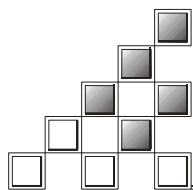
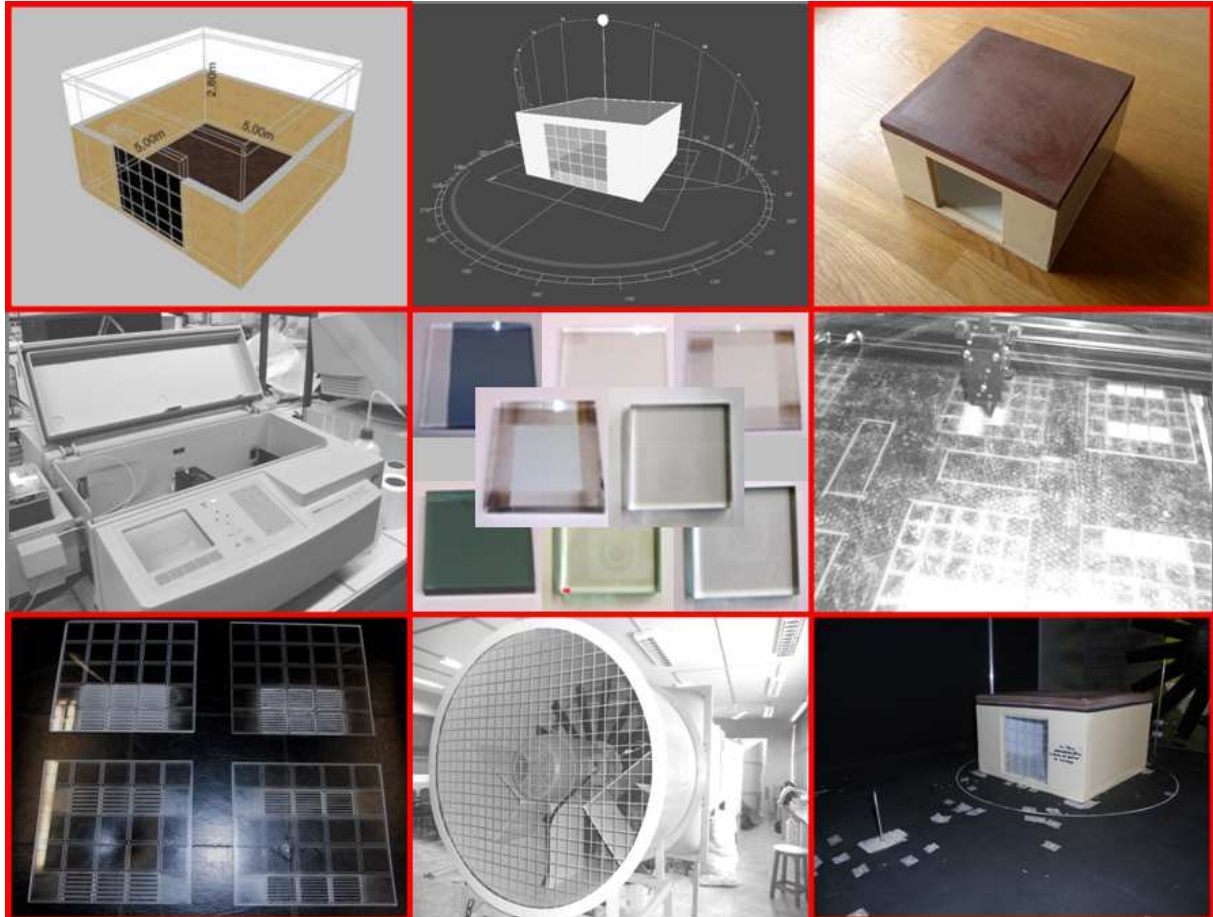


“Ninguém poderá jamais aperfeiçoar-se, se não tiver o mundo como mestre. A experiência se adquire na prática”.

William Shakespeare



CAPÍTULO 5. Otimização e Caracterização Física dos Componentes do Sistema de Fachada



O presente capítulo apresentará parte dos resultados necessários para o desenvolvimento do sistema de fachadas proposto. Primeiramente serão apresentados os resultados das simulações computacionais de desempenho térmico de teste com uso de envidraçados e paredes de Trombe somente para o clima de Guimarães. O objetivo dessas simulações iniciais foi observar a coerência dos resultados apresentados pelo programa de simulação de desempenho térmico e a viabilidade de utilização.

Em seguida, serão apresentados os resultados de simulações computacionais de desempenho térmico para fachadas envidraçadas, sendo que foram feitas simulações com dez tipos de envidraçados somente para os climas de Coimbra e Faro. Posteriormente são analisados os resultados de desempenho térmico das simulações com os três melhores envidraçados dentre os dez estudados anteriormente para os climas restantes (Bragança, Évora, Funchal-Madeira, Guimarães, Lisboa, Porto e Lajes-Açores). Devido à proximidade dos resultados, neste capítulo são apresentados os gráficos somente para climas de Bragança (Norte), Coimbra (Centro) e Faro (Sul), porém foi realizada uma análise geral dos dados e o restante dos resultados se encontra em anexo (**Anexo A**).

Serão apresentados também os resultados das simulações computacionais de desempenho térmico com a adição de soluções passivas de aquecimento e pelo mesmo motivo que as simulações anteriores, os dados são apresentados somente para os climas de Bragança, Coimbra e Faro, além de ter sido feita uma análise geral (o restante dos resultados se encontram no **Anexo B**). Os resultados das simulações computacionais de desempenho térmico com a adição de soluções passivas de arrefecimento também são apresentados, porém estas simulações foram executadas somente para os mesmos três climas que abrangem norte (Bragança), centro (Coimbra) e sul (Faro) de Portugal.

Após determinar as melhores soluções em termos de desempenho térmico, serão apresentados os resultados para as simulações computacionais de desempenho lumínico. Os resultados de simulações computacionais de geração energética executadas para o módulo fotovoltaico e uma previsão do desempenho acústico dos módulos de fachada também serão expostos neste capítulo. Novamente para ambos os tipos de simulações, desempenho lumínico e geração energética são apresentados os resultados somente para os mesmos três climas de Bragança, Coimbra e Faro (o restante dos resultados se encontram nos **Anexos C e D**).

Na parte referente à caracterização dos componentes serão discutidos os resultados dos ensaios espectrofotométricos dos mesmos tipos de vidros utilizados nas simulações computacionais e dos ensaios em túnel de vento, realizados para o módulo de ventilação.



5.1 Teste: Simulações Computacionais de Desempenho Térmico

As primeiras simulações de teste foram as simulações computacionais de desempenho térmico para algumas composições de fachadas, sendo elas: fachada envidraçada (envidraçado duplo *low -e*); fachada envidraçada e parede de Trombe (1 parede de Trombe; 1 parede de Trombe ventilada; 2 paredes de Trombe; 2 paredes de Trombe ventiladas), isso para os dois tipos de envolventes, o sistema tradicional português o sistema *light gauge steel framing*, para a cidade de Guimarães. Foram estudadas as soluções de fachada e também a influência do tipo de envolvente nas condições de conforto de forma a verificar a confiabilidade dos resultados obtidos pelos programas utilizados.

Serão apresentados a seguir os resultados para as temperaturas internas do modelo base (25m², pé-direito 2,8m) considerando os solstícios de inverno (21 de dezembro) e de verão (21 de junho) e a utilização de diferentes envidraçados e dispositivos de sombreamento (estores venezianos e pala horizontal). E, além disso, apresenta-se as necessidades energéticas de aquecimento do mesmo modelo base, com a implementação de soluções de fachadas envidraçadas e paredes de Trombe. Ambos os resultados foram determinados com base no clima da cidade de Guimarães e orientação solar sul para as fachadas envidraçadas. Tratam-se dos resultados de testes em termos de simulação de desempenho térmico.

5.1.1 Variação de Temperaturas Internas do Modelo Base

Nesta secção serão apresentados os resultados iniciais que mostraram uma variação de temperatura interior de acordo com o uso de diferentes tipos de envidraçados e dispositivos que proteção solar, indicando dessa forma a coerência dos resultados e a viabilidade de utilização do software de simulação computacional.

As **Figuras 5.1 e 5.2** apresentam a variação de temperatura interna do modelo para inverno e verão com o uso de três composições de envidraçados: vidro de controlo solar, vidro de auto-limpeza e vidro *float* extra-claro. Sendo: SCG= Envidraçado duplo de controlo solar CG= Envidraçado duplo de auto-limpeza e ECG= Envidraçado simples com vidro *float* extra-claro (**Quadro 5.1**).



Quadro 5.1 Envidraçados- Simulações de Teste

| Envidraçado | Exterior | Interior |
|------------------------------|---|--|
| Controlo Solar ⁵⁶ | Vidro de controlo solar (Cool Lite KNT 155 6mm) | Vidro <i>low-e</i> (Planitherm 6mm) |
| Auto-Limpeza | Vidro de auto-limpeza (Bioclean 6mm) | Vidro <i>low-e</i> (Planitherm 6mm) |
| Simplex | Vidro <i>float</i> simples extra-claro (Diamant 6mm) | |

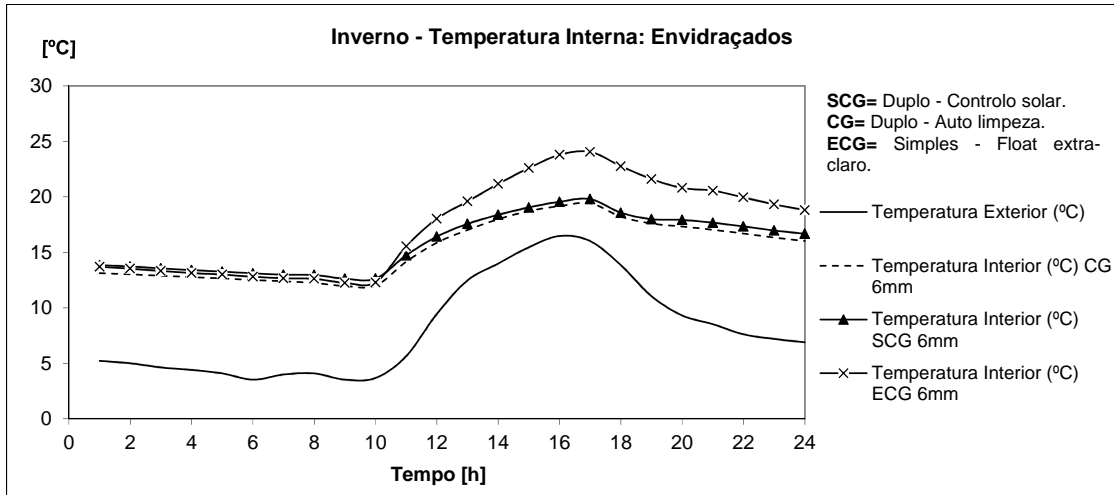


Figura 5.1 Inverno: Temperaturas internas com uso dos envidraçados.

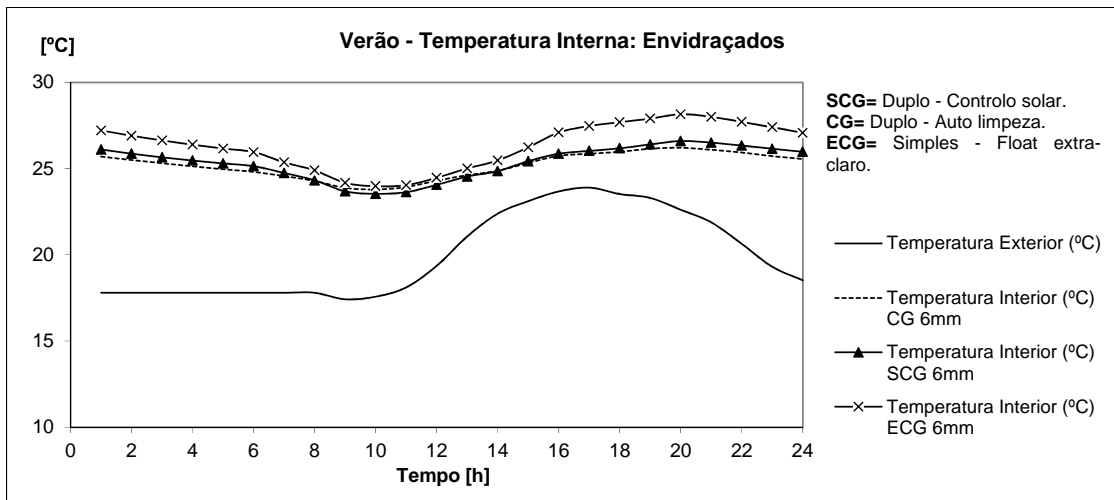


Figura 5.2 Verão: Temperaturas internas com uso dos envidraçados.

Os gráficos indicam que para inverno, a utilização do vidro *float* extra-claro proporcionou um aumento da temperatura interior do modelo em relação aos demais envidraçados; isso por apresentar um coeficiente de sombreamento alto permitindo deste modo o máximo de penetração de radiação solar. Isso indica que esse tipo de vidro apresenta características necessárias para a utilização em sistemas passivos como parede de Trombe, por exemplo. Os envidraçados duplos de controlo solar e de auto-limpeza

⁵⁶ A composição de envidraçados duplos de controlo solar e auto-limpeza é formada por vidros de 6mm de espessura e um espaço de ar entre os panos de 12mm.



conduziram a um desempenho praticamente idêntico. Para o verão, o modelo conduziu a em alguns períodos do dia temperaturas abaixo do máximo recomendado pelo RCCTE de 25°C, considerando a utilização dos envidraçados de controlo solar e de auto-limpeza. Já o emprego do envidraçado simples fez com que o modelo apresentasse temperaturas internas mais elevadas.

Ao selecionar, por exemplo, o envidraçado duplo de controlo solar para compor uma fachada no modelo, considerando a utilização de palas horizontais e estores venezianos na orientação sul foram obtidos para o modelo resultados de temperaturas internas de acordo com as **Figuras 5.3 e 5.4**.

