às soluções mais leves e delgadas utilizadas atualmente.

Um dos problemas encontrados nos edifícios existentes é a falta de isolamento térmico das fachadas ou o seu deficiente desempenho térmico, o que origina grandes perdas energéticas e obriga a um gasto excessivo de energia para manter as condições de conforto dos ocupantes no interior do edifício.

É neste contexto que surge o conceito de reabilitação energética de edifícios que tem por missão reduzir as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação sem descurar o conforto dos utilizadores do edifício. Em alguns casos, este tipo de reabilitação permite mitigar patologias relacionadas com a presença de humidade e, sendo a fachada o elemento associado à estética dos edifícios, melhorar consideravelmente este aspeto que muitas vezes se encontra bastante deteriorado.

O objetivo é desenvolver conceitos para uma reabilitação eficiente relativamente ao consumo de energia, aproveitamento da energia solar, garantia de conforto térmico, desempenho térmico, acústico, iluminação, etc. de edifícios. O âmbito deste projeto centrou-se essencialmente em edifícios residenciais.

Reabilitação energética dos edifícios

O módulo de reabilitação de fachadas desenvolvido (MRP) pretende aumentar a eficiência energética dos edifícios através da sua constituição, maioritariamente, em material isolante. O seu *design* possibilita a integração de tubagens novas ou existentes no seu interior, o que se torna uma mais-valia para o edifício a nível estético e a nível funcional. Com o isolamento das tubagens de água quente e do sistema de aquecimento e/ou arrefecimento, as perdas contínuas que poderiam existir ao longo das tubagens são minimizadas, aumentando também a eficiência dos sistemas utilizados.

Por outro lado, prevê-se também a hipótese de aplicar grelhas de insuflação / retorno para a aplicação de ventilação mecânica ou natural.

Aspectos ecológicos

Para a escolha dos materiais a incorporar no módulo e na própria estrutura do módulo foram consideradas as questões ambientais. Na escolha dos materiais foi ponderada a possibilidade de reutilização e reciclagem, minimizando os impactos associados à produção do painel. Aquando da escolha dos materiais foi também tida em linha de conta a energia incorporada dos materiais utilizados, isto é, a energia despendida na sua produção, no seu transporte e na sua aplicação.

Aceitação por parte dos utilizadores

O processo de instalação do módulo de reabilitação de fachadas nas paredes existentes do edifício é bastante rápido e fácil e implica apenas uma intervenção pelo exterior do edifício. Isto permite reduzir os transtornos causados aos moradores do edifício a reabilitar e envolve também um menor investimento económico uma vez que os custos de mão-de-obra são reduzidos. Estes fatores são de grande importância para a aceitação da solução por parte dos utilizadores finais.

Qualidade de execução

Uma vez que o módulo é produzido em fábrica, eliminam-se quaisquer riscos de má execução do módulo pois existe um maior controlo da sua qualidade promovendo o rigor da sua execução. A prefabricação não é influenciada por fatores como o clima, o que aumenta a rapidez de produção dos módulos.

2.2 PRODUÇÃO

O projeto de investigação científica e desenvolvimento tecnológico “Reabilitação Energética de Edifícios” culminou com a conceção, caracterização e produção dos protótipos MRP que também constituíram a contribuição de Portugal para o projeto IEA ECBCS Annex 50.

A empresa DST, SA foi responsável pela produção dos protótipos do módulo de reabilitação prefabricado. No entanto, alguns dos materiais incorporados no módulo foram gentilmente cedidos por algumas empresas que os comercializam. O revestimento exterior em alumínio do painel foi fornecido pela empresa INOR IBERICA, SA e o aglomerado negro de cortiça foi cedido pela empresa portuguesa SOFALCA, Ltd.

O Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC), situado na Escola de Engenharia da Universidade do Minho, foi responsável pelo estudo do comportamento térmico do módulo e pela sua otimização em termos de desempenho energético. A caracterização e otimização do sistema tiveram lugar nas Células de Teste do LFTC.

Os materiais utilizados na produção do módulo foram criteriosamente escolhidos:

- O aglomerado negro de cortiça é um produto nacional, abundante, sem aditivos, 100% reciclável, com uma densidade de 110kg/m^3 e uma condutividade térmica de $0,045\text{W/m}^\circ\text{C}$.
- O poliestireno extrudido (XPS) foi escolhido por permitir a modulação para colocação das tubagens pelo interior do painel. É também um dos materiais mais utilizados para isolamento e, como tal, encontra-se disponível no mercado a um preço competitivo, obedecendo às disposições ambientais europeias referidas na Diretiva EC2037 de 29 de Junho de 2000.
- O alumínio utilizado no revestimento exterior do painel é também um material 100% reciclável, leve, de grande durabilidade, resistência e flexibilidade, maleável e encontra-se disponível numa vasta variedade de cores e texturas.

2.3 DIMENSIONAMENTO

De uma forma geral, o módulo de reabilitação desenvolvido (Figura 1) tem as dimensões de 1m x 1m e é composto por um revestimento interior de alumínio (6mm); uma barreira para vapor; aglomerado negro de cortiça (20mm); perfil em U de aço (1,5mm); isolamento em poliestireno extrudido – XPS (120mm); aglomerado negro de cortiça (30mm); revestimento exterior de alumínio (6mm) como se vê na Figura 2.



Figura 1 – Módulo de Reabilitação Prefabricado (MRP)

Esta solução tem uma espessura de 17,7cm e um peso de cerca de 12kg/m^2 . Espera-se que da sua aplicação resulte uma melhoria na resistência térmica da envolvente exterior de cerca de $4\text{m}^2\text{C/W}$, considerando a média ponderada da resistência térmica de todas as zonas constituintes do painel.

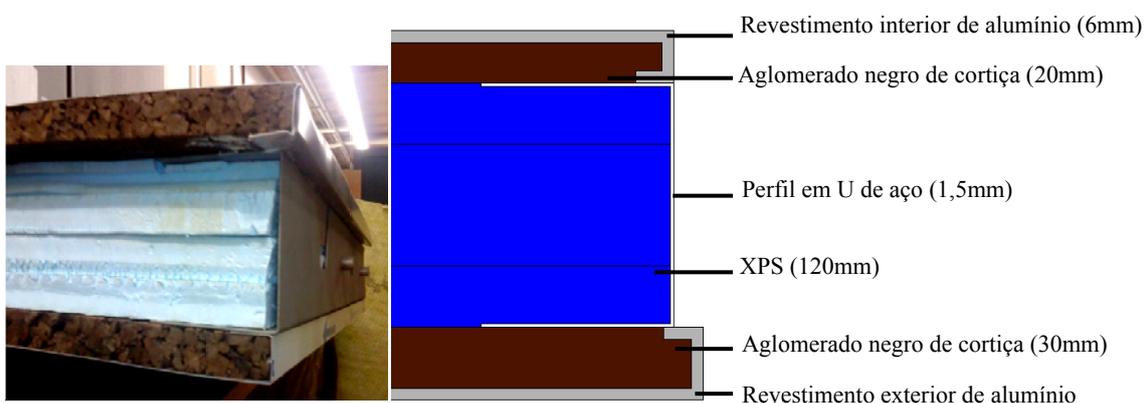


Figura 2 – Materiais que compõem o módulo (vista de topo)

2.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS

A interface entre o painel e o edifício é realizada através de uma estrutura de suporte metálica que depois de fixada no paramento exterior do edifício permite o encaixe e colocação do módulo. A Figura 3 mostra as dimensões dos perfis laterais e da estrutura de suporte do painel e a Figura 4 ilustra a colocação do módulo nesta estrutura instalada na parede exterior do edifício a reabilitar.

A ligação entre os vários componentes do módulo é feita por colagem, pois permite a distribuição uniforme das cargas aplicadas.

Os módulos utilizam um sistema de pernos e ranhuras para a ligação lateral como se pode ver na Figura 3.

Os módulos devem ser colocados da direita para a esquerda, devido ao sistema de encaixe existente na lateral. Os pernos na lateral do módulo encaixam na estrutura de suporte e na ranhura do módulo que se encontra imediatamente ao lado (Figuras 3 e 4). A ligação do topo e base é feita por sistema de encaixe, conforme o esquematizado na Figura 5.