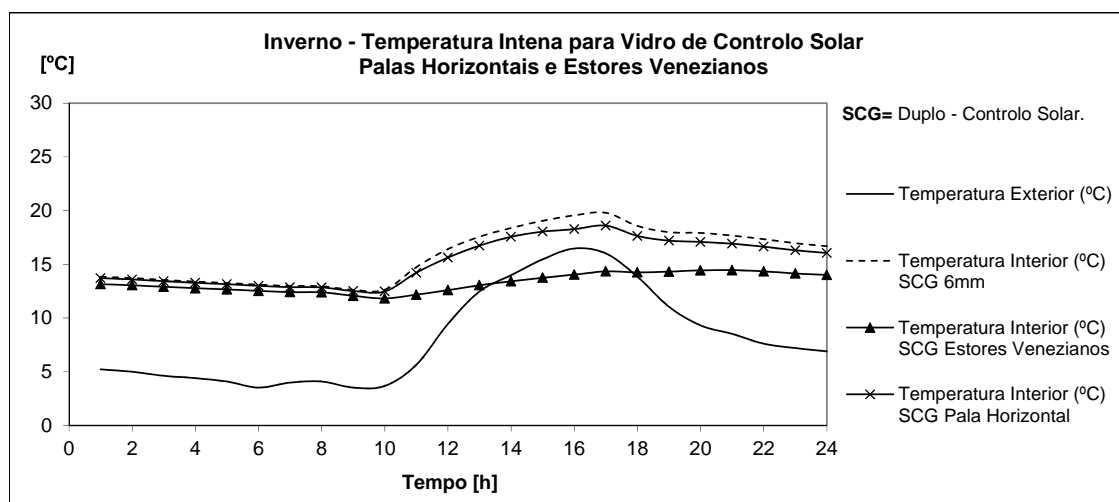


Figura 5.3 Inverno: Temperaturas internas com uso do Envidraçado de Controlo Solar.

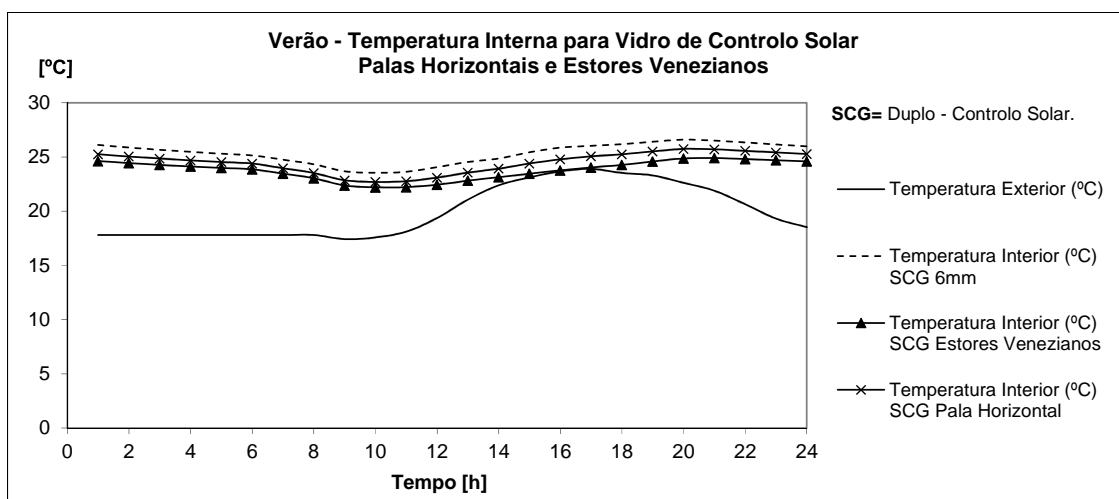


Figura 5.4 Verão: Temperaturas internas com uso do Envidraçado de Controlo Solar.

Os gráficos apresentam as diferenças de temperatura interna para o modelo com envidraçado de controlo solar, considerando o uso de estores venezianos e pala horizontal. O uso de estores venezianos fixos ocasionou uma diminuição da temperatura interna para

inverno, isso significa que para utilização na fachada, esse tipo de dispositivo deve ser móvel, de modo a possibilitar a entrada da radiação solar no inverno e aumentar as temperaturas internas. Para o verão, o uso de estores venezianos implicou o decréscimo da temperatura interna. Já o uso de uma pala horizontal não ocasionou grandes diferenças nas temperaturas internas do modelo.

Ao analisar a utilização de palas horizontais e estores venezianos, considerando o uso do envidraçado duplo de auto-limpeza para compor a fachada sul no modelo, foram obtidos resultados de temperaturas internas de acordo com as **Figuras 5.5 e 5.6**.

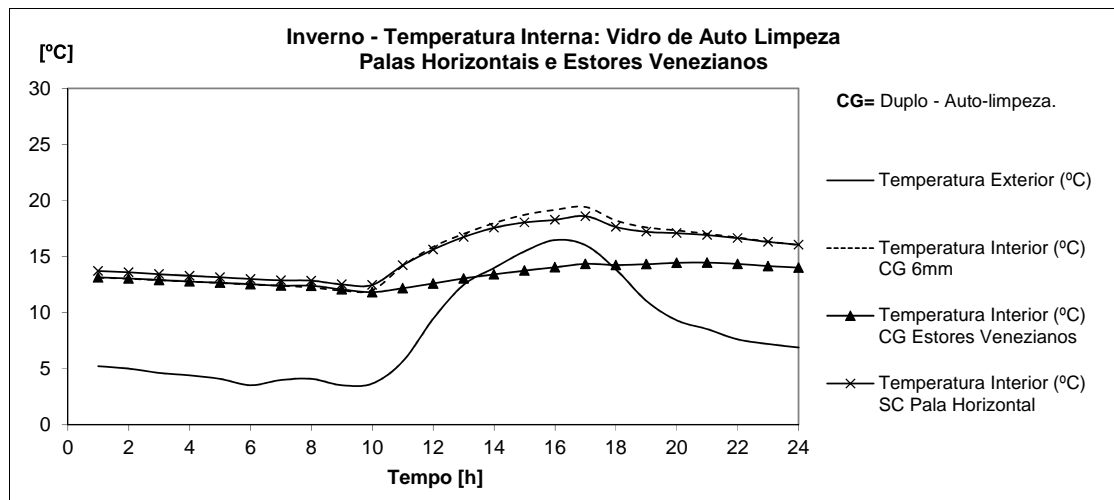


Figura 5.5 Inverno: Temperaturas internas com uso do envidraçado de auto-limpeza.

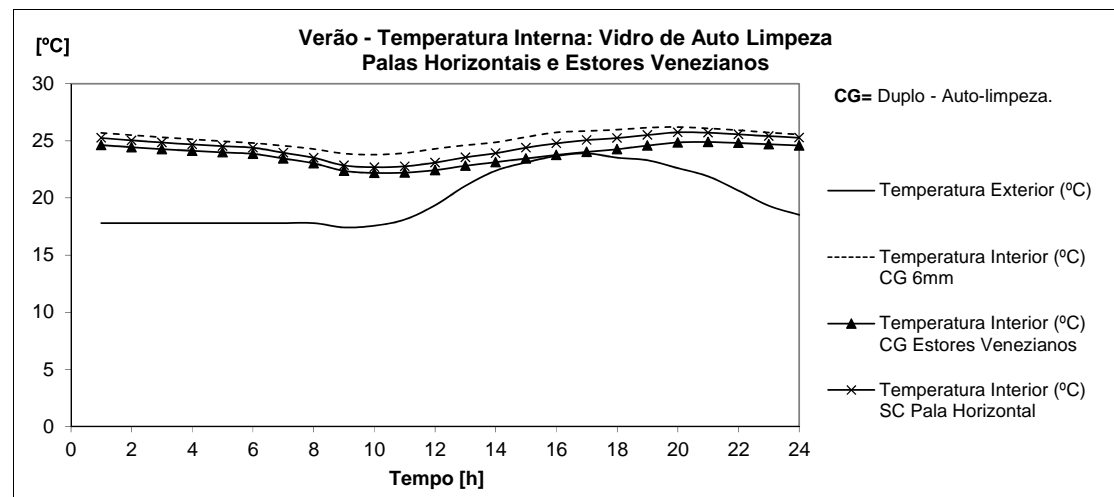


Figura 5.6 Verão: Temperaturas internas com uso do envidraçado de auto-limpeza.

Os gráficos apresentam as diferenças de temperatura interna para o modelo com envidraçado duplo de auto-limpeza, considerando o uso de estores venezianos e pala horizontal. O uso de estores venezianos fixos ocasionou novamente uma diminuição da temperatura interna para inverno, isso significa que para utilização na fachada, esse tipo de



dispositivo deve ser móvel, de modo a possibilitar a entrada da radiação solar no inverno e aumentar as temperaturas internas. Para o verão, o uso de estores venezianos implicou o decréscimo da temperatura interna. O uso de uma pala horizontal não ocasionou grandes diferenças nas temperaturas internas do modelo.

Estes resultados conduziram à hipótese de base para a execução da simulação de desempenho térmico no desenvolvimento do sistema de fachada, ou seja, com a variação de tipos de envidraçados e adição de dispositivos de proteção solar foi possível observar uma variação de temperaturas internas. Isso indicou uma coerência dos resultados e o fato do programa de simulação estar adequado para utilização.

5.1.2 Necessidades Energéticas de Aquecimento para Modelo Base com Parede de Trombe

Após a execução de simulações para os três tipos de envidraçados apresentados anteriormente foi selecionado o envidraçado de controlo solar para a composição das fachadas do modelo nas simulações iniciais de teste com solução passiva (parede de Trombe). Isso de forma a determinar a relação entre a adição de solução passiva e a diminuição das necessidades energéticas de aquecimento. A **Figura 5.7** apresenta os valores de necessidades energéticas de aquecimento para cinco diferentes tipos de composição de fachadas, simuladas para o clima de Guimarães e posicionadas na orientação solar sul. Além disso, nas simulações de teste foi considerado o uso de dois tipos de envolvente: uma do sistema convencional português em alvenaria dupla e outra típica do sistema *light gauge steel framing*, já que se pretendia analisar também a influência do tipo de envolvente nas necessidades energéticas.

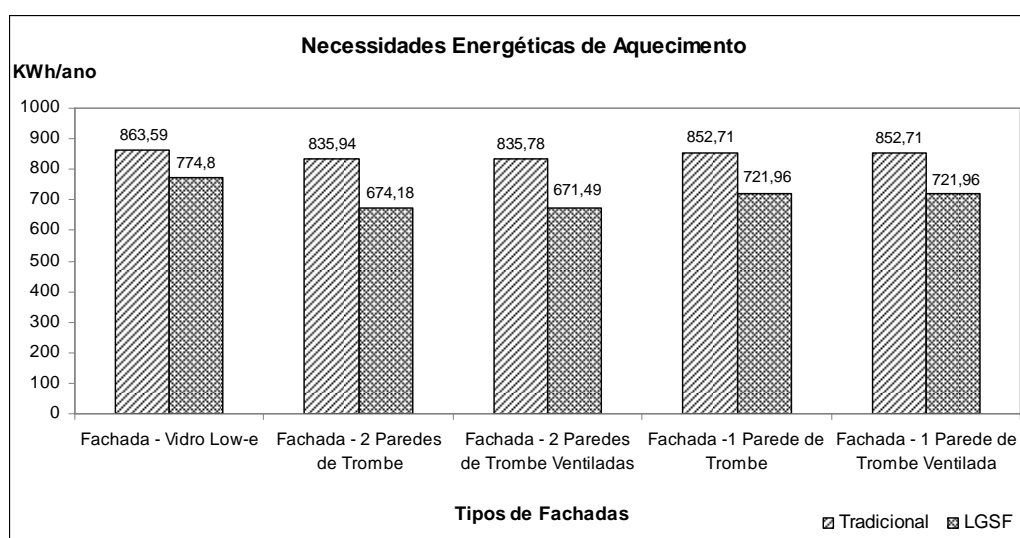


Figura 5.7 Necessidades Energéticas de Aquecimento.



É possível observar que o uso de uma envolvente típica do sistema *light gauge steel framing* no modelo de simulação conduziu a um menor consumo energético para aquecimento, principalmente com a implantação de duas paredes de Trombe na fachada. A diminuição das necessidades energéticas foi confirmada com a adição das soluções passivas de aquecimento. A **Tabela 5.1** apresenta a diminuição dos gastos energéticos com base numa fachada de vidro duplo de controlo solar (Vidro de controlo solar Cool Lite 6mm – Ar 12mm – Vidro low-e Planitherm 6mm).

Tabela 5.1 Diminuição do consumo de acordo com a solução passiva incorporada.

| Envolvente | Tipos de Fachadas | Necessidade de Aquecimento Anual (kWh) | % |
|--------------|--|--|--------|
| Convencional | Fachada - Vidro <i>Low-e</i> | 863,59 | - |
| | Fachada - 2 Paredes de Trombe | 835,94 | -3,20 |
| | Fachada - 2 Paredes de Trombe Ventiladas | 835,78 | -3,22 |
| | Fachada - 1 Parede de Trombe | 852,71 | -1,26 |
| | Fachada - 1 Parede de Trombe Ventilada | 852,71 | -1,26 |
| LGSF | Fachada - Vidro <i>Low-e</i> | 774,8 | - |
| | Fachada - 2 Paredes de Trombe | 674,18 | -12,99 |
| | Fachada - 2 Paredes de Trombe Ventiladas | 671,49 | -13,33 |
| | Fachada - 1 Parede de Trombe | 721,96 | -6,82 |
| | Fachada - 1 Parede de Trombe Ventilada | 721,96 | -6,82 |

Para o modelo simulado, o uso de duas paredes de Trombe na fachada fizeram com que o consumo energético anual para aquecimento fosse diminuído em cerca de 3% para o modelo com envolvente convencional e cerca de 13% para o modelo com envolvente do sistema LGSF. Sendo assim, as simulações iniciais ofereceram o suporte esperado para confirmar que seria possível analisar o desempenho térmico de envidraçados e soluções passivas por meio de simulações computacionais no software *DesignBuilder*.

5.2 Simulações Computacionais de Desempenho Térmico: Fachadas Envidraçadas

Nesta etapa, foram considerados primeiramente dois climas para ser analisado o desempenho dos envidraçados: Coimbra localizada ao centro e Faro ao sul de Portugal, de forma a observar se os resultados poderiam indicar melhor desempenho de diferentes envidraçados. Isso também de forma a não haver necessidade de executar simulações considerando dez tipos de envidraçados para todos os nove climas, pois em alguns casos os resultados estariam próximos, por isso a análise de dois climas seria suficiente.



A partir dos resultados das simulações para os dez envidraçados e dois climas, foram selecionados três tipos de envidraçados dentre os dez analisados anteriormente que conduziram a um melhor desempenho térmico, sendo dois deles com melhor desempenho em termos de diminuição das necessidades nominais de aquecimento (Envidraçado 07 e Envidraçado 09) e um envidraçado com melhor desempenho em relação à redução das necessidades nominais de arrefecimento (Envidraçado 04).

5.2.1 Simulações para Dez Tipos de Envidraçados

5.2.1.1 Coimbra: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Todos os 10 tipos de envidraçados⁵⁷ analisados para o clima de Coimbra conduziram a necessidades nominais de aquecimento inferiores à calculada de acordo com o RCCTE, para uma célula com as características e fator de forma como apresentados anteriormente na metodologia. Em termos gerais observou-se uma pequena diferença em termos de consumo dentre os dois tipos de envolvente, sendo menor para a envolvente típica do sistema LGSF. Os envidraçados 07, 09 e 10⁵⁸ conduziram a melhores resultados em comparação com os demais (**Figura 5.8 e 5.9**).

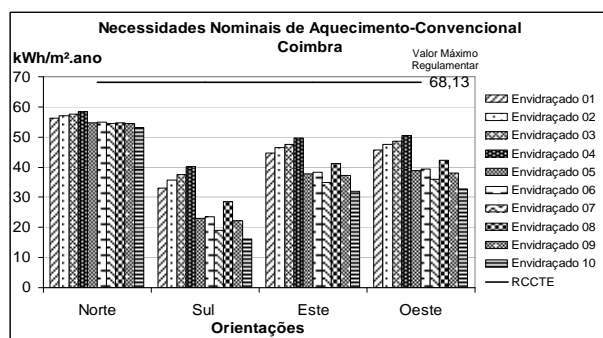


Figura 5.8 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

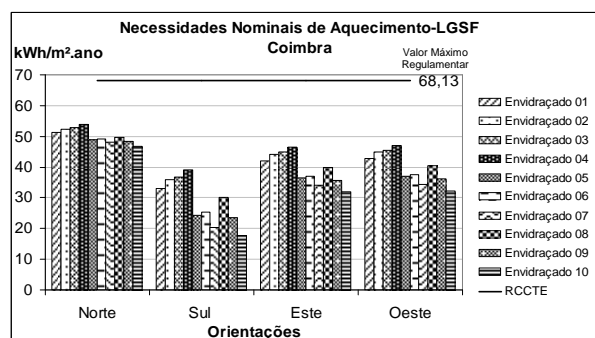


Figura 5.9 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Coimbra.

⁵⁷ Envidraçado 01 (Cool Lite KNT 155 4mm-Planitherm Total 4mm);
Envidraçado 02 (Cool Lite KNT 155 4mm Planitherm Futur Ultra N 4mm);
Envidraçado 03 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde-Planitherm Total 4mm);
Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde-Planitherm Futur Ultra N 4mm);
Envidraçado 05 (Bioclean 4mm-Planitherm Total 4mm);
Envidraçado 06 (Bioclean 4mm-Planitherm Futur Ultra N 4mm);
Envidraçado 07 (Bioclean 4mm-Planilux 4mm);
Envidraçado 08 (Planistar 4mm-Planilux 4mm);
Envidraçado 09 (Planilux 4mm-Planitherm Total 4mm);
Envidraçado 10 (Diamant 4mm-Diamant 4mm).
⁵⁸ Envidraçado 07 (Bioclean 4mm-Planilux 4mm);
Envidraçado 09 (Planilux 4mm-Planitherm Total 4mm);
Envidraçado 10 (Diamant 4mm-Diamant 4mm).

Para a envolvente convencional observou-se que somente o envidraçado 03 (Cool Lite KNT 155 Green 4 mm - Planitherm Total 4 mm) e o 04 (Cool Lite KNT 155 Green 4 mm - Planitherm Futur Ultra N 4 mm) conduziram a valores abaixo do calculado de acordo com o RCCTE. Os envidraçados restantes conduziram a um consumo superior, principalmente para as orientações Sul e Oeste (**Figura 5.10**).

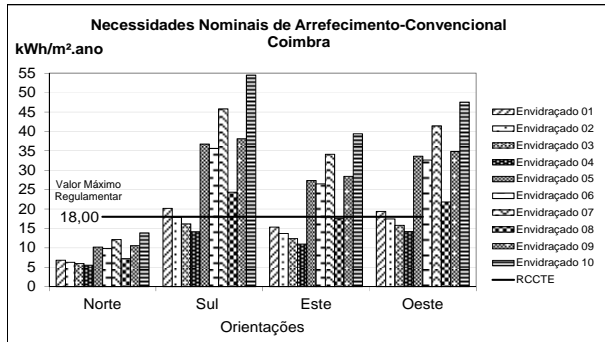


Figura 5.10 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

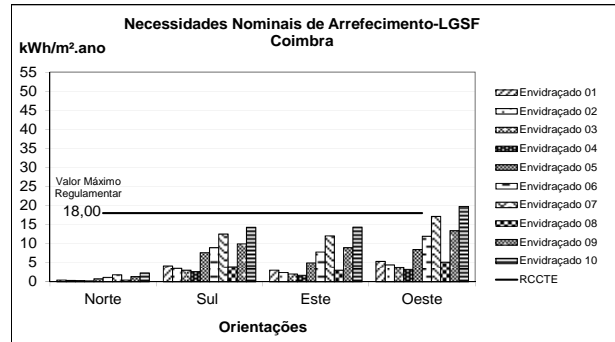


Figura 5.11 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Coimbra.

As necessidades de arrefecimento para Coimbra, considerando a envolvente do sistema LGSF estiveram abaixo do valor determinado com base no RCCTE (18 kWh/m².ano) para grande parte dos envidraçados. Com exceção do envidraçado 10, que conduziu a necessidades nominais de arrefecimento superior ao recomendado para a orientação Oeste (**Figura 5.11**).

5.2.1.2 Faro: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Novamente, para a cidade de Faro, todos os envidraçados analisados conduziram a necessidades nominais de aquecimento inferiores ao valor obtido de acordo com o RCCTE (50,69 kWh/ m².ano) para ambos os tipos de envolvente. Como no caso de Coimbra, o uso dos envidraçados 07, 09 e 10⁵⁹ conduziram a melhores resultados em comparação com os demais (**Figuras 5.12 e 5.13**).

⁵⁹ Envidraçado 07 (Bioclean 4mm-Planilux 4mm); Envidraçado 09 (Planilux 4mm-Planitherm Total 4mm); Envidraçado 10 (Diamant 4mm-Diamant 4mm).

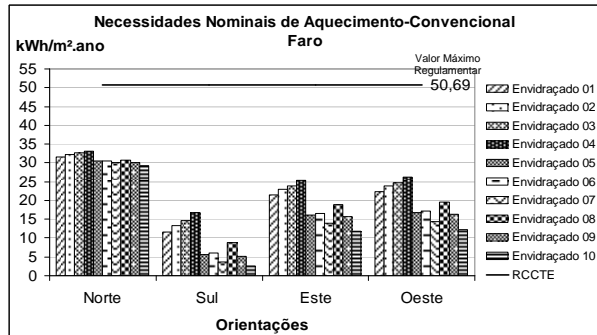


Figura 5.12 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Faro.

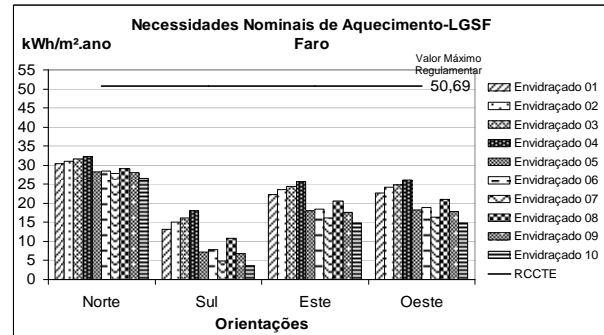


Figura 5.13 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema LGSF - Faro.

Foi observado na análise para o clima de Faro, que somente o uso do envidraçado 04 (KNT 155 Cool Lite Green 4 mm - Planitherm Futur Ultra N 4 mm) conduziu a valores inferiores ao calculado de acordo com o RCCTE (32kWh / m². ano), considerando a envolvente do sistema tradicional (**Figura 5.14**). Para Faro os mesmos tipos de envidraçados (Envidraçado 07 e 10⁶⁰) conduziram a maiores necessidades de arrefecimento para as orientações Sul, Este e Oeste quando considerados no modelo. Para o sistema LGSF foram observadas maiores necessidades energéticas para arrefecimento para as orientações Este e Oeste (**Figura 5.15**).

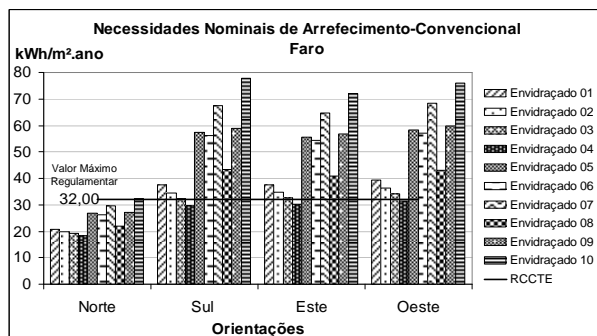


Figura 5.14 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Faro.

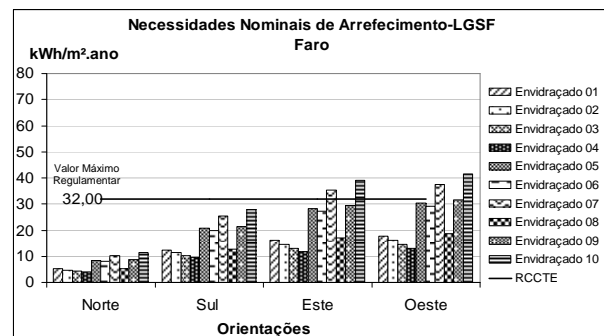


Figura 5.15 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Faro.

5.2.1.3 Análise Geral

Nas simulações executadas considerando a envolvente do sistema convencional (parede dupla em alvenaria) tanto para a cidade de Coimbra quanto para Faro, o uso de todos os tipos de envidraçados no modelo resultou em necessidades nominais de aquecimento adequadas de acordo com o RCCTE. Os envidraçados podem ser listados, em

⁶⁰ Envidraçado 07 (Bioclean 4mm-Planilux 4mm);
Envidraçado 10 (Diamant 4mm-Diamant 4mm).

termos de diminuição das necessidades de aquecimento do modelo simulado de acordo com o **Quadro 5.2**, da menor à maior necessidade de aquecimento.

Quadro 5.2 Nível de Aquecimento Necessário-Convencional: Coimbra e Faro.

| Necessidades de Aquecimento-Sistema Convencional | | |
|--|----------------|----------------|
| Escala | Coimbra | Faro |
| | Envidraçado 10 | Envidraçado 10 |
| | Envidraçado 07 | Envidraçado 07 |
| | Envidraçado 09 | Envidraçado 09 |
| | Envidraçado 05 | Envidraçado 05 |
| | Envidraçado 06 | Envidraçado 06 |
| | Envidraçado 08 | Envidraçado 08 |
| | Envidraçado 01 | Envidraçado 01 |
| | Envidraçado 02 | Envidraçado 02 |
| | Envidraçado 03 | Envidraçado 03 |
| | Envidraçado 04 | Envidraçado 04 |

Em termos de diminuição das necessidades de arrefecimento nos modelos simulados, o uso dos dez tipos de envidraçados podem ser listados de acordo com o **Quadro 5.3** da menor à maior necessidade de arrefecimento.

Quadro 5.3 Nível de Arrefecimento Necessário LGSF: Coimbra e Faro.

| Necessidades de Arrefecimento-LGSF | | |
|------------------------------------|----------------|----------------|
| Escala | Coimbra | Faro |
| | Envidraçado 04 | Envidraçado 04 |
| | Envidraçado 03 | Envidraçado 03 |
| | Envidraçado 02 | Envidraçado 02 |
| | Envidraçado 08 | Envidraçado 01 |
| | Envidraçado 01 | Envidraçado 08 |
| | Envidraçado 05 | Envidraçado 06 |
| | Envidraçado 06 | Envidraçado 05 |
| | Envidraçado 09 | Envidraçado 09 |
| | Envidraçado 07 | Envidraçado 07 |
| | Envidraçado 10 | Envidraçado 10 |

5.2.2 Simulações para Três Tipos de Envidraçados

Foram consideradas nove localidades (Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Guimarães, Lajes-Açores, Lisboa e Porto) para ser analisado o desempenho dos envidraçados, de forma a observar se os resultados poderiam indicar melhor desempenho de acordo com o clima. Foram analisados, com apresentado na metodologia três tipos de envidraçados para nove climas; quatro orientações (norte, sul, este e oeste); e dois tipos de envolvente (Sistema Convencional Português em alvenaria dupla e Sistema *Light Gauge Steel Framing-LGSF*). Para avaliação do desempenho térmico dos envidraçados foram executadas um total de 216 simulações. Porém, devido a proximidade dos resultados serão apresentados os gráficos somente para Bragança (Norte), Coimbra (Centro) e Faro (Sul), o restante se encontra em anexo (**Anexo A**).



5.2.2.1 Bragança: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Todos os três tipos de envidraçados analisados para o clima de Bragança conduziram a necessidades nominais de aquecimento inferior à calculada de acordo com o RCCTE, isso para uma célula com as características e fator de forma apresentados anteriormente. Em termos gerais, observa-se uma pequena diferença em termos de consumo energético dentre os dois tipos de envolvente, sendo menor para a envolvente típica do sistema LGSF (**Figura 5.16 e 5.17**). Destacaram-se com as menores necessidades nominais de aquecimento os modelos com uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm – Planilux 4mm).