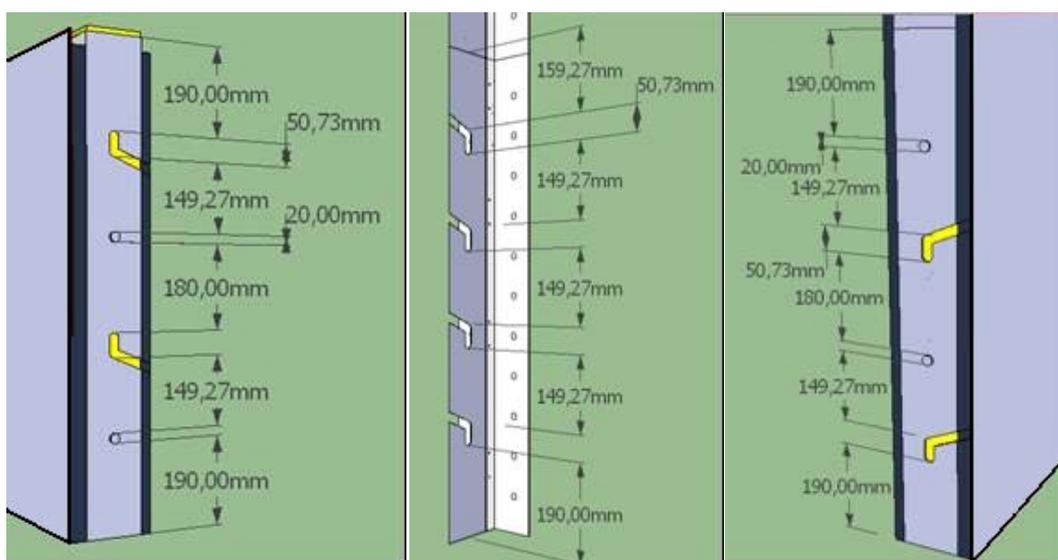


Figura 3 – Dimensões dos perfis laterais dos módulos e da estrutura de suporte

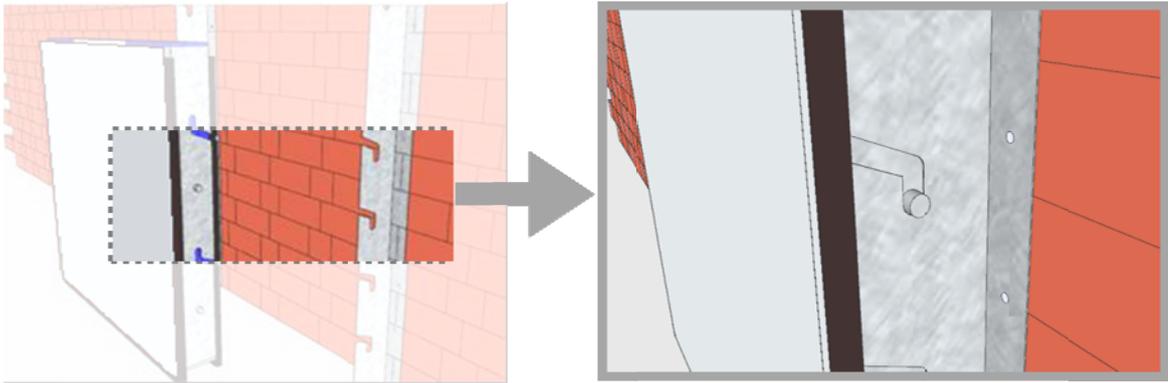


Figura 4 – Sistema de encaixe do módulo na subestrutura

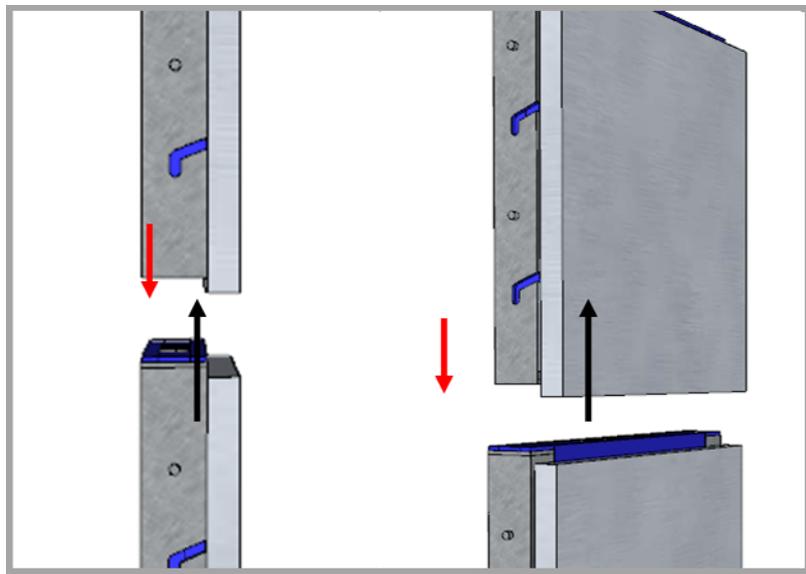


Figura 5 – Ligação topo/base

Para os peitoris e ombreiras (Figura 6) o módulo será cortado e será colocado uma chapa de alumínio, igual ao revestimento exterior. Deste modo não será retirada área ao envidraçado existente. A ligação desse elemento ao módulo e à parede existente será colada, recorrendo a uma argamassa própria para o efeito.

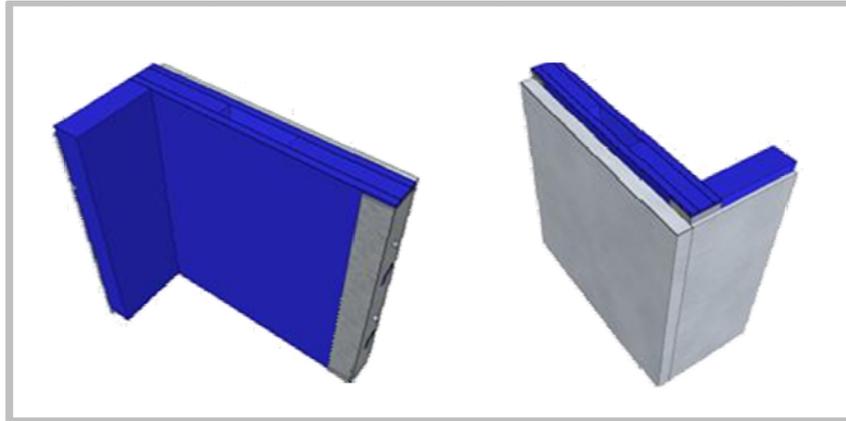


Figura 6 – Elemento de remate para janelas e portas

Caso seja necessário colocar novas tubagens ou resguardar as tubagens já existentes, será criada no interior do painel MRP uma abertura que permite a passagem dessas mesmas tubagens como se pode ver na Figura 7.



Figura 7 – Vista de topo do módulo com orifício para passagem de tubagens

2.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

A principal função do módulo MRP é melhorar o desempenho térmico da fachada do edifício a reabilitar aumentando-lhe a sua resistência térmica. O edifício a reabilitar terá necessariamente que cumprir as exigências do Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e por isso a nova fachada terá obrigatoriamente que apresentar um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) inferior ao máximo regulamentar. Para além disso, deve permitir uma melhoria significativa no seu desempenho o que se deve traduzir num valor do coeficiente U bastante inferior ao valor de referência.

O regulamento divide o país em três zonas climáticas de inverno, sendo a mais rigorosa a zona I3. Para esta zona climática, o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível dos elementos exteriores em zona corrente opaca vertical é de $1,45\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ e o valor de referência para a mesma zona é de $0,50\text{W}/\text{m}^2\text{C}$.

O objetivo inicial deste projeto era o de reduzir em 50% o valor do coeficiente de transmissão térmica de referência, isto é, chegar a um valor de $0,25\text{W/m}^2\text{C}$, na pior das situações.

O módulo de reabilitação prefabricado desenvolvido, após processo de otimização que envolveu cuidadosa seleção dos materiais utilizados e respectivas espessuras, chegou a um valor de $0,22\text{W/m}^2\text{C}$ para o coeficiente de transmissão térmica.

3 – MÓDULOS DE REABILITAÇÃO ESTANDARDIZADOS SEMI-PREFABRICADOS

O módulo de reabilitação descrito neste capítulo foi desenvolvido por uma equipa de investigação suíça e como tal, foi adaptado às características do clima local.

Os seus autores são René Kobler, Prof. Armin Binz, Gregor Steinke, a Universidade de Ciências Aplicadas do nordeste da Suíça, a Escola de Arquitetura, Engenharia Civil e Geomática, e o Instituto de Energia nos Edifícios (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011).

3.1 CONCEITOS SUBJACENTES

O conceito de prefabricação usado está associado à prefabricação total, ou seja, à instalação de unidades de grande porte sobre toda a superfície dos edifícios existentes. Esta técnica tem sido implementada com algum sucesso na Europa central. As dimensões dos módulos prendem-se com as dimensões da fachada e também com as limitações logísticas no que toca ao transporte das estruturas. Devem ainda ser tidos em conta os seguintes aspetos:

- O esforço envolvido na medição in-situ da fachada;
- O processamento das dimensões do módulo em fábrica;
- As tolerâncias, incluindo as das juntas entre as unidades de grande dimensão;
- O peso dessas unidades de grande dimensão;
- O alinhamento e a suspensão dos módulos;
- Pouca repetição de detalhes e grande quantidade de detalhes específicos do projeto.

3.2 PRODUÇÃO

A integração dos produtos produzidos pelos parceiros industriais nos módulos de fachada desenvolvidos garante a disponibilidade no mercado dos produtos e componentes necessários com a qualidade exigida. As empresas que deram o seu contributo para a produção do painel de reabilitação encontram-se na Suíça, por ter sido este o local onde foi desenvolvido o painel.

Os módulos de fachada foram produzidos pela empresa Bächli Holzbau AG Rietweg 7, pois é uma empresa que possui o *know-how* necessário para a construção de grandes superfícies em madeira com alta qualidade. A empresa possui também um sistema de transporte especial, adequado ao transporte eficiente das peças de grande dimensão produzidas.

A nível de caixilharias e envidraçados, os parceiros industriais foram o Grupo 4B, EgoKiefer AG, Ernst Schweizer Metallbau e a empresa Swisswindows AG.