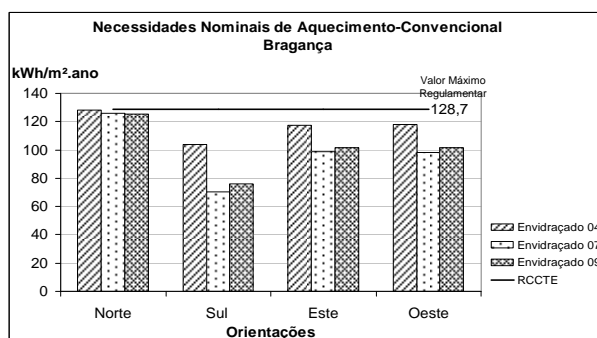


Figura 5.16 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Bragança.

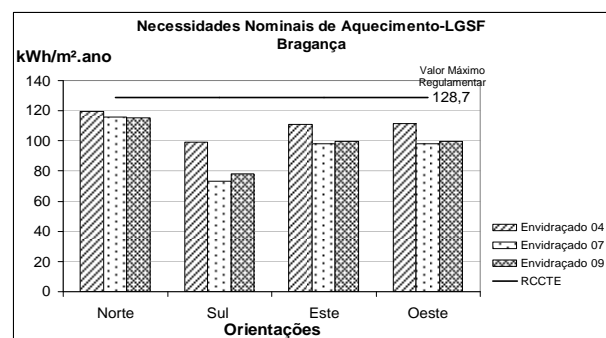


Figura 5.17 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Bragança.

Para os modelos com envolvente em alvenaria dupla (sistema convencional) apenas o uso do envidraçado 4 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) levou a necessidades nominais de arrefecimento inferior a 18kWh/m².ano (**Figura 5.18**). Grande parte dos modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* conduziu a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE para o clima de Bragança (**Figuras 5.19**). Em todos os casos o envidraçado 04 destacou-se com necessidades nominais de arrefecimento inferiores.

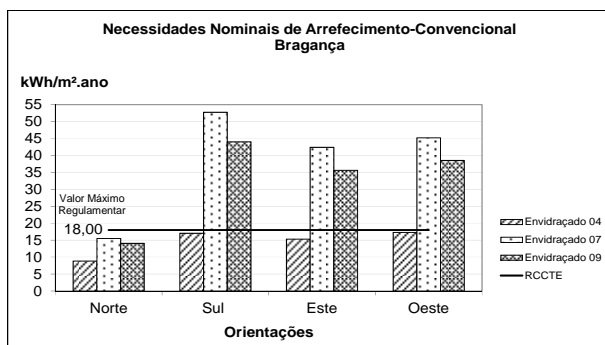


Figura 5.18 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Bragança.

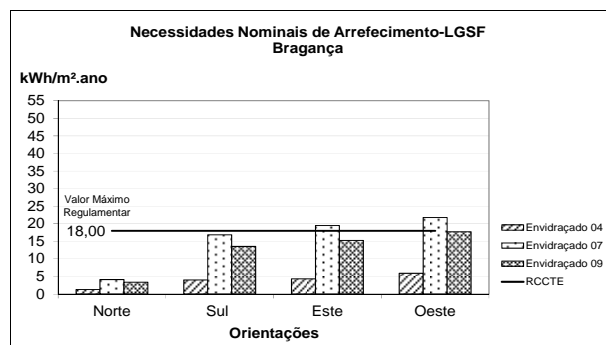


Figura 5.19 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Bragança.

5.2.2.2 Coimbra: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para a cidade de Coimbra os três tipos de envidraçados utilizados conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do valor obtido de acordo com o RCCTE (68,14kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF) (**Figuras 5.20 e 5.21**). Novamente, o menor consumo observado foi para o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). Neste caso, o uso de ambos os tipos de envolvente representaram necessidades nominais de aquecimento semelhantes.

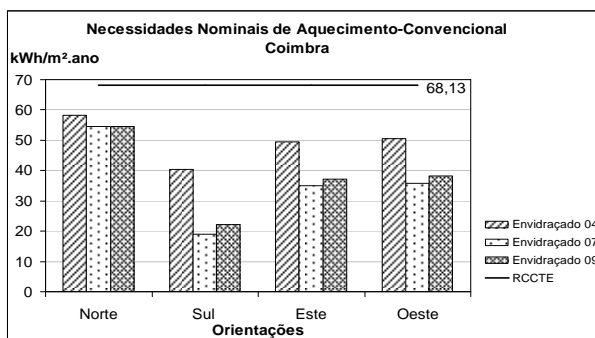


Figura 5.20 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

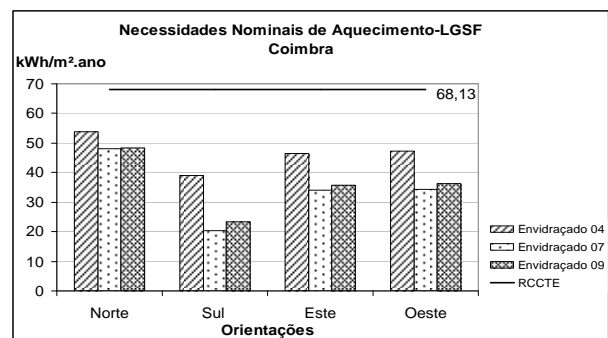


Figura 5.21 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Coimbra.

Boa parte dos envidraçados conduziu a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE para Coimbra (18kWh/m².ano) (**Figuras 5.22 e 5.23**). As necessidades nominais de arrefecimento foram elevadas principalmente para as orientações sul e oeste.

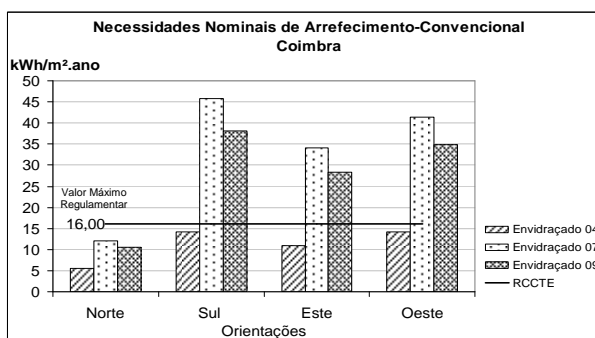


Figura 5.22 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

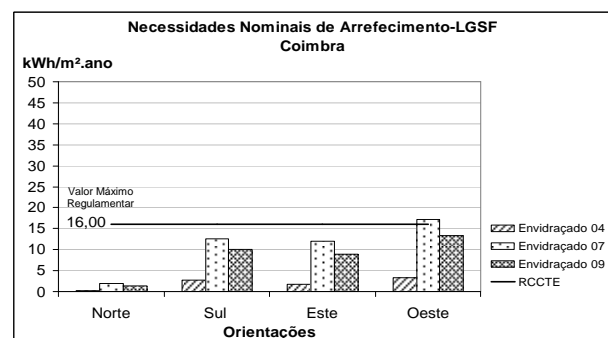


Figura 5.23 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Coimbra.

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para Coimbra, observou-se que o uso dos vidros cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04) levou a valores de necessidades de arrefecimento abaixo do recomendado



pele RCCTE (26kWh/m².ano), para ambos os tipos de envoltivo. Neste caso, o consumo energético para arrefecimento foi mais elevado para a envoltivo convencional.

5.2.2.3 Faro: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para Faro os três tipos de envidraçados utilizados conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do valor obtido de acordo com o RCCTE (50,69 kWh/m².ano), para ambos os tipos de envoltivo. Novamente, o menor consumo foi observado com o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). O uso de ambos os tipos de envoltivo representou necessidades nominais de aquecimento semelhantes (Figuras 5.24 e 5.25).

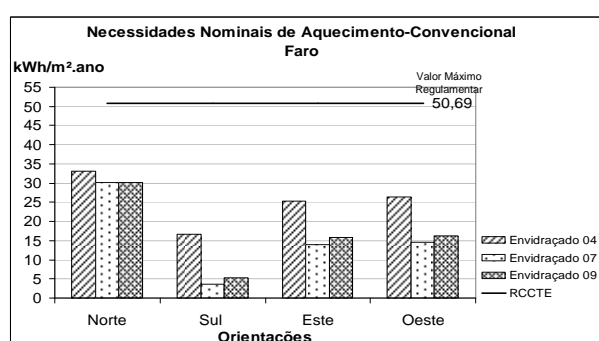


Figura 5.24 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Faro.

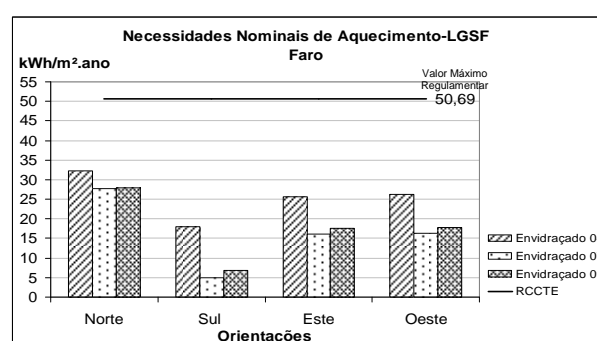


Figura 5.25 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Faro.

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para Faro, observou-se que o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) destacou-se principalmente para a envoltivo do sistema convencional por apresentar valores de necessidades nominais de arrefecimento abaixo do valor obtido de acordo com o RCCTE (32kWh/m².ano). Para a envoltivo do sistema LGSF, os três envidraçados conduziram a valores inferiores ao RCCTE, com exceção do envidraçado 07 para as orientações Este e Oeste (Figuras 5.26 e 5.27).

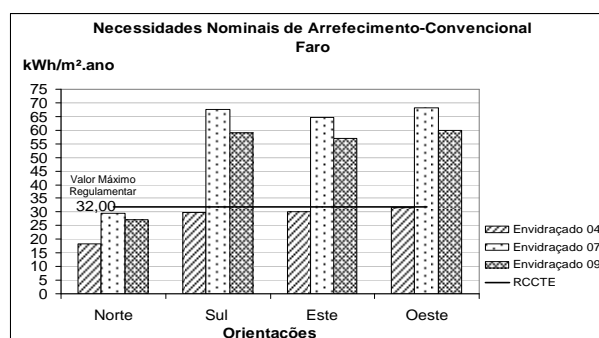


Figura 5.26 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Faro.

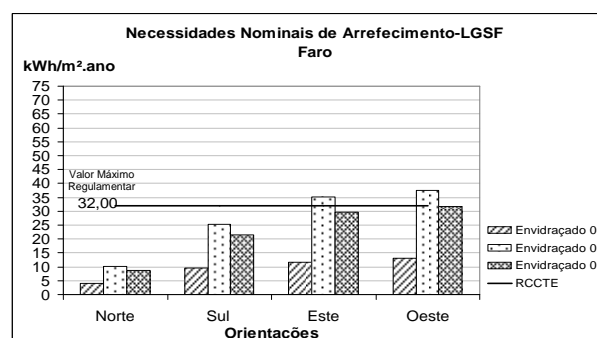


Figura 5.27 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Faro.

5.2.2.4 Análise Geral

Para todas as cidades, grande parte dos envidraçados analisados conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do valor determinado de acordo com o RCCTE, ou seja, estão adequados para um modelo base com as características e fator de forma citadas anteriormente na metodologia. Em termos de diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento, os tipos de envidraçados podem ser listados em ordem de acordo com os **Quadros 5.4** e **5.5** das menores para as maiores necessidades. Essa ordem se repete para ambos os tipos de envolvente.

Quadro 5.4 Nível de Aquecimento Necessário - Sistema Convencional e LGSF

| Necessidades de Aquecimento | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------|---------|---------|-----------------|-----------|--------------|---------|---------|
| Escala | Bragança | Coimbra | Évora | Faro | Funchal-Madeira | Guimarães | Lajes-Açores | Lisboa | Porto |
| Necessidade de Aquecimento | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 |
| | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 |
| | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 |

Já em termos de necessidades de arrefecimento os tipos de envidraçados podem ser listados na seguinte ordem de acordo com o **Quadro 5.5** da menor para a maior necessidade de arrefecimento, para ambos os tipos de envolvente.

Quadro 5.5 Nível de Arrefecimento Necessário- Sistema Convencional e LGSF

| Necessidades de Arrefecimento | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------|---------|---------|-----------------|-----------|--------------|---------|---------|
| Escala | Bragança | Coimbra | Évora | Faro | Funchal-Madeira | Guimarães | Lajes-Açores | Lisboa | Porto |
| Necessidade de Aquecimento | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 | Env. 04 |
| | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 | Env. 09 |
| | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 | Env. 07 |

Salienta-se que no caso dos modelos simulados para o sistema convencional (alvenaria dupla), em grande parte das localidades, o uso dos vidros cool lite KNT 155 4mm - verde e planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04) conduziu a valores de necessidades nominais de arrefecimento inferiores aos valores calculados com base no RCCTE. Já para a envolvente do sistema LGSF, o uso dos três tipos de envidraçados conduziu a valores adequados de acordo com o RCCTE.

Diante dos resultados das simulações computacionais para os três tipos de envidraçados, observou-se que grande parte dos casos analisados conduziu a



necessidades nominais de aquecimento inferiores aos limites máximos (por cidade) determinados com base no RCCTE, ou seja, adequados. Destacou-se o envidraçado duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (**Envidraçado 07**) com as menores necessidades nominais de aquecimento para todas as localidades analisadas.

Em relação às necessidades nominais de arrefecimento destacou-se o envidraçado duplo cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (**Envidraçado 04**) por apresentar valores bem inferiores aos valores calculados de acordo com o RCCTE. O uso do Envidraçado 04 nos modelos com envolvente em alvenaria dupla (Sistema Convencional Português) em todos os casos foi o único a proporcionar necessidades nominais de arrefecimento inferiores aos valores determinados de acordo com o RCCTE.