As empresas que comercializam o isolamento térmico utilizado pelo painel foram a Flumroc AG (lã de rocha), Isofloc AG (isolamento térmico de celulose), Saint-Gobain Isover SA (lã de vidro), Swisspor AG (principais tecnologias para isolamento e impermeabilização de toda a envolvente dos edifícios).

A empresa Neofas AG tem experiência no domínio da tecnologia de isolamento em vácuo. Esta técnica consiste em pó de sílica selado numa câmara de vácuo numa embalagem de alumínio à prova de gás. Este tipo de isolamento possui uma espessura muito reduzida e um ótimo desempenho térmico. Uma outra empresa que comercializa este tipo de isolamento térmico é a ZZ Wancor AG.

Os materiais de revestimento da fachada ficaram a cargo da empresa Eternit, que comercializa, entre muitos outros produtos, uma vasta variedade de painéis de fachada em fibrocimento. Este material oferece uma ampla variedade de formatos, formas e cores.

3.3 DIMENSIONAMENTO

Essencialmente, o módulo é constituído por: 1) uma camada de regularização colocada na parede exterior existente; 2) uma estrutura de suporte de carga com uma camada de isolamento, tubagens e fios; 3) uma segunda camada de material isolante com sistema de sombreamento, onde a espessura do isolamento pode ser escolhida dependendo do valor do coeficiente de transmissão térmica (U) desejado e 4) uma camada de revestimento que pode ser pré-fabricada e entregue com o módulo, ou montada no local (Figura 8).

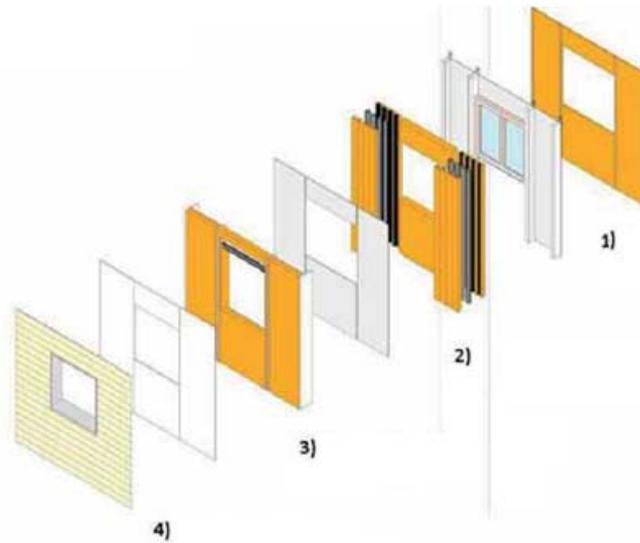


Figura 8 – Composição do módulo base de reabilitação (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

Em média a espessura do painel é de 320mm, variando consoante o nível de isolamento térmico pretendido e consoante o diâmetro dos ductos de ventilação utilizados (Figura 9).

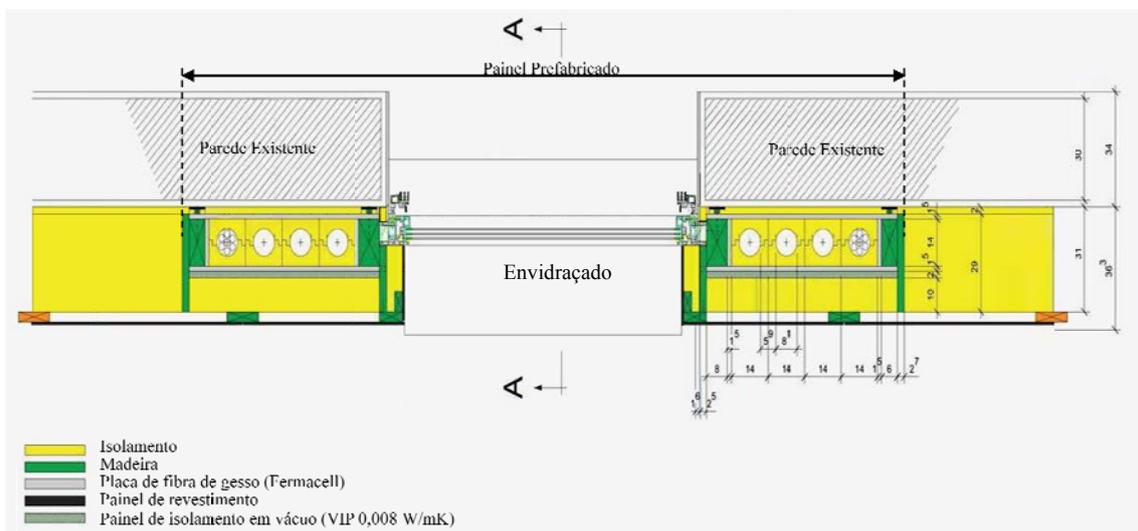


Figura 9 – Vista em planta do painel aplicado à parede do edifício a reabilitar (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

Entre cada módulo de reabilitação existe uma margem de tolerância de 2cm. A altura do módulo será igual à altura do piso menos essa tolerância, ou seja, no caso de o piso ter 2,7m de altura o módulo terá 2,68m (Figura 10).

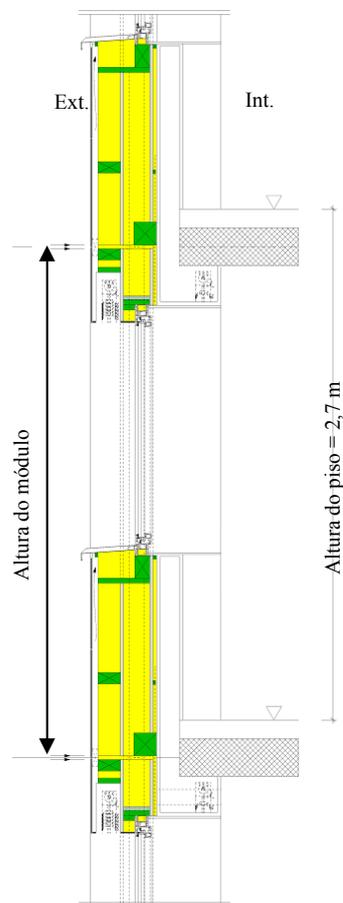


Figura 10 – Secção de corte do painel (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

Neste módulo base é possível implementar alguns ajustes: de acordo com o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) pretendido, de acordo com a transferência de calor entre os ductos de ventilação e o ambiente exterior, de acordo com requisitos estruturais, fazer ajustes dimensionais para adaptação do módulo a diferentes dimensões dos envidraçados, ajuste do número de ductos de ventilação, utilização dos ductos de ventilação para colocação de outras instalações de serviços no edifício, adaptações funcionais, ajustes nos acabamentos e integração de sistemas de energia solar.

Para além do módulo base para reabilitar a zona dos envidraçados, existem outras soluções desenvolvidas para serem utilizadas entre os módulos na restante superfície opaca da fachada. Dependendo do que é pretendido pelo projeto pode optar-se pela

colocação de um módulo do tipo fachada rebocada (Figura 11) ou fachada ventilada (Figura 12) ou ainda uma fachada com isolamento insuflado no interior (Figura 13).

O primeiro tipo de módulo acima mencionado reproduz o aspeto de uma fachada com reboco exterior e permite à nova fachada ter a aparência da anteriormente existente. O seu interior pode ser composto por isolamento térmico ou painéis de fibra de madeira fixados na estrutura de suporte, dependendo do sistema pretendido. Deve ser dada especial atenção às juntas de dilatação existentes entre os módulos.

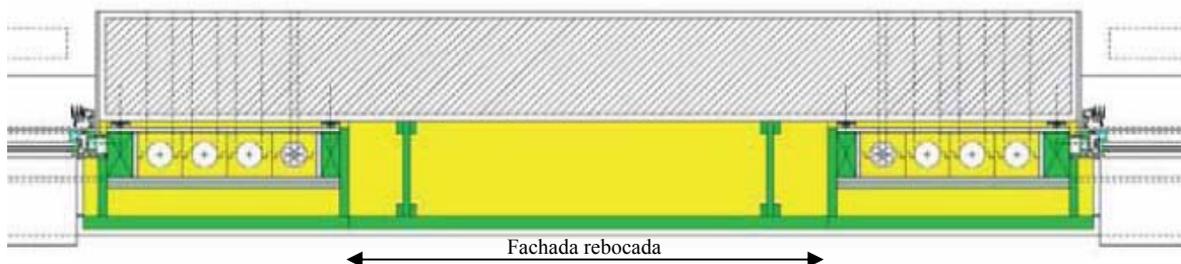


Figura 11 – Fachada rebocada (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

O módulo de fachada ventilada foi criado de acordo com o conceito tradicional de fachada ventilada, sendo válidos os métodos de aplicação e as propriedades físicas dos sistemas correntes. O isolamento pode ter uma espessura até cerca de 300mm e é fixado por um sistema de buchas.