Mesmo ao utilizar envolvente de dois tipos de sistemas construtivos (Sistema Convencional Português em alvenaria dupla e *Sistema Light Gauge Steel Framing*), tal variação não ocasionou diferenças significativas em termos de necessidades nominais de aquecimento dos modelos simulados. Já em termos de necessidades nominais de arrefecimento foram observadas variações significativas no uso dos dois tipos de envolvente, sendo que tais valores foram no mínimo o dobro para os modelos com envolvente do sistema convencional (alvenaria dupla). Isso indica vantagens na utilização da envolvente típica do sistema *light gauge steel framing* para climas que apresentem climas com duração curta da estação de aquecimento.

Perante os resultados das simulações para os envidraçados, tendo em vista que um deles foi adequado em relação às necessidades nominais de aquecimento e o outro às de arrefecimento, podem ser indicados os seguintes envidraçados para compor duas opções para os módulos do sistema de fachadas:

- Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) para as localidades onde as necessidades de aquecimento sejam a prioridade, ou seja, apresentem invernos mais rigorosos;
- Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04), para as localidades onde as necessidades de arrefecimento sejam a prioridade, ou seja apresentem invernos menos rigorosos e verões quentes e longos.



Na **Tabela 5.2** a seguir são indicados os envidraçados de acordo com a duração da estação de inverno para os climas analisados em Portugal. Para climas nos quais a duração do inverno for superior a 5 meses é indicado o envidraçado com melhor desempenho em relação à diminuição das necessidades nominais de aquecimento. Esse critério foi adotado pois grande parte do país apresenta clima temperado, caracterizado por invernos moderadamente frios, verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. O clima de Portugal apresenta variações significativas que podem ser observadas na classificação de zonas climáticas apresentada no RCCTE.

Tabela 5.2 Duração das Estações de Acordo com o Clima e Envidraçados.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçado Indicado |
|-------------------|----------------------------|---|
| Bragança | 8,0 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |
| Coimbra | 6,0 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |
| Évora | 5,7 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |
| Faro | 4,3 | Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04) |
| Funchal - Madeira | 3,9 | Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04) |
| Guimarães | 7,0 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |
| Lajes - Açores | 4,0 | Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04) |
| Lisboa | 5,3 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |
| Porto | 6,7 | Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) |

5.3 Simulações Computacionais de Desempenho Térmico: Soluções Passivas

As soluções passivas foram adicionadas às soluções compostas pelos envidraçados 07 e 04. Os dois tipos de envidraçados foram analisados em combinação com as soluções passivas novamente para nove cidades; quatro orientações solares (norte, sul, este e oeste); e dois tipos de envolvente (Sistema *Light Gauge Steel Framing* - LGSF e de um Sistema Convencional Português em alvenaria dupla). Para avaliação do desempenho



térmico de fachadas que combinam envidraçados e soluções passivas foram executadas 432 simulações para as soluções de aquecimento e 120 para as soluções de arrefecimento. Foi dada maior ênfase nas soluções passivas de aquecimento por se tratar de um clima temperado.

Para melhor entendimento dos resultados apresentados nas figuras, salienta-se que:

- TW = 5 módulos parede de Trombe posicionados na fachada, formando uma parede de Trombe completa (como explicado anteriormente na metodologia);
- E = 5 módulos de estufa posicionados na fachada.

Novamente, devido a proximidade dos resultados serão apresentados os gráficos somente para Bragança (Norte), Coimbra (Centro) e Faro (Sul), o restante se encontra em anexo (**Anexo B**).

5.3.1 Simulações para Soluções Passivas de Aquecimento

5.3.1.1 Bragança: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

As soluções passivas de aquecimento analisadas para o clima de Bragança conduziram a necessidades nominais de aquecimento inferior à calculada de acordo com o RCCTE, para uma célula com as características e fator de forma apresentados anteriormente. Em termos gerais notou-se uma pequena diferença em relação ao consumo energético dentre os dois tipos de envolvente, sendo menor para a envolvente típica do sistema LGSF (**Figuras 5.28 e 5.29**). O menor consumo foi observado para a orientação sul para as soluções compostas pelo envidraçado 07 e paredes de Trombe, o uso de uma ou duas conduziram a valores próximos.

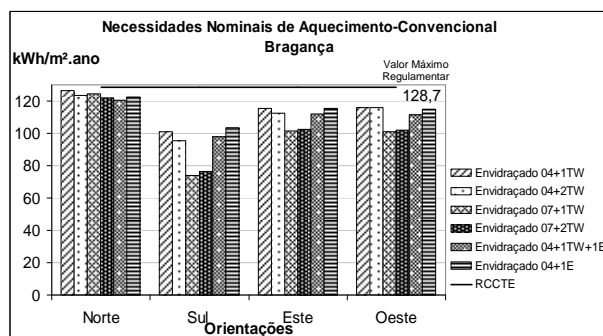


Figura 5.28 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Bragança.

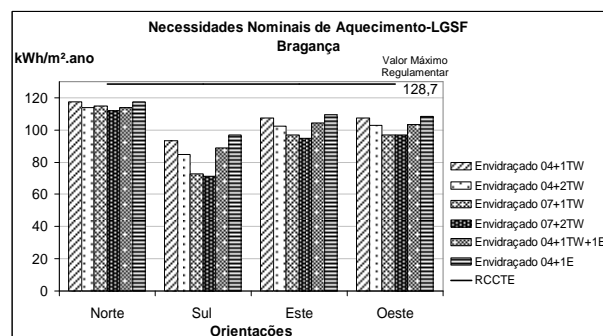


Figura 5.29 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Bragança.

Para os modelos com envolvente em alvenaria dupla (sistema convencional) apenas as soluções passivas combinadas com o envidraçado composto por cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (envidraçado 04) conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferior a 18kWh/m².ano (**Figura 5.30**). Todos os modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE para Bragança, com exceção da orientação oeste para uso do envidraçado 07 com paredes de Trombe (**Figura 5.31**). Para a orientação norte, que recebe menos radiação solar, todas as soluções conduziram a valores inferiores a 18kWh/m².ano.

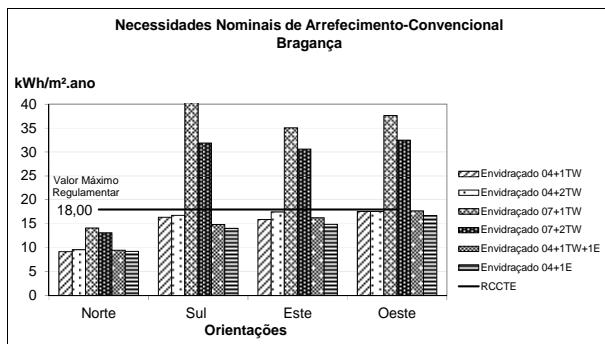


Figura 5.30 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Bragança.

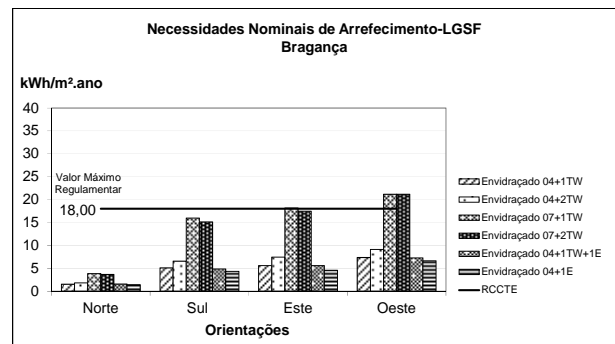


Figura 5.31 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Bragança.

5.3.1.2 Coimbra: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para a cidade de Coimbra todas as soluções utilizadas conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE (68,14kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF). Novamente o menor consumo foi através do uso de soluções compostas pelo envidraçado bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) combinado a uma ou duas paredes de Trombe. Neste caso o uso de ambos os tipos de envolvente representou necessidades nominais de aquecimento próximas. Os consumos foram inferiores para a orientação solar sul. Com a adição de módulos estufa não foram observadas variações significativas no consumo energético de aquecimento, as soluções que incorporam paredes de Trombe ou estufa ao módulo envidraçado 04 conduziram a valores bem próximos (**Figuras 5.32 e 5.33**).

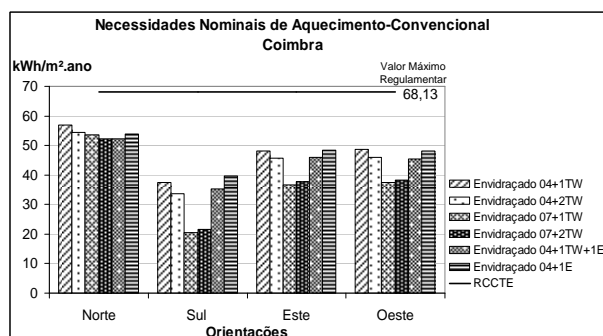


Figura 5.32 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

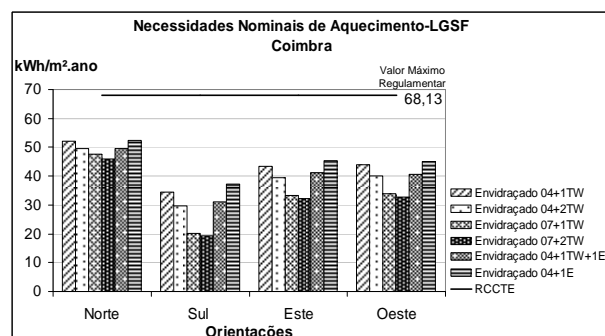


Figura 5.33 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Coimbra.

Todas as soluções analisadas para a envolvente do sistema LGSF conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE para Coimbra (18kWh/m².ano) (**Figuras 5.34 e 5.35**). Para o uso da envolvente em alvenaria convencional, as necessidades nominais de arrefecimento foram elevadas principalmente para as orientações sul e oeste. O uso de soluções passivas combinadas ao envidraçado cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04) conduziu ao menor consumo energético para arrefecimento.

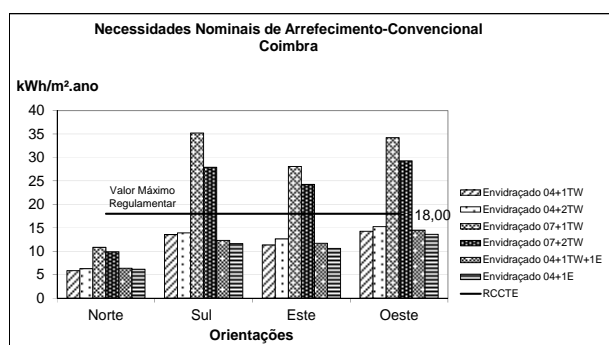


Figura 5.34 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

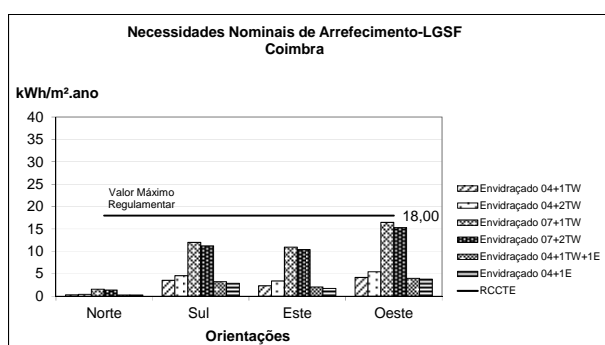


Figura 5.35 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Coimbra.

5.3.1.3 Faro: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para Faro somente a solução composta pelo envidraçado 04 e uma parede de Trombe conduziu a necessidades nominais de aquecimento acima do recomendado pelo RCCTE (50,69 kWh/m².ano), inclusive os valores para tal solução passiva se sobressaíram em relação aos demais. No restante dos casos, todos os resultados estiveram adequados. Novamente, o menor consumo foi através do uso de soluções compostas pelos vidros Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) combinado uma ou duas paredes de Trombe (**Figuras 5.36 e 5.37**).

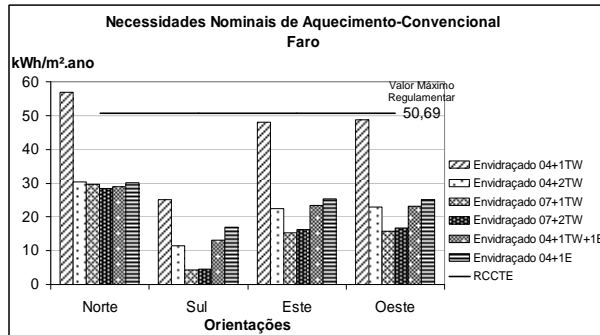


Figura 5.36 Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Faro.

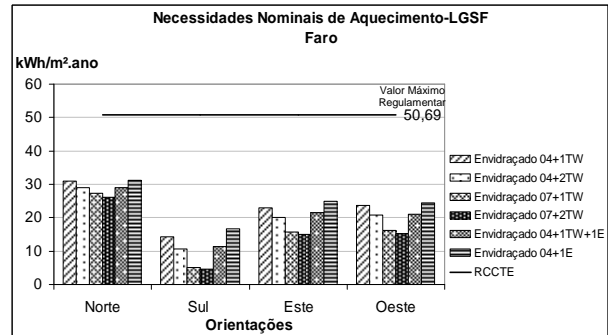


Figura 5.37 Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Faro.

A adição de módulos estufa não conduziu a variações significativas no consumo energético de aquecimento, sendo que as soluções que incorporam paredes de Trombe ou estufa ao módulo envidraçado 04 conduziram a valores bem próximos.

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para Faro, observou-se que para a envolvente do sistema convencional, somente na orientação norte e para o sistema LGSF, nas orientações norte e sul; as soluções passivas conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (32 kWh/m².ano) (Figuras 5.38 e 5.39).

Para o uso da envolvente em alvenaria convencional, as necessidades nominais de arrefecimento foram elevadas principalmente para as orientações este e oeste. O uso de soluções passivas combinadas aos vidros cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04) conduziu a um menor consumo energético para arrefecimento.