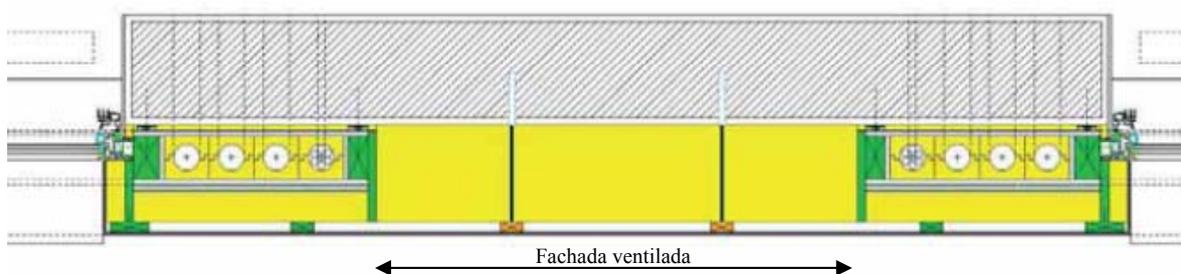


Figura 12 – Fachada ventilada (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

O módulo de fachada com isolamento aplicado através de insuflação permite o preenchimento com isolamento através dos vazios que subsistem entre o módulo base. Esta solução consegue uma camada de isolamento sem vazios, independentemente de quão desigual é a alvenaria existente. Podem ser utilizadas diversas soluções de revestimento exterior, mas devem ser permeáveis ao vapor. Foram efetuados vários testes que demonstram não existir risco de assentamento do isolamento durante o transporte dos painéis prefabricados.

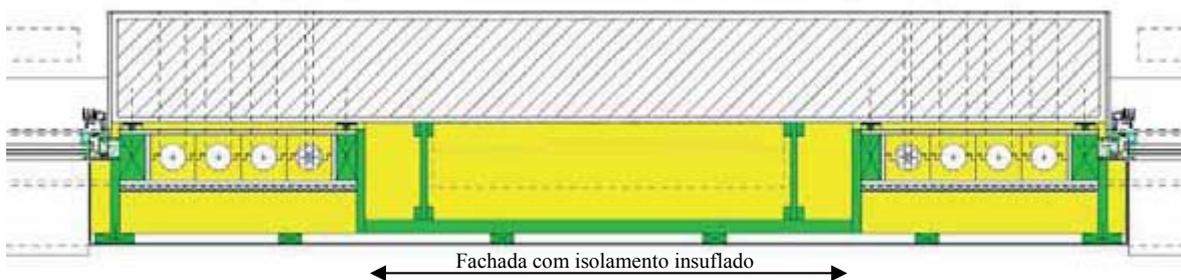


Figura 13 – Fachada com isolamento insuflado (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

3.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS

Para a montagem do módulo no edifício a reabilitar (Figura 14) é necessário proceder a alguns trabalhos de preparação da envolvente, nomeadamente, a remoção dos peitoris das janelas existentes (no caso de ampliação da abertura), persianas, coberturas, beirais do telhado, e a medição e colocação dos fixadores na parede existente (1). De seguida, coloca-se o módulo em posição na parede, através de uma grua, e procede-se à ligação dos ductos de ventilação e de quaisquer outros serviços e é colocada uma manta de fibra de vidro na área de tolerância entre os módulos (2). Posteriormente, o módulo superior é colocado definitivamente no lugar correspondente. Os módulos não se apoiam uns nos outros mas são fixados individualmente ao edifício existente (3). É concluído o isolamento entre os módulos (4). Por fim, é colocado o revestimento e são feitos os ajustes necessários no interior do edifício como por exemplo a remoção das janelas antigas, a montagem da barreira para vapor e o acabamento das superfícies interiores (5).

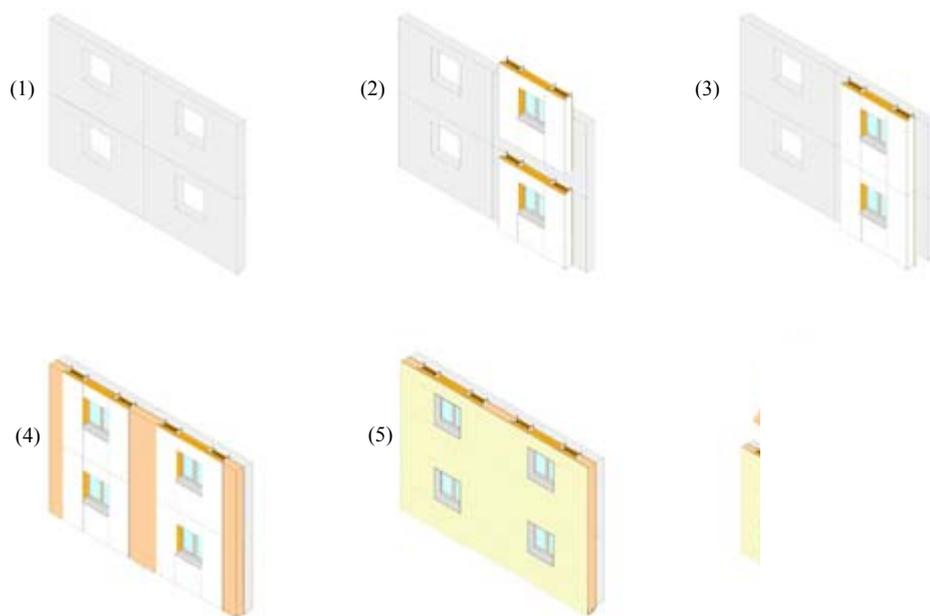


Figura 14 – Processo de montagem do módulo (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)



Figura 15 – Pormenor do isolamento dúctil junto à parede existente (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

O maior problema dos processos de reabilitação avançada prende-se com a grande quantidade de detalhes existente na zona dos envidraçados, que são as janelas, os parapeitos, as juntas, os fixadores, as tubagens de ventilação, as cortinas, as instalações e similares.

Sendo assim, devem ser considerados os seguintes fatores:

- Bom desempenho do isolamento térmico e poucas pontes térmicas resultantes da montagem;

- Uso de janelas de alta qualidade;
- Tubagens de ventilação e instalações elétricas são colocadas no interior do edifício a partir do exterior;
- Ligação simples e de confiança das tubagens de ventilação incorporadas nas unidades adjacentes;
- Estanquidade entre a unidade colocada e a alvenaria existente;
- Persianas motorizadas com automatização opcional;
- Fixação para paredes existentes;
- Uso de materiais/produtos de construção geralmente disponíveis;
- Uso de materiais/produtos de geometria simples;
- Camadas bem definidas (da envolvente que veda o edifício), sempre que possível;
- Máxima liberdade de *design* dos acabamentos exteriores – revogação do “aspecto de prefabricado”;
- Capacidade para se adaptar às irregularidades das paredes existentes;
- Capacidade de resposta ao clima/temperaturas exteriores para minimizar perdas de calor das tubagens de ventilação para o exterior;
- Rigidez inerente das unidades para facilitar o carregamento e instalação;
- Consideração das dimensões máximas tendo em conta o transporte;
- Apoio dado na fase de coordenação da equipa de *design*.

3.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

As fachadas dos edifícios suíços construídos até 1975 têm valores do coeficiente de transmissão térmico (U) entre $2,6\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $0,8\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Enquanto que para os edifícios concluídos a partir de 1976 estes valores variam desde $0,8\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ a valores inferiores a $0,1\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Sendo estes valores muito díspares, e apesar do valor de U depender também do tipo de alvenaria do edifício existente, pretende-se que com a aplicação do painel de reabilitação o coeficiente de transmissão térmico das fachadas varie entre $0,10\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $0,15\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Foram calculados os diversos valores de U ao longo do painel, considerando que os materiais que constituem a solução de reabilitação têm os valores de resistência térmica [W/(m.K)] ou de transferência de calor [W/(m².K)] abaixo referidos (Quadro 1):

Quadro 1 – Propriedades térmicas dos materiais

Material	Resistência Térmica [W/(m.K)] U [W/(m ² .K)]
Lã de rocha	0,036
Placa de gesso	0,250
Revestimento de gesso	0,350
Vidro com U= 0,8	0,030
Lã de vidro	0,034
Argamassa de cal	0,870
Tijolo leve	0,450
Madeira	0,130
Contraplacado	0,170
Aço	50,00
Aço (1)	60,00
VIP	0,008

Na Figura 16 encontram-se representados os valores obtidos para o coeficiente de transmissão térmica da solução desenvolvida.

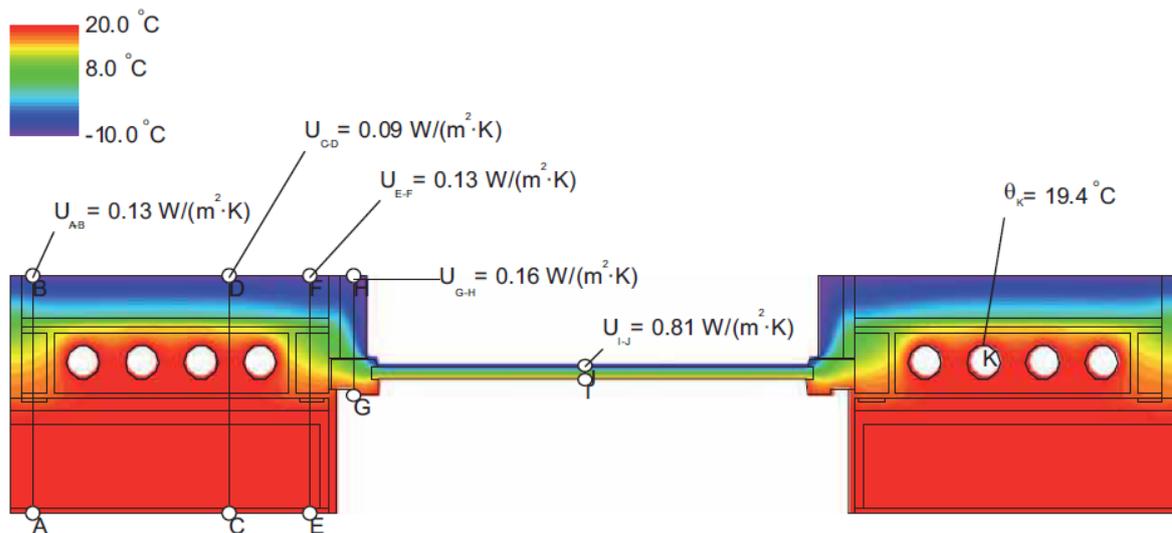


Figura 16 – Valores de U ao longo do módulo de reabilitação (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

A proteção contra incêndios é um outro fator a ter em conta, principalmente nos ductos de ventilação, pois estes elementos construtivos vindos dos diferentes apartamentos encontram-se relativamente próximos uns dos outros, havendo um maior risco de propagação em caso de incêndio.

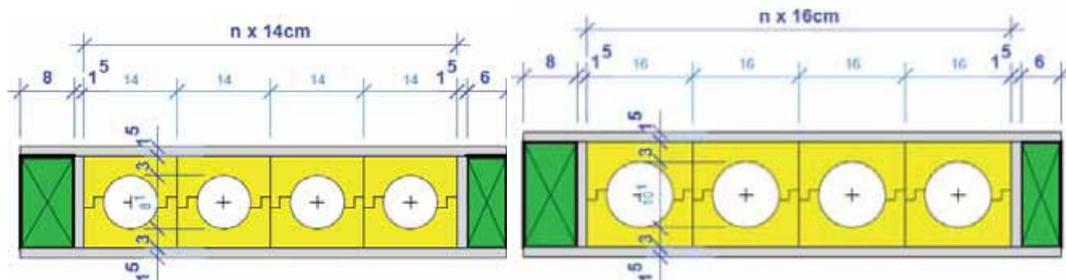


Figura 17 – Ductos de ventilação (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

A colocação de painéis de fibra de gesso (Figura 17) junto à parede existente e na superfície exterior é necessária para conferir rigidez ao módulo. Deste modo, a proteção contra incêndios é fornecida automaticamente e qualquer material pode ser aplicado na superfície exterior.

4 – MÓDULOS DE FACHADA PREFABRICADOS DE GRANDE DIMENSÃO

Os Módulos de Fachada Prefabricados de Grande Dimensão são da autoria de DI. Dr. Tec. Karl Höfler e DI. Mag. Johann Aschauer, do AEE - Instituto para Tecnologias Sustentáveis (AEE INTEC), situado em Gleisdorf, Áustria (Mark Zimmermann, 2011), (Peter Schwehr, Robert Fischer, Sonja Geier, 2011), (René L. Kobler et al, 2011).

Os módulos multifuncionais desenvolvidos integram componentes ativos como por exemplo coletores e instalações elétricas ou infraestruturas de distribuição. Este sistema deve possibilitar uma reabilitação de elevado desempenho, viável e acessível.

4.1 CONCEITOS SUBJACENTES

O desenvolvimento de conceitos de reabilitação a fim de melhorar a eficiência energética dos edifícios e a utilização crescente de fontes de energia renovável nas suas operações ganham uma importância cada vez maior. Faz sentido usar tecnologias que já deram provas no âmbito das casas passivas e edifícios de baixo consumo de energia e adaptar essas tecnologias aos processos de reabilitação.

O principal objetivo é encontrar conceitos de reabilitação inovadores e viáveis para a reabilitação de edifícios multifamiliares, tendo em conta não só a eficiência energética do edifício mas também o conforto dos seus utilizadores antes e durante os trabalhos de reabilitação.

Reabilitação energética dos edifícios

O uso de módulos de fachada prefabricados permitem melhorar o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes exteriores existentes. O objetivo é encontrar uma solução que possibilite uma construção sem pontes térmicas, ou seja, que elimine as pontes térmicas da fachada existente e não crie pontes térmicas devido à anexação de um novo sistema de fachada.

A integração de coletores solares no módulo de fachada, para além de conduzir a melhores valores de U, e por conseguinte, uma envolvente termicamente melhorada, permite o aproveitamento da energia solar e com isso contribuir para a diminuição das emissões de CO₂.

Aspetos ecológicos

O módulo desenvolvido é essencialmente composto por madeira que garante uma elevada qualidade ecológica. No entanto, é necessário ter em atenção todas as restrições impostas por uma construção à base de madeira. Dependendo das diferentes normas e

códigos de construção, a aplicação de madeira nas fachadas é limitada a edifícios até quatro pisos.

Aceitação por parte dos utilizadores

A montagem do módulo é feita pelo exterior e devido ao recurso a soluções prefabricadas é um processo mais rápido que o habitual, sendo por isso reduzidos significativamente os efeitos de perturbação dos moradores durante o período de reabilitação do edifício. A remoção e substituição dos envidraçados e parapeito da janela têm de ser feitos, no entanto, pelo interior do edifício.

Qualidade de execução

A prefabricação oferece, entre outras vantagens, uma elevada qualidade padrão: começando com um elevado trabalho de planeamento padrão, o procedimento na ala de produção é altamente previsível e pode ser facilmente controlado. Para além disso, todo o processo é independente das condições climatéricas.

4.2 PRODUÇÃO

Na criação e produção deste módulo estiveram envolvidos diversos parceiros industriais e científicos austríacos.

A equipa de projeto é constituída pelo construtor GIWOG - Gemeinnützige Industrie-Wohnungs AG, de quem partiu a ideia inicial deste projeto; Gap-solution GmbH (contratante); as empresas Energiesysteme Aschauer e Futus Energietechnik GmbH deram o seu contributo nas questões relacionadas com engenharia energética; os assuntos relacionados com a arquitetura foram tratados pelo gabinete Hohensinn Architektur GmbH; a carpintaria e subcontratações foram feitas pela empresa Kulmer Holzbau GmbH. O Ministério federal austríaco dos Transportes, Inovação e Tecnologia e o Governo Federal da Estíria financiaram este projeto.

O construtor GIWOG teve a ideia de implementar uma reabilitação de elevado desempenho com módulos prefabricados e um conceito energético inovador. Mas associada à inovação deve estar uma arquitetura notável, cujo *design* foi feito pelo gabinete Hohensinn Architektur GmbH. Todo o conceito de reabilitação, desde a melhoria do desempenho térmico, ao desenvolvimento dos módulos prefabricados e ao conceito energético foi coordenado pelo gabinete de engenharia TB Energiesysteme Aschauer e Gap -solution GmbH.

Após um planeamento meticuloso, o carpinteiro Kulmer GmbH Holzbau montou o protótipo. A produção em série do módulo teve início após uma série de discussões sobre estática, física da construção e pormenores críticos.

O AEE – Instituto para as Tecnologias Sustentáveis (AEE INETC) esteve envolvido no que respeita à física das construções, eficiência energética e no desenvolvimento do módulo. Adicionalmente, a monitorização e a avaliação dos resultados foram feitos juntamente com a Gap -solution.

4.3 DIMENSIONAMENTO

Os módulos de fachada prefabricados têm 12m de comprimento e 3m de altura. O transporte para o local é feito de camião e os módulos são montados recorrendo a um camião com grua e a gruas móveis adicionais.

Na Figura 18 está representada a composição da solução base. Do lado esquerdo encontra-se a parede exterior do edifício a reabilitar, de seguida colocam-se as ripas de nivelamento com isolamento entre elas. O módulo base é montado sobre as ripas. A estrutura base é feita em madeira e o seu interior contém uma primeira camada de isolamento. A estrutura de favos solares é montada do lado de fora sobre uma placa de MDF, seguido por um espaço de ar ventilado e coberto por um vidro simples de segurança. Por trás da estrutura base de madeira, é colocada uma placa de OSB que completa o elemento prefabricado.

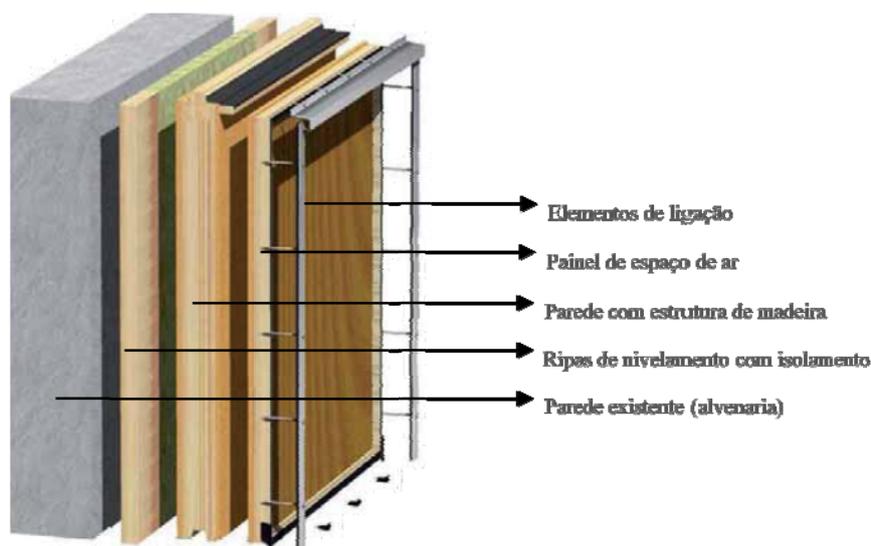


Figura 18 – Composição do módulo (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

A Figura 19 mostra em detalhe a constituição da solução prefabricada de reabilitação de fachadas.