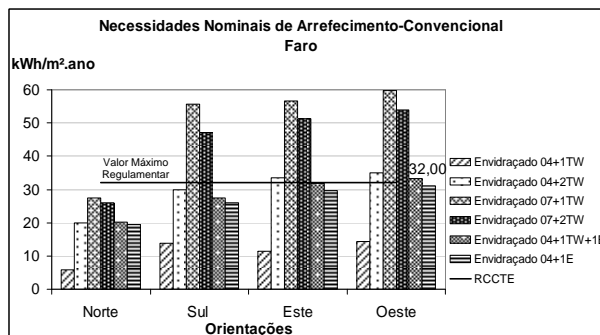


Figura 5.38 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Faro.

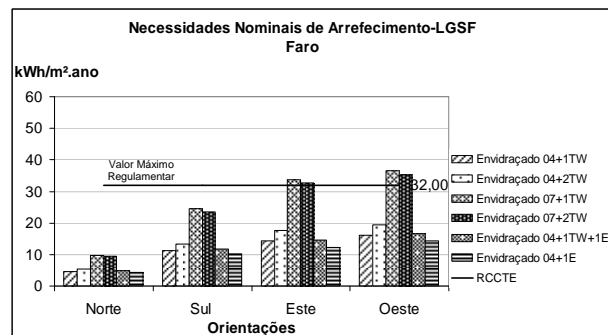


Figura 5.39 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Faro.

5.3.1.4 Análise Geral: Soluções Passivas de Aquecimento

Diante dos resultados das simulações computacionais para a combinação dos dois tipos de fachadas envidraçadas com soluções passivas, observou-se que boa parte dos casos analisados conduziu a necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento



inferiores aos limites máximos (por cidade) determinados com base no RCCTE, ou seja, adequados.

Em termos de diminuição das necessidades de aquecimento, as soluções de fachadas que incorporam paredes de Trombe conduziram a um menor consumo energético, inclusive com valores bem próximos entre as duas soluções. Já em relação às necessidades de arrefecimento, as soluções passivas combinadas com os vidros cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04) conduziram aos menores consumos energéticos, inclusive para as soluções com módulos estufa.

O uso de módulos de estufa, neste caso pouco se destacou em relação à utilização de módulos parede de Trombe. Tal solução ao ser simulada em conjunto com os vidros bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) não conduziu a resultados satisfatórios, por isso foram realizadas simulações dessa solução combinada somente ao envidraçado 04. Tal solução conduziu a valores bem próximos das soluções que incorporam paredes de Trombe ao mesmo tipo de módulo.

Como ocorreu no caso das simulações com as fachadas envidraçadas, ao utilizar envolvente de dois tipos de sistemas construtivos (Sistema Convencional Português em alvenaria dupla e Sistema *Light Gauge Steel Framing*), tal variação não ocasionou diferenças significativas em termos de necessidades nominais de aquecimento dos modelos simulados. Já em termos de necessidades nominais de arrefecimento foram observadas variações significativas com uso de duas diferentes envolventes, sendo que tais valores foram no mínimo, o dobro para os modelos com envolvente do sistema convencional.

Em relação às orientações solares, a maior contribuição em termos de diminuição de consumo energético para aquecimento ocorreu para o uso de soluções passivas na fachada sul. Porém, também foi significativa a contribuição de tais soluções nas fachadas este e oeste. Em termos de diminuição do consumo energético para arrefecimento, as fachadas posicionadas a norte foram as que conduziram ao menor consumo, isso se dá principalmente pelo facto de que no hemisfério norte, esta fachada é a que recebe menor quantidade de radiação solar.

Isso se explica porque no período de inverno, como a altura do sol é menor, uma fachada (vertical) posicionada a sul, recebe os raios solares durante mais tempo que uma com qualquer outra orientação. Por outro lado, a orientação norte recebe menor quantidade de radiação, pois não está sujeita à incidência direta do sol. Já no verão, o tempo de insolação de uma fachada orientada a sul é menor do que no inverno, porque o sol está mais alto. Desta forma, o ideal é que as fachadas envidraçadas e compostas por soluções



passivas estejam orientadas a sul para receber o máximo de radiação solar no inverno e se possível agreguem proteção solar para diminuir a incidência do sol no verão.

Perante os resultados das simulações para a combinação de módulos envidraçados e soluções passivas e tendo em vista que um deles foi adequado em relação às necessidades nominais de aquecimento e o outro às de arrefecimento, podem ser indicadas as seguintes soluções de fachada que conduziram a um melhor desempenho térmico:

- Fachada composta por módulos paredes de Trombe combinada com os vidros bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) para os climas onde as necessidades de aquecimento sejam a prioridade, ou seja, com invernos mais rigorosos;
- Fachada composta por quaisquer das soluções passivas de aquecimento estudadas em conjunto com os vidros cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04), para os climas nos quais as necessidades de arrefecimento sejam a prioridade, ou seja apresentem invernos menos rigorosos e verões quentes e longos.

A seguir são apresentadas na **Tabela 5.3** as soluções indicadas de acordo com a duração da estação de inverno para cada clima. Como feito para os resultados anteriores, climas nos quais a duração do inverno for de 5 a 8 meses é indicada a solução com melhor desempenho em relação às necessidades nominais de aquecimento por Portugal ter clima temperado.

**Tabela 5.3** Duração das Estações de Acordo com o Clima e Soluções Passivas de Aquecimento.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Solução Passiva de Aquecimento Indicada |
|-------------------|-----------------------------------|--|
| Bragança | 8,0 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |
| Coimbra | 6,0 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |
| Évora | 5,7 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |
| Faro | 4,3 | Envidraçado 04 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe; ou estufas. |
| Funchal - Madeira | 3,9 | Envidraçado 04 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe; ou estufas. |
| Guimarães | 7,0 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |
| Lajes - Açores | 4,0 | Envidraçado 04 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe; ou estufas. |
| Lisboa | 5,3 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |
| Porto | 6,7 | Envidraçado 07 combinado com 1 ou 2 paredes de Trombe. |

5.3.2 Simulações para Soluções Passivas de Arrefecimento

As soluções passivas de arrefecimento representadas pelos módulos de ventilação e dispositivos de proteção solar foram adicionadas às soluções compostas pelos vidros bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e uma parede de Trombe, isso devido ao facto desta solução ter apresentado o consumo energético mais elevado para arrefecimento dentre as demais soluções estudadas. Sendo assim, pretendia-se determinar qual seria a vantagem em termos de economia energética no período de arrefecimento com a adição de módulos de ventilação e dispositivos de proteção solar.



5.3.2.1 Módulos de Ventilação

As quatro variações de disposição de módulos de ventilação apresentadas anteriormente na metodologia foram consideradas nas simulações. Tais simulações foram executadas para três climas⁶¹ (Bragança, Coimbra e Faro); quatro orientações solares (norte, sul, este e oeste); e dois tipos de envolvente (Sistema *Light Gauge Steel Framing*-LGSF e de um Sistema Convencional Português em alvenaria dupla). Neste caso específico, o enfoque foi dado aos resultados para as necessidades nominais de arrefecimento das simulações de desempenho térmico e as diferenças de necessidades nominais de arrefecimento com e sem o uso de módulos de ventilação. Foi executado um total de 96 simulações para avaliação do desempenho térmico de fachadas que agregam módulos de ventilação.

Para o melhor entendimento das legendas dos resultados, salienta-se que:

- TW = 5 módulos parede de Trombe posicionados na fachada (que juntos formam uma parede de Trombe completa, como explicado na metodologia);
- 6I = 6 módulos de ventilação posicionados na parte inferior da fachada (formando um peitoril ventilado);
- SI = 3 módulos de ventilação posicionados na parte inferior e 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior da fachada;
- S = 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior da fachada;
- I = 3 módulos de ventilação posicionados na parte inferior da fachada.

Bragança: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Para Bragança, grande parte dos modelos em ambas as envolventes conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (18kWh/m².ano) (**Figuras 5.40 e 5.41**). Observa-se que com a adição de ventilação na fachada com envidraçado 07 e parede de Trombe ocorre uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento.

⁶¹ Como o foco principal do sistema de fachadas é a combinação de elementos envidraçados com soluções passivas, para análise do uso de módulos de ventilação optou-se por fazer as simulações para apenas três climas, sendo um ao norte (Bragança), um ao centro (Coimbra) e um ao sul de Portugal (Faro). Essas informações já seriam suficientes para determinar a contribuição de cada solução em termos de diminuição das necessidades nominais de arrefecimento e ser indicada de acordo com o tempo de duração do verão.

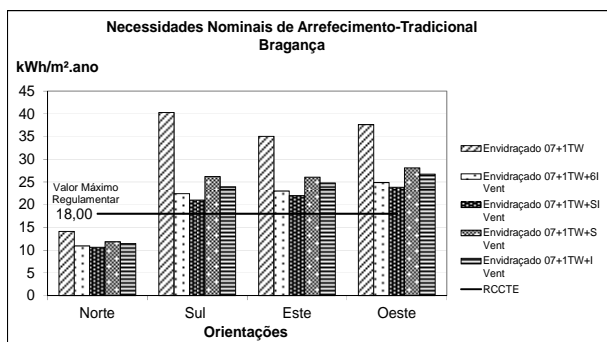


Figura 5.40 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Bragança.

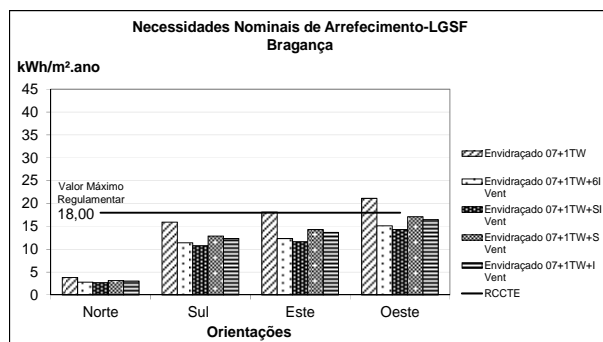


Figura 5.41 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Bragança.

Tal diminuição, para a solução composta pelo envidraçado 07 com uma parede de Trombe e ventilação na parte inferior e superior da fachada, chegou aos 35,8% para a envolvente do sistema LGSF e aos 47,8% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação). Porém, a diminuição de consumo é bem próxima para a utilização de módulos de ventilação posicionados na parte inferior da fachada (como peitoril ventilado) (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 Bragança: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| LGSF | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 3,81 | - | 15,93 | - | 18,12 | - | 21,12 | - |
| 07+1TW+6I | 2,79 | -26,8 | 11,39 | -28,5 | 12,33 | -31,9 | 15,09 | -28,5 |
| 07+1TW+SI | 2,68 | -29,7 | 10,76 | -32,4 | 11,63 | -35,8 | 14,32 | -32,2 |
| 07+1TW+S | 3,14 | -17,6 | 12,85 | -19,3 | 14,28 | -21,2 | 17,12 | -18,9 |
| 07+1TW+I | 3,02 | -20,7 | 12,34 | -22,5 | 13,66 | -24,6 | 16,49 | -21,9 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| Convencional | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 14,12 | - | 40,27 | - | 35,05 | - | 37,63 | - |
| 07+1TW+6I | 10,93 | -22,6 | 22,43 | -44,3 | 22,99 | -34,4 | 24,88 | -33,9 |
| 07+1TW+SI | 10,64 | -24,7 | 21,02 | -47,8 | 22,01 | -37,2 | 23,83 | -36,7 |
| 07+1TW+S | 11,83 | -16,2 | 26,20 | -34,9 | 26,04 | -25,7 | 28,10 | -25,3 |
| 07+1TW+I | 11,46 | -18,8 | 23,95 | -40,5 | 24,80 | -29,2 | 26,73 | -28,9 |

Coimbra: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Para Coimbra, todos os modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (18kWh/m².ano) (Figuras 5.42 e 5.43). Já para o sistema convencional, mesmo com a adição de módulos de ventilação o consumo energético esteve acima do calculado de acordo com o RCCTE. Nos casos onde só a ventilação não seja suficiente, espera-se que o

uso de dispositivos de proteção solar em determinadas épocas do ano auxiliem na diminuição do consumo energético.

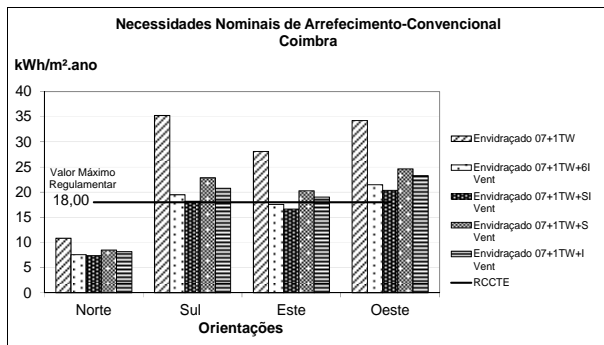


Figura 5.42 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

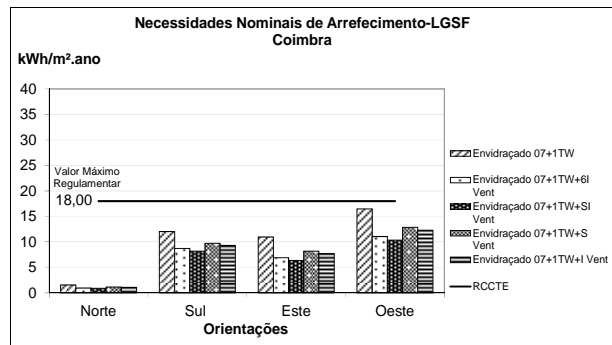


Figura 5.43 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Coimbra.

Novamente observa-se que com a adição de ventilação na fachada com envidraçado 07 e parede de Trombe ocorreu uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 42.9% para a envolvente do sistema LGSF e 48.4% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação). Isso para a solução composta pelo envidraçado 07 com uma parede de Trombe e ventilação na parte inferior e superior da fachada. Novamente, a diminuição de consumo é bem próxima para a utilização de módulos de ventilação posicionados na parte inferior da fachada (como peitoril ventilado) com cerca de 4% de diferença somente (**Tabela 5.5**).