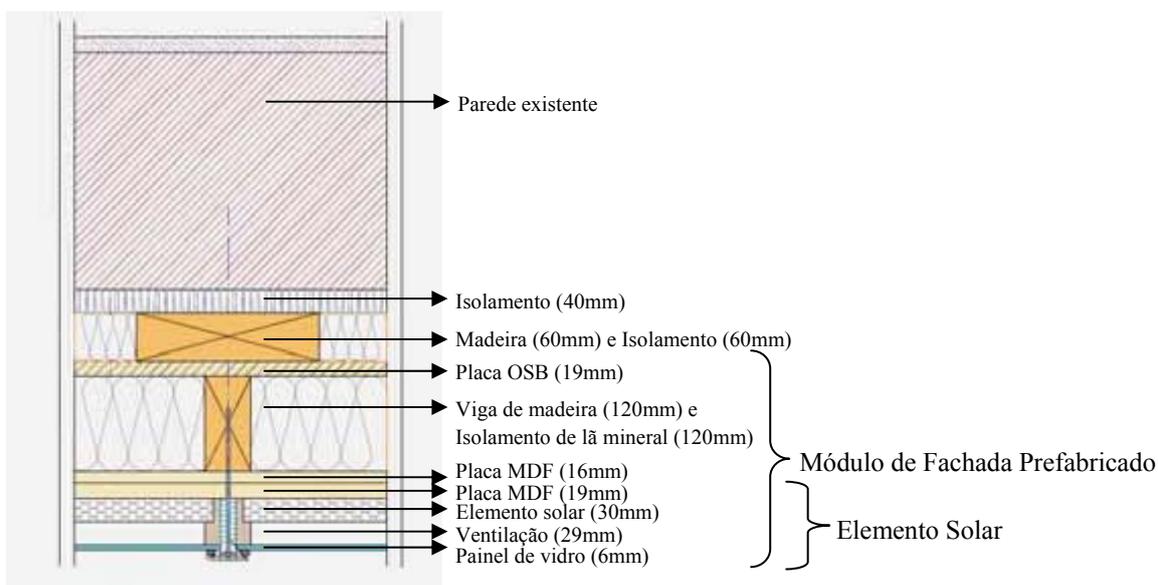


Figura 19 – Detalhe do módulo prefabricado aplicado a uma parede existente (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

O favo solar foi integrado no conceito arquitetural como parte visual. O módulo base integra um dispositivo de ventilação descentralizado com recuperador de calor. Esse dispositivo está coberto por um painel de isolamento de vidro opaco.

O módulo prefabricado tem uma espessura total de cerca de 24 cm.

4.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS

O processo de montagem do módulo consiste inicialmente na instalação de um perfil de apoio em aço na base do edifício existente que irá suportar as cargas verticais dos módulos. O primeiro módulo assenta sobre esse perfil e os seguintes apoiam-se nos módulos inferiores.

É colocada a subestrutura de ripas de madeira que funciona como nivelamento e contém o sistema de dissipação de calor e as redes de distribuição. O restante espaço é preenchido com painéis de isolamento.

A montagem dos módulos de fachada de grandes dimensões é feita com recurso a guias (Figura 20). Os operadores de montagem que se encontram nas guias móveis posicionam-se lateralmente para ajudar no ajuste e fixação dos módulos.

Por fim, são retiradas as janelas antigas pelo interior do edifício, são concluídas as barreiras para-vapor e o revestimento do parapeito da janela, e todas as adaptações que foram introduzidas (ângulos e juntas).



Figura 20 – Transporte do módulo até ao local e montagem (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

A ligação entre os módulos foi feita através de um sistema macho e fêmea (Figura 21). Este sistema permite a colocação correta do módulo e o acoplamento vertical entre módulos. Para além disso, foi também colocada uma vedação contra chuvas torrenciais. As juntas verticais são calafetadas com perfis próprios para o efeito (cobre-juntas), fixados com parafusos.

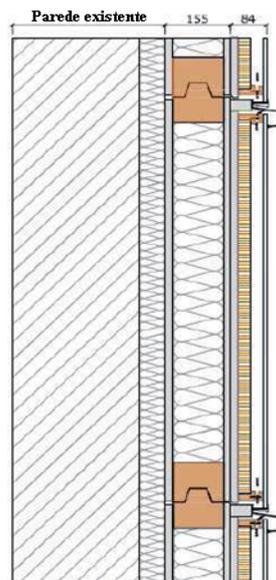


Figura 21 – Secção de corte com pormenor das juntas horizontais dos módulos (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

Todas as juntas dos parapeitos, cantos e sótãos são devidamente concluídos após a montagem dos módulos prefabricados. As figuras 22 e 23 mostram alguns detalhes do módulo desenvolvido.

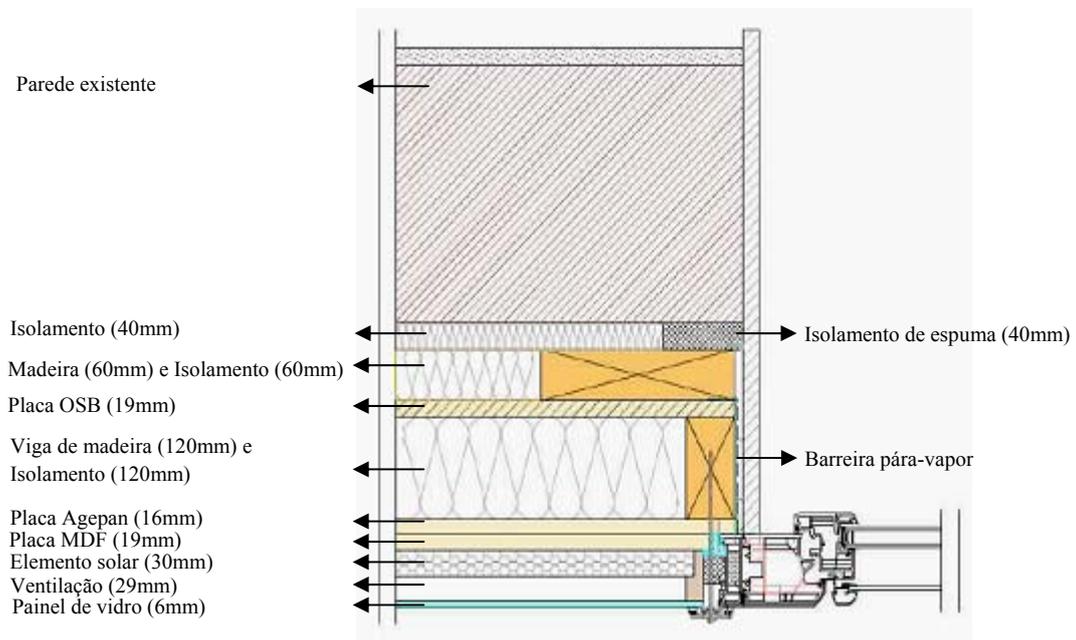


Figura 22 – Pormenor da ligação entre o módulo e o envidraçado (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

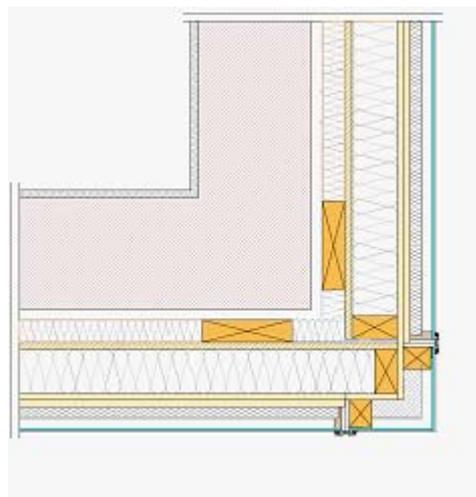


Figura 23 – Pormenor do canto do edifício (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

4.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

O desempenho térmico do módulo é conseguido com um conceito inovador desenvolvido pela empresa Gap-solution. O mais importante do desenvolvimento prende-se com o favo solar de celulose (Figuras 24 e 25), localizado no lado do módulo que está orientado para o sol e que é coberto por um painel de vidro. O espaço de ar ventilado no fundo do painel protege o favo solar do clima e de danos mecânicos. Para criar uma aparência atrativa, a superfície pode ser pintada de várias cores. A radiação proveniente do sol durante o Inverno atravessa o painel de vidro e aquece o favo solar. Sendo assim, a temperatura no exterior do sistema aumenta. A diferença de temperatura entre o interior quente e o exterior frio, no Inverno diminui e as perdas de calor são minimizadas. Durante o Verão a estrutura do favo solar faz sombra a ela própria devido à maior altura do sol.