Tabela 5.5 Coimbra: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| LGSF | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 1,56 | - | 12,02 | - | 10,95 | - | 16,47 | - |
| 07+1TW+6I | 0,95 | -38,9 | 8,70 | -27,6 | 6,88 | -37,2 | 11,06 | -32,8 |
| 07+1TW+SI | 0,89 | -42,9 | 8,18 | -31,9 | 6,36 | -41,9 | 10,35 | -37,2 |
| 07+1TW+S | 1,14 | -26,9 | 9,72 | -19,1 | 8,17 | -25,4 | 12,85 | -21,9 |
| 07+1TW+I | 1,07 | -31,6 | 9,29 | -22,7 | 7,71 | -29,6 | 12,27 | -25,5 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| Convencional | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 10,83 | - | 35,24 | - | 28,09 | - | 34,24 | - |
| 07+1TW+6I | 7,57 | -30,2 | 19,49 | -44,7 | 17,56 | -37,5 | 21,47 | -37,3 |
| 07+1TW+SI | 7,38 | -31,9 | 18,17 | -48,4 | 16,64 | -40,8 | 20,35 | -40,6 |
| 07+1TW+S | 8,48 | -21,8 | 22,85 | -35,2 | 20,25 | -27,9 | 24,62 | -28,1 |
| 07+1TW+I | 8,17 | -24,6 | 20,77 | -41,0 | 19,04 | -32,2 | 23,26 | -32,1 |



Faro: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Para o sistema convencional, mesmo com o uso de módulos de ventilação, o consumo energético esteve acima do calculado de acordo com o RCCTE. Todos os modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* com incorporação de módulos de ventilação conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (32kWh/m².ano) (**Figuras 5.44 e 5.45**). Da mesma forma que ocorreu para o clima de Coimbra, somente a ventilação não foi suficiente para auxiliar na diminuição do consumo energético para arrefecimento; o uso de dispositivos de proteção solar em determinadas épocas do ano podem auxiliar neste caso.

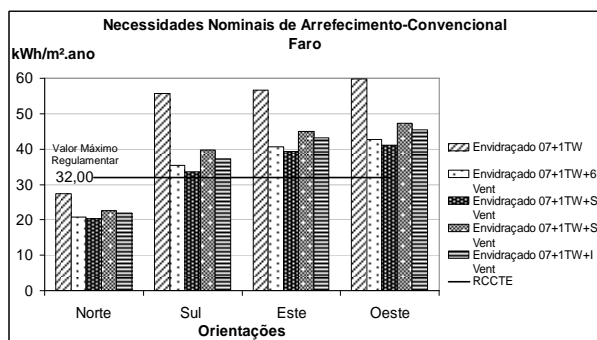


Figura 5.44 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Faro.

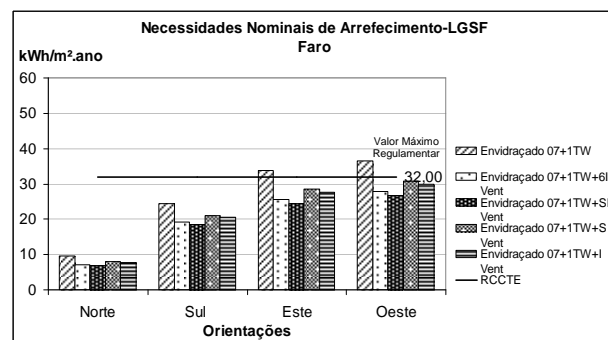


Figura 5.45 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Faro.

Observa-se que com a adição de ventilação na fachada com envidraçado 07 e parede de Trombe ocorreu uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 29.1% para a envolvente do sistema LGSF e 39.5% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação). Isso para a solução composta pelo envidraçado 07 com uma parede de Trombe e ventilação na parte inferior e superior da fachada. Observou-se que a diminuição das necessidades de arrefecimento foi semelhante para a utilização de módulos de ventilação posicionados na parte inferior da fachada (como peitoril ventilado) com uma diferença de apenas 3% em relação a solução com ventilação superior e inferior (**Tabela 5.6**).

**Tabela 5.6** Faro: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| LGSF | | | | | | | | |
| 07+1TW | 9,69 | - | 24,46 | - | 33,72 | - | 36,43 | - |
| 07+1TW+6I | 7,12 | -26,5 | 19,27 | -21,2 | 25,55 | -24,2 | 27,77 | -23,8 |
| 07+1TW+SI | 6,87 | -29,1 | 18,54 | -24,2 | 24,52 | -27,3 | 26,70 | -26,7 |
| 07+1TW+S | 8,04 | -17,0 | 21,04 | -14,0 | 28,45 | -15,6 | 30,85 | -15,3 |
| 07+1TW+I | 7,78 | -19,7 | 20,42 | -16,5 | 27,58 | -18,2 | 29,96 | -17,7 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| Convencional | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| | | | | | | | | |
| 07+1TW | 27,35 | - | 55,56 | - | 56,67 | - | 59,77 | - |
| 07+1TW+6I | 20,79 | -23,9 | 35,37 | -36,3 | 40,68 | -28,2 | 42,70 | -28,6 |
| 07+1TW+SI | 20,33 | -25,7 | 33,61 | -39,5 | 39,30 | -30,6 | 41,16 | -31,1 |
| 07+1TW+S | 22,55 | -17,5 | 39,71 | -28,5 | 44,96 | -20,7 | 47,13 | -21,1 |
| 07+1TW+I | 21,90 | -19,9 | 37,15 | -33,1 | 43,15 | -23,8 | 45,31 | -24,2 |

5.3.2.2 Dispositivos de Proteção Solar

O uso de dispositivos de sombreamento horizontal (brises) foi considerado para a mesma solução de fachada passiva considerada nas simulações dos módulos de ventilação. Tais simulações foram executadas para três climas⁶²; quatro orientações (norte, sul, este e oeste); e dois tipos de envolvente (Sistema *Light Gauge Steel Framing*-LGSF e de um Sistema Convencional Português em alvenaria dupla). Novamente, o foco foi nos resultados para as necessidades nominais de arrefecimento das simulações de desempenho térmico e a contribuição dos dispositivos de sombreamento horizontal para diminuição do consumo energético. Foi executado um total de 24 simulações para avaliação do desempenho térmico de fachadas que agregam dispositivos de proteção solar.

Para o melhor entendimento dos resultados, salienta-se que:

- TW = 5 módulos parede de Trombe posicionados na fachada (que juntos formam uma parede de Trombe completa, como explicado na metodologia);
- SI = 3 módulos de ventilação posicionados na parte inferior e 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior da fachada;
- Brise = 6 módulos de proteção solar posicionados no envidraçado principal da fachada.

⁶² Novamente, como o foco principal do sistema de fachadas é a combinação de elementos envidraçados com soluções passivas, para análise do uso de módulos de proteção solar optou-se por fazer as simulações para apenas três climas, sendo um ao norte (Bragança), um ao centro (Coimbra) e um ao sul (Faro) de Portugal. Esses dados já seriam suficientes para determinar a contribuição de cada solução em termos de diminuição das necessidades nominais de arrefecimento.



Bragança: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Para Bragança, a adição de dispositivos de proteção solar na fachada levou a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (18kWh/m².ano) (**Figuras 5.46 e 5.47**). Observa-se que ocorreu uma diminuição do consumo energético para arrefecimento para a solução analisada. Para a envolvente do sistema LGSF, o consumo energético é inferior.

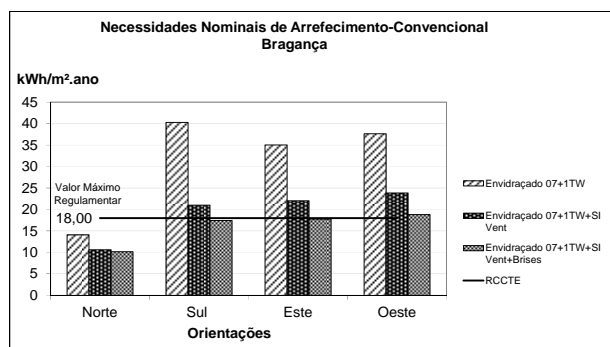


Figura 5.46 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Bragança.

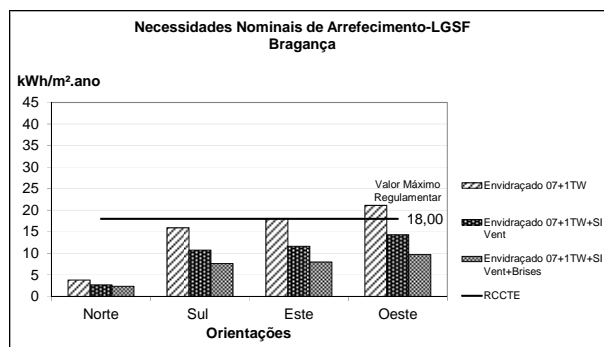


Figura 5.47 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Bragança.

A diminuição do consumo energético de arrefecimento para a solução composta pelo envidraçado 07 com uma parede de Trombe, ventilação na parte inferior e superior da fachada e ainda adição de dispositivos horizontais de sombreamento, chegou aos 55.9% para a envolvente do sistema LGSF e aos 56.7% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação e sem proteção solar) (**Tabela 5.7**).

Tabela 5.7 Bragança: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF.

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| LGSF | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 3,81 | - | 15,93 | - | 18,1 | - | 21,1 | - |
| 07+1TW+SI | 2,68 | -29,7 | 10,76 | -32,4 | 11,6 | -35,8 | 14,3 | -32,2 |
| 07+1TW+SI+Brises | 2,34 | -38,5 | 7,64 | -52,0 | 7,9 | -55,9 | 9,7 | -54,1 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| Convencional | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 14,12 | - | 40,27 | - | 35,0 | - | 37,6 | - |
| 07+1TW+SI | 10,64 | -24,7 | 21,02 | -47,8 | 22,0 | -37,2 | 23,8 | -36,7 |
| 07+1TW+SI+Brises | 10,17 | -28,0 | 17,43 | -56,7 | 17,8 | -49,3 | 18,8 | -49,9 |

Coimbra: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Para Coimbra, as necessidades nominais de arrefecimento estiveram abaixo do indicado pelo RCCTE (18kWh/m².ano) para os modelos com envolvente do tipo LGSF (**Figuras 5.48 e 5.49**). Já para o sistema convencional, somente com a adição de dispositivos de proteção solar, o consumo energético esteve abaixo do calculado de acordo com o RCCTE. Como esperado, o uso de dispositivos de proteção solar em determinadas épocas do ano auxiliam na diminuição do consumo energético.

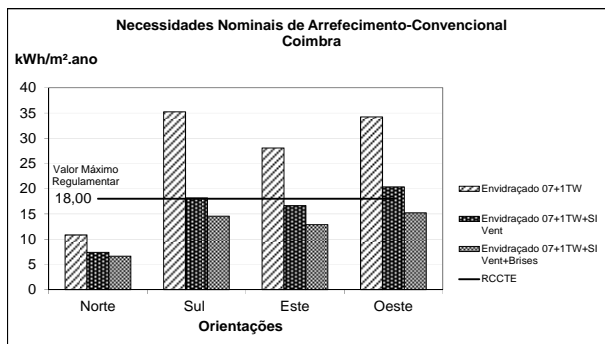


Figura 5.48 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Coimbra.

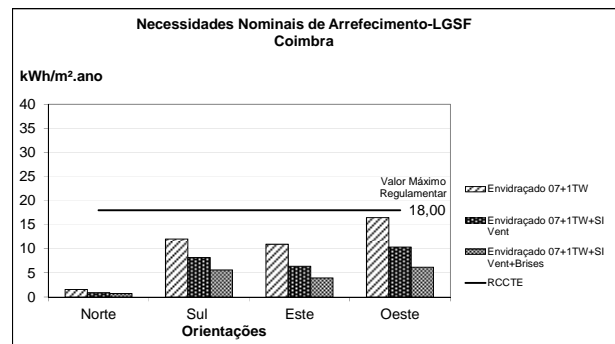


Figura 5.49 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Coimbra.

Observou-se que com a adição de dispositivos de proteção solar ocasionou uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 64.1% para a envolvente do sistema LGSF e 58.7% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação e sem proteção solar) (**Tabela 5.8**).

Tabela 5.8 Coimbra: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| LGSF | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 1,56 | - | 12,02 | - | 10,95 | - | 16,47 | - |
| 07+1TW+SI | 0,89 | -42,9 | 8,18 | -31,9 | 6,36 | -41,9 | 10,35 | -37,1 |
| 07+1TW+SI+Brises | 0,70 | -55,4 | 5,62 | -53,2 | 3,93 | -64,1 | 6,18 | -62,5 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| Convencional | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 10,83 | - | 35,24 | - | 28,09 | - | 34,24 | - |
| 07+1TW+SI | 7,38 | -31,9 | 18,17 | -48,4 | 16,64 | -40,8 | 20,35 | -40,6 |
| 07+1TW+SI+Brises | 6,64 | -38,7 | 14,57 | -58,7 | 12,88 | -54,1 | 15,20 | -55,6 |



Faro: Necessidades Nominais de Arrefecimento

Os modelos com ambas as envolventes com incorporação de dispositivos horizontais de proteção solar conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (32kWh/m².ano) (**Figuras 5.50 e 5.51**). Como esperado, o uso de dispositivos de proteção solar auxiliaram na diminuição do consumo energético para arrefecimento.

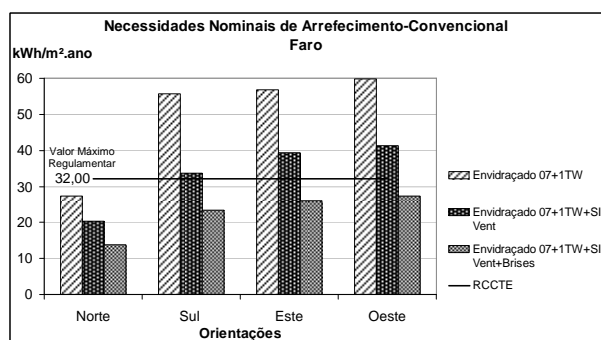


Figura 5.50 Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Faro.