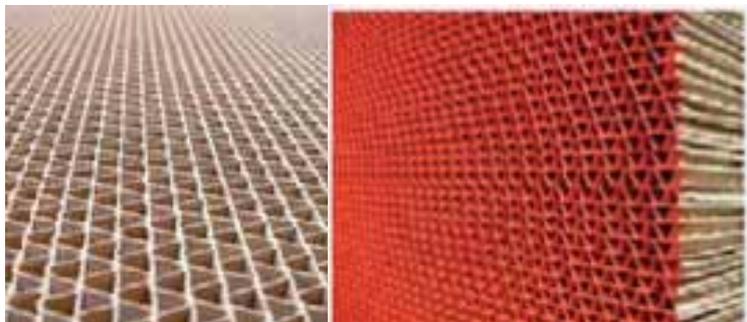


Figura 24 – Pormenor de favo solar (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

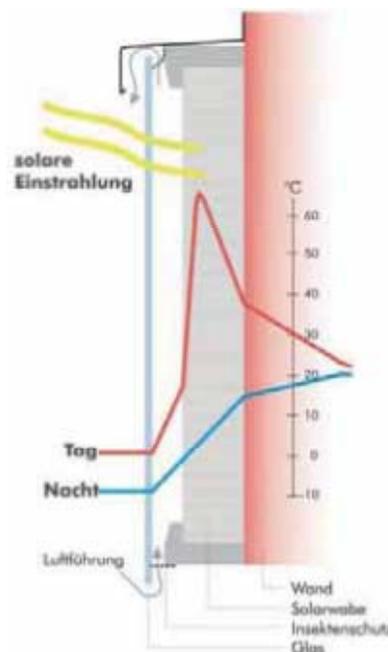


Figura 25 – Variação de temperatura no painel durante o dia e durante a noite (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

Os principais componentes estudados para garantir um bom desempenho térmico da fachada foram:

- Os módulos de fachada de grandes dimensões com favos solares;
- As janelas de casas passivas com persianas integradas;
- Espaços de ventilação com recuperação de calor;
- Integração das varandas existentes na nova envolvente térmica.

No desenvolvimento do módulo foi também analisada a possibilidade de integração de coletores-fachada em vez de favos solares, na fachada orientada a Sul, para contribuir para a produção de energia. Foram produzidos alguns módulos com coletores integrados e aplicados na fachada do edifício orientada a Sul.

5 – MÓDULOS DE REABILITAÇÃO PREFABRICADOS DE GRANDES DIMENSÕES

O Módulo de Reabilitação Prefabricado de Grandes Dimensões é da autoria de Stéphane Cousin e da empresa Saint-Gobain Isover, de Paris (Mark Zimmermann, 2011), (Peter Schwehr, Robert Fischer, Sonja Geier, 2011), (René L. Kobler et al, 2011).

O projeto francês intitulado de RECOLCI “*Réhabilitation Énergétique des immeubles de logements Collectifs par Composants Intégrés*” foi patrocinado e financiado pela ADEME (Agência de Energia Francesa).

5.1 CONCEITOS SUBJACENTES

A solução de reabilitação desenvolvida destina-se a edifícios multifamiliares e pretende limitar o consumo energético dos edifícios reabilitados a 50-60 kWh/(m².ano), manter um bom desempenho acústico, ser uma solução pouco intrusiva para os ocupantes, usar uma combinação de componentes de construção para criar uma solução prefabricada de reduzidos custos, reduzir os custos de instalação, ter em conta a estética e possibilitar a integração de uma grande diversidade de revestimentos e acabamentos exteriores.

Reabilitação energética dos edifícios

No conjunto dos edifícios franceses, 44% são edifícios residenciais multifamiliares. Os edifícios multifamiliares têm um consumo energético de 40% do total do consumo energético dos edifícios residenciais.

Os edifícios antigos (construídos antes da implementação da primeira regulamentação térmica - 1974) correspondem a 65% da construção total, sendo 70% dos edifícios multifamiliares residência principal. Estes edifícios têm um consumo energético muito elevado e as soluções de reabilitação existentes são muitas vezes demoradas, complexas e caras.

A solução desenvolvida pretende implementar nos edifícios multifamiliares uma reabilitação energética global eficiente e foi concebida para edifícios com menos de 7 pisos ou 28m de altura máxima.

Flexibilidade

A solução precisa de se adaptar a uma grande variedade de dimensões de fachadas, oferecer uma implementação padronizada de componentes prefabricados e permitir a utilização de todo o tipo de materiais de revestimento.

Espaço e ambiente

A solução permite a adição de um piso extra no topo do edifício, por elevação. Deve limitar tanto quanto possível a perda de luz natural e garantir pelo menos a mesma proteção acústica contra o ruído proveniente do exterior. Os módulos devem suportar o peso dos novos envidraçados que venham a ser colocados.

A prefabricação permite reduzir o tempo de instalação e os custos da implementação no local a reabilitar.

Desempenho térmico

Após a implementação da solução, o desempenho térmico das fachadas deve situar-se entre os 60 e os 80kWh/(m².ano). Para isso, a solução de fachada precisa de um coeficiente de transmissão térmico (U) com valor igual ou inferior a 0,2W/(m².K) e é necessário ser implementado um conjunto de soluções ao nível das coberturas e pavimentos.

Em relação à estanquidade, o objetivo é vedar as aberturas para conseguir uma permeabilidade global igual ou inferior a 0,6 ren/h. A solução permite ainda a instalação de ventilação de fluxo duplo com sistema de troca de calor na saída de ar e unidade termodinâmica.

5.2 PRODUÇÃO

Os parceiros envolvidos no desenvolvimento deste projeto foram a EDF, empresa francesa líder no fornecimento de energia; a empresa Saint-Gobain Isover, líder mundial em soluções de isolamento térmico e acústico; a empresa Aldes, líder francesa em sistemas de ventilação para edifícios residenciais; a Arcelor Research Liège, centro de desenvolvimento de soluções para construção de aço da Arcelor Mittal, líder mundial na produção de aço; o Centro Científico e Técnico de Construção (CSTB); o escritório de arquitetos AETIC, especialistas em operações de reabilitação de elevada qualidade ambiental e o grupo VINCI, uma empresa de construção líder mundial.

Nas várias etapas do projeto também estiveram envolvidos alguns grupos tais como: USH, OPAC 71, Grenoble city advisor, SMABTP, de acordo com as competências e especialidades de cada um.

A Saint-Gobain Isover esteve envolvida na criação do modelo e acompanhou o projeto nas várias etapas de produção, desde as escolhas técnicas que foram feitas às questões específicas que foram surgindo (aberturas, estanquidade e impermeabilização, pontes térmicas).

A empresa Arcelor-Mittal teve uma participação ativa na escolha dos perfis e desenhos para criação dos módulos. Foi responsável pelos ensaios de resistência mecânica e medição do desempenho térmico dos módulos, realizados no centro de pesquisas Liège (AMLD) e na Profile du Futur. Esta última participou na elaboração e criação do modelo, bem como na sua implementação no local.

A Vinci contribuiu com a sua experiência no que se refere a métodos de implementação e limitações reais do local de trabalho, e os estudos preliminares do desempenho térmico dos módulos.

O gabinete AETIC produziu os desenhos detalhados da solução para todas as especificidades da fachada (janelas, cantos, etc.)

A empresa Aldes encarregou-se do estudo da implementação do sistema de ventilação bem como do estudo da sua viabilidade.

O CSTB interveio nas escolhas técnicas que foram tomadas e nos desempenhos térmicos obtidos. Colaborou também com o seu profundo conhecimento relativamente à morfologia dos edifícios e técnicas construtivas utilizadas entre 1948 e 1975 e desenvolveu, juntamente com as empresas EDF e Aldes, uma ferramenta de simulação térmica.

A EDF trouxe a sua experiência em avaliação de coordenação através de vários critérios (térmicos, acústicos, ambientais, financeiros) do módulo de fachada desenvolvido.

5.3 DIMENSIONAMENTO

O módulo de fachada é composto por uma estrutura metálica que integra janelas, isolamento e estanquidade ao ar prefabricados e que pode integrar todos os tipos de sistemas de revestimento exterior sendo estes aplicados no local.

Os módulos prefabricados de fachada têm uma largura máxima de 2,7m para facilitar o transporte e um peso de cerca de 400kg (Figura 26). Relativamente à adição de mais um piso no edifício, os estudos mecânicos demonstraram a necessidade da colocação de perfis metálicos de 20cm de secção transversal com 2,5mm e 1,5mm de espessura.

Para assegurar a estabilidade de todos os módulos que constituem a fachada, estes são colocados no topo dos outros reduzindo as cargas do topo para a base. Os módulos têm uma unidade de altura equivalente a dois pisos. No local de trabalho os módulos são carregados e movidos através de equipamentos de elevação adequados.

Os módulos são fixados na fachada mas o peso dos elementos e da adição de um piso na cobertura são transferidos através dos pilares da estrutura do módulo de fachada. Para assegurar a resistência térmica os módulos são reforçados com pilares intermédios

Primeiramente é colocada uma camada de isolamento com cerca de 10cm. Os módulos de fachada prefabricados são então fixados à fachada. Horizontalmente o espaço entre dois módulos não é superior a 60cm. Se for necessário serão produzidos módulos totalmente opacos. Entre os módulos são colocadas barras de reforço e tirantes para garantir a transferência de carga. No local, este espaço entre os módulos é preenchido com isolamento.

A periferia da janela é isolada com 7cm de isolamento e uma pré-estrutura é previamente montada para colocar facilmente o novo envidraçado no local. A janela é fixada na pré-estrutura e a estanquidade deve ser verificada.

Os módulos estão preparados para receber qualquer tipo de revestimento.

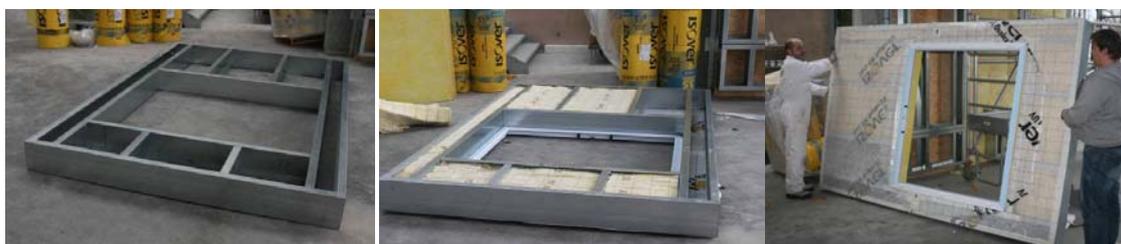


Figura 26 – Produção do módulo de reabilitação prefabricado (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

5.4 INTERFACES COM OS EDIFÍCIOS

A prefabricação do módulo de reabilitação inclui a construção da estrutura metálica do módulo, a colocação da barreira para-vapor para manter o isolamento durante o transporte até ao local, a colocação do isolamento, a colocação da membrana exterior HPV para proteção contra chuva e vento, a instalação da pré-estrutura isolada para envidraçados e a colocação de fixadores verticais para suportar o sistema de revestimento exterior.

A posição da pré-estrutura e a espessura de isolamento do perímetro da janela dependem da configuração da janela.

Através do seu *design*, os módulos RECOLCI podem ser ajustados em tamanho para se adequarem a cada tipo de fachada e às dimensões das suas janelas. Podem ser definidos para a mesma fachada módulos de diferentes tamanhos, a fim de se adaptarem à geometria existente. Independentemente do seu tamanho, os painéis também serão fabricados da mesma forma, sem modificar o *design*.

A aplicação do sistema no edifício é feita recorrendo a andaimes ou gruas e guindastes colocados no telhado. Inicialmente são aplicados os elementos de fixação na parede e na cave. De seguida, é colocada a primeira camada de isolamento. É feita a instalação das janelas no módulo assegurando a estanquidade ao ar. São instalados os módulos tendo em atenção que têm de estar devidamente alinhados na vertical, para uma boa transferência das cargas. É colocado o isolamento entre os dois módulos adjacentes e por fim é colocado o revestimento. As Figuras 27, 28, 29, 30 e 31 apresentam as diferentes fases do processo de instalação do módulo de reabilitação.

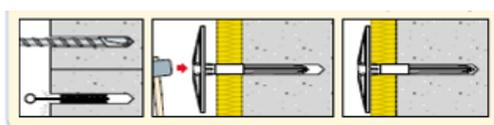


Figura 27 – Colocação dos elementos de fixação (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)



Figura 28 – Primeira camada de isolamento (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)



Figura 29 – Instalação das janelas no módulo (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)



Figura 30 – Isolamento entre os módulos (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)



Figura 31 – Colocação do revestimento (M. Zimmermann, 2011; P. Schwehr, R. Fischer, S. Geier, 2011; R. L. Kobler et al, 2011)

5.5 VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

Propriedades mecânicas

Os cálculos feitos pelo programa da Arcelor-Mittal indicam que a solução para o módulo de fachada RECOLCI pode transferir cargas de até 3,3t através dos principais pilares do módulo, se o espaçamento entre os pontos de ligação não ultrapassar os 2,5m na horizontal, que é o caso da solução RECOLCI.

O método de transferência de cargas deve facilitar a adição de um piso em estrutura metálica leve no topo de um edifício. Naturalmente, os pontos intermediários de carga devem ser colocados em número suficiente na parte central do edifício de acordo com a sua profundidade (ou largura) - enquanto que um edifício estreito pode transferir as cargas somente pelas fachadas.

Dilatações

Os elementos de fachada metálicos foram submetidos a variações de temperatura que provocam dilatações. Os elementos de fixação foram projetados com furos ovais para contrabalançar essas variações de comprimento.

Desempenho térmico

O desempenho térmico do módulo de fachada foi calculado com o *software* de modelação numérico Triso tendo em conta que existem:

- 10cm de isolamento de lã de vidro contra a parede ($\lambda = 32 \text{ W/m.K}$)
- 20cm de isolamento de lã de vidro entre as vigas ($\lambda = 35 \text{ W/m.K}$)
- 50mm de isolamento de lã de vidro no perímetro da janela ($\lambda = 32 \text{ W/m.K}$)

O valor do coeficiente de transmissão térmico do módulo de fachada obtido (considerando pontes térmicas) é de:

- $0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, usando fixadores de corte térmico compostos ($\lambda = 2 \text{ W/m.K}$)
- $0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, utilizando fixadores de aço modular ($\lambda = 50 \text{ W/m.K}$)

6 – RESUMO



MRP (MÓDULO DE REABILITAÇÃO PREFABRICADO)

País onde foi desenvolvido:

- Portugal

Materiais utilizados:

- Revestimentos de alumínio
- Barreira para-vapor
- Aglomerado negro de cortiça
- Perfis U de aço
- Isolamento XPS

Montagem:

- Remoção do revestimento exterior da parede existente
- Fixação da estrutura de suporte à parede
- Colocação do MRP na estrutura de suporte a partir do canto inferior direito da fachada e prosseguir a sua colocação da base para o topo e da direita para a esquerda

Desempenho Térmico:

- $U = 0,22\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$

Outras características:

- Dimensões: 1,0x1,0m
- Espessura: 17,7cm
- Peso: 12kg/m^2
- Variedade de cores e texturas do revestimento exterior
- Totalmente prefabricado



MRESP (MÓDULO DE REABILITAÇÃO ESTANDARIZADO SEMI-PREFABRICADO)

País onde foi desenvolvido:

- Suíça

Materiais utilizados:

- Revestimento de fibrocimento
- Isolamento de lã de rocha
- Manta de fibra de vidro
- Madeira
- Placas de fibra de gesso
- Painéis de isolamento em vácuo

Montagem:

- Trabalhos de preparação da envolvente
- Colocação dos elementos de fixação
- Posicionamento do módulo na fachada
- Ligação dos ductos de ventilação
- Colocação de manta de fibra de vidro entre os módulos
- Fixação definitiva do módulo superior
- Ajustes finais pelo interior do edifício

Desempenho Térmico:

- U entre 0,09 e $0,16\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

Outras características:

- Dimensões: variáveis
- Espessura média: 32,0cm
- Existem várias opções disponíveis para reabilitação de fachada opaca



MFPGD (MÓDULO DE FACHADA
PREFABRICADO DE GRANDE
DIMENSÃO)

País onde foi desenvolvido:

- Áustria

Materiais utilizados:

- Madeira
- Isolamento de lã mineral
- Placa OSB
- Placa MDF
- Elemento solar de celulose
- Pannel de vidro

Montagem:

- Instalação do perfil de apoio na base da fachada
- Assentamento do 1º módulo no perfil
- Colocação da subestrutura de nivelamento com isolamento
- Colocação do módulo através de guas
- Acabamentos finais pelo interior do edifício

Desempenho Térmico:

- $U = \text{variável}$

Outras características:

- Dimensões: 12,0x3,0m
- Espessura: 24cm
- Elemento solar em forma de favo permite uma boa adaptação à incidência dos raios solares na fachada, o que resulta no seu bom desempenho térmico
- Possibilidade de integração na fachada de coletores em vez de favos solares



RECOLCI (MÓDULO DE
REABILITAÇÃO PREFABRICADO DE
GRANDE DIMENSÃO)

País onde foi desenvolvido:

- França

Materiais utilizados:

- Estrutura metálica em aço
- Barreira para-vapor
- Isolamento de lã de vidro

Montagem:

- Instalação de elementos de fixação na parede exterior existente
- Colocação da primeira camada de isolamento
- Instalação das janelas no módulo
- Montagem dos módulos
- Colocação de isolamento entre módulos adjacentes
- Colocação do revestimento

Desempenho Térmico:

- U entre 0,22 e 0,25W/m².K

Outras características:

- Largura: máx. 2,7m
- Espessura: variável
- Peso: +/- 400kg
- Dimensões ajustáveis às da fachada e janelas
- Possibilidade de integração de uma grande diversidade de revestimentos
- Permite a adição de um piso extra na cobertura do edifício, por elevação

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mark Zimmermann: ECBCS Project Summary report “Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings, March 2011

Peter Schwehr, Robert Fischer, Sonja Geier: Retrofit Strategies Design Guide, ISBN 978-3-905594-59-1, March 2011

René L. Kobler, Armin Binz, Gregor Steinke, Karl Höfler, Sonja Geier, Johann Aschauer, Stéphane Cousin, Paul Delouche, François Radelet, Bertrand Ruot, Laurent Reynier, Pierre Gobin, Thierry Duforestel, Gérard Senior, Xavier Boulanger, Pedro Silva, Manuela Almeida: Retrofit Module Design Guide, ISBN 978-3-905594-60-7, March 2011

8 – PARCERIAS

Portugal:



Universidade do Minho



LFTC - DEC



Suíça:



Áustria:



França:





LFTC DEC - Laboratório de Física e Tecnologia das Construções

Departamento de Engenharia Civil

Universidade do Minho

Alameda da Universidade
4800 - 058 Guimarães

Tel. +351 253 510 200
Fax. +351 253 510 217
E-mail: lftc@civil.uminho.pt

lftc.civil.uminho.pt