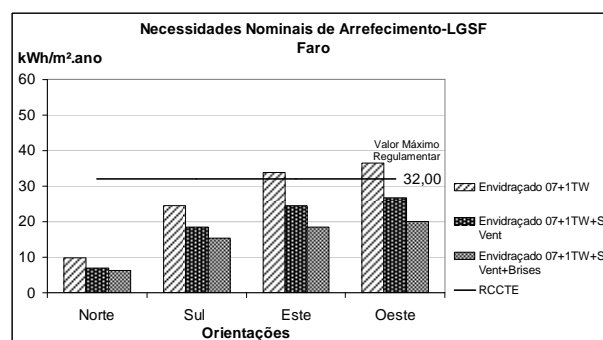


Figura 5.51 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Faro.

Novamente observa-se que com a adição de dispositivos de proteção solar ocasionou uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 45.3% para a envolvente do sistema LGSF e 57.8% para a envolvente convencional (em relação à fachada sem ventilação e sem proteção solar) (**Tabela 5.9**).

Tabela 5.9 Faro: Necessidades Nominais de Arrefecimento, Sistema Convencional e LGSF.

| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| LGSF | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 9,69 | - | 24,46 | - | 33,72 | - | 36,43 | - |
| 07+1TW+SI | 6,87 | -29,1 | 18,54 | -24,2 | 24,52 | -27,3 | 26,70 | -26,7 |
| 07+1TW+SI+Brises | 6,18 | -36,2 | 15,25 | -37,7 | 18,45 | -45,3 | 20,03 | -45,0 |
| Soluções Passivas | Orientação Solar | | | | | | | |
| | Norte | | Sul | | Este | | Oeste | |
| Convencional | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ | kWh/m ² .ano | % ↓ |
| 07+1TW | 27,35 | - | 55,56 | - | 56,67 | - | 59,77 | - |
| 07+1TW+SI | 20,33 | -25,7 | 33,61 | -39,5 | 39,30 | -30,6 | 41,16 | -31,1 |
| 07+1TW+SI+Brises | 13,73 | -49,8 | 23,43 | -57,8 | 26,02 | -54,1 | 27,26 | -54,4 |



5.3.2.3 Análise Geral: Soluções Passivas de Arrefecimento

Nas soluções passivas de arrefecimento, módulos de ventilação, foram adicionados à fachada passiva composta pelos vidros bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e uma parede de Trombe, porque dentre todas as soluções passivas analisadas anteriormente, esta solução conduziu a um consumo energético superior. Observou-se que em boa parte dos casos analisados o uso de módulos de ventilação proporcionou uma diminuição no consumo energético para arrefecimento.

Observou-se que com a adição de ventilação na solução de fachada com envidraçado 07 e parede de Trombe, se verificou uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 42.9% para a envolvente do sistema LGSF e 48.4% para a envolvente do sistema convencional, quando comparados os resultados para todos os climas analisados.

A melhor solução de ventilação em termos de diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento foi a que agrega módulos de ventilação na parte inferior e superior da fachada. Porém, observou-se que a diminuição das necessidades de arrefecimento foi bem próxima para a utilização de módulos de ventilação posicionados somente na parte inferior da fachada (como peitoril ventilado). A diferença entre as duas melhores soluções ficou entre 3 e 4%.

Para Coimbra e Faro, somente o uso de módulos de ventilação não foi suficiente para auxiliar na diminuição do consumo energético para arrefecimento; sendo que o uso de dispositivos de proteção solar em determinadas épocas do ano seja necessário.

Os dispositivos de proteção solar horizontais foram adicionados à fachada passiva composta pelos vidros bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e uma parede de Trombe, novamente porque dentre todas as soluções passivas analisadas anteriormente, esta solução conduziu a um consumo energético superior.

Ao agrupar à fachada os módulos de ventilação na parte inferior e superior (melhor solução de ventilação) dispositivos de proteção solar horizontais, observou-se também uma considerável redução no consumo energético para arrefecimento nos três climas analisados. Essa diminuição foi no máximo 64.1% para a envolvente do sistema LGSF e 58.7% para a envolvente do sistema convencional (em relação à fachada sem ventilação e sem proteção solar), quando comparados os resultados para todos os climas.

Os resultados conduziram a que o uso de módulos de ventilação combinados com dispositivos de proteção solar pode ser uma ótima solução para diminuir as necessidades nominais de arrefecimento.



Na secção referente a pormenorização dos módulos do sistema de fachadas proposto, serão apresentadas as máscaras de sombra para os dispositivos de proteção solar estudados, de forma a verificar as zonas de eficiência total, parcial e nula de tais dispositivos.

Portugal apresenta clima temperado, caracterizado por invernos moderadamente frios, verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. Essas características levam à necessidade de em alguns casos prever a utilização de soluções de ventilação. Com base nos resultados obtidos para os três climas analisados, foram propostas também as soluções mais adequadas para os demais climas, visto que nas simulações anteriores observou-se que as soluções com melhor eficiência repetiam-se, sendo principalmente observada uma relação com a duração do período de inverno.

A seguir são apresentadas na **Tabela 5.10** as soluções indicadas de acordo com a duração da estação de aquecimento para cada clima. No caso das soluções para arrefecimento, para os climas nos quais a duração do inverno for acima de 6,0 meses quaisquer das soluções de ventilação ocasionarão diminuição do consumo energético para arrefecimento.

**Tabela 5.10** Duração das Estações de Acordo com o Clima e Soluções Passivas de Arrefecimento.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Solução Passiva de Arrefecimento |
|-------------------|-----------------------------------|---|
| Bragança | 8,0 | Todas as soluções de ventilação analisadas e a adição de dispositivos de proteção solar foram suficientes para diminuir o consumo energético para arrefecimento em Bragança. Portanto, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar. Não se recomenda para Bragança as melhores soluções para ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |
| Coimbra | 6,0 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Évora | 5,7 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Faro | 4,3 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Funchal - Madeira | 3,9 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Guimarães | 7,0 | Como no caso de Bragança, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar durante o verão. Não se recomenda para Guimarães as melhores soluções de ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |
| Lajes - Açores | 4,0 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Lisboa | 5,3 | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Porto | 6,7 | Como no caso de Bragança, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar durante o verão. Não se recomenda para Porto as melhores soluções de ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |



5.4 Simulações Computacionais de Desempenho Lumínico

Para cada uma das nove localidades estudadas neste trabalho de investigação serão apresentados os resultados das simulações computacionais de desempenho lumínico que incluem: os valores do fator luz do dia, determinado com auxílio do software *Desktop Radiance* 1.0⁶³ e o nível de iluminância determinado com auxílio do software *Ecotect* 5.6. Tais resultados de FLD⁶⁴ e nível de iluminância⁶⁵ são verificados com base nos valores apresentados anteriormente, para os quais se procurou estabelecer intervalos de adequação de acordo com os ambientes analisados.

Os resultados são apresentados por meio de tabelas e imagens obtidas pelas simulações no *Ecotect* com valores de fator luz do dia e nível de iluminância para cada cidade e tipo de fachada. Além disso, para o nível de iluminância são apresentadas imagens realísticas *falsecolor* das condições de iluminação natural interior para os solstícios de inverno e de verão.

5.4.1 Bragança

Para cada uma das quatro soluções envidraçadas são apresentadas nas **Figuras 5.52 a 5.55** os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) e os níveis de iluminância. Os valores de fator luz do dia foram importados do software *Desktop Radiance* para o software *Ecotect*. A **Tabela 5.11** apresenta uma síntese dos níveis de iluminância e fator luz do dia no plano de referência do compartimento analisado. O melhor nível médio de iluminância obtido para o plano de referência de 0.8m foi com utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada. Foi observado desempenho inferior para o uso do envidraçado 04 com WWR de 19,0%. Em todos os casos os valores recomendados para o fator luz do dia (FLD) são ultrapassados.

⁶³ O cálculo do fator luz do dia foi executado por meio do software *Desktop Radiance* 1.0 para as quatro variações de envidraçados apresentadas anteriormente.

⁶⁴ A GREEN VITRUVIUS, 1999; GOULDING et al., 1994; CIBSE, 1999

⁶⁵ GOULDING et al. 1994; ABNT, 1992; CIBSIE, 2002.

**Tabela 5.11** Bragaça: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 <small>31,6%</small> | 3,26 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 <small>19,0%</small> | 2,37 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 <small>31,6%</small> | 6,11 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 <small>19,0%</small> | 4,14 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 <small>31,6%</small> | 136,54 | OK | OK | - |
| Envidraçado 04 <small>19,0%</small> | 86,96 | - | - | - |
| Envidraçado 07 <small>31,6%</small> | 151,21 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 <small>19,0%</small> | 95,87 | - | - | - |

Com base nos níveis médios de iluminância obtidos para céu encoberto foi verificado em alguns casos que tais valores não são atendidos, principalmente para WWR de 19% em ambos os envidraçados. Para o compartimento cozinha, somente o resultado para o envidraçado 07 com WWR de 31,6% esteve dentro do intervalo recomendado.

No entanto, para a necessidade de níveis de iluminação mais elevados, os mesmos podem ser obtidos próximo do elemento envidraçado. Salienta-se que tais valores foram obtidos pelo software *Ecotect* em condições de céu encoberto CIE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis.

Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado no compartimento em estudo garantem os valores recomendados para todas as zonas verificadas. Salienta-se que os valores do FLD indicadas são válidos para qualquer momento e para todas as orientações solares, visto que é considerado céu encoberto, porém são dependentes do tamanho e posição das janelas.

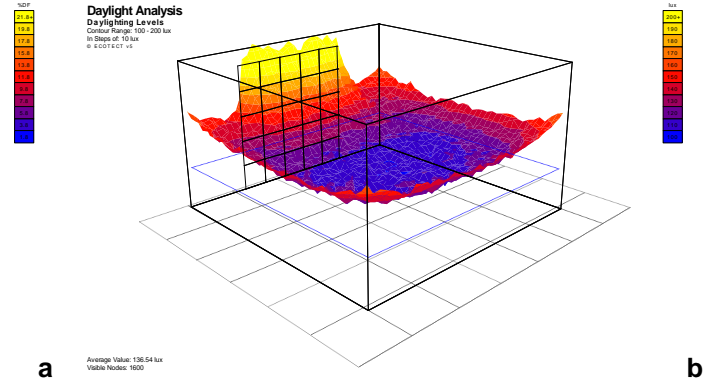
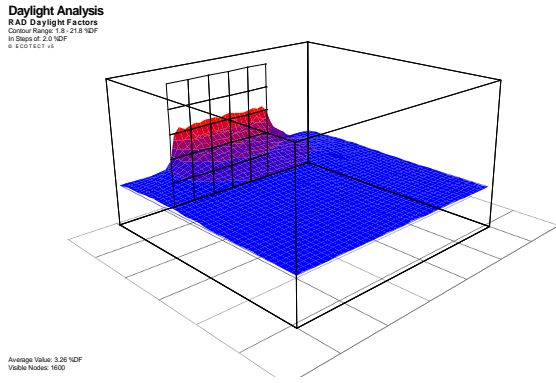


Figura 5.52 Bragança: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

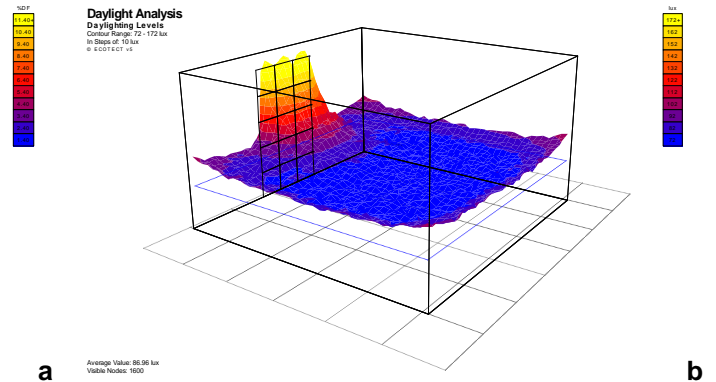
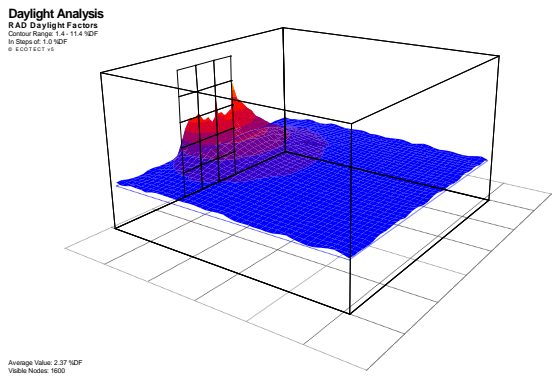


Figura 5.53 Bragança: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

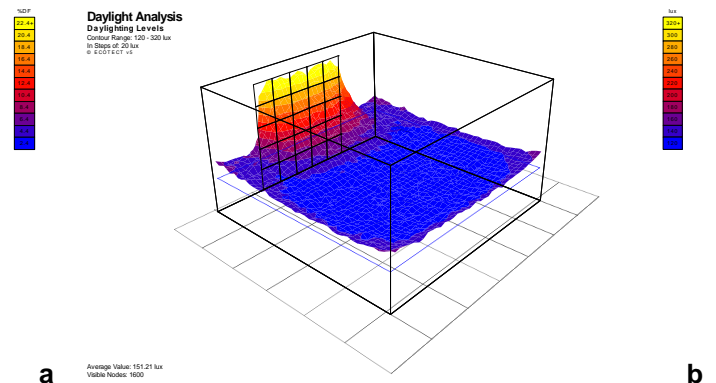
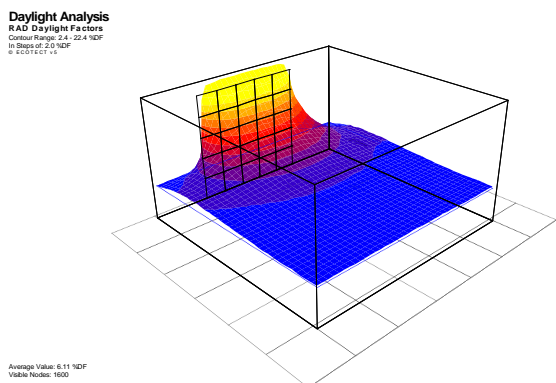


Figura 5.54 Bragança: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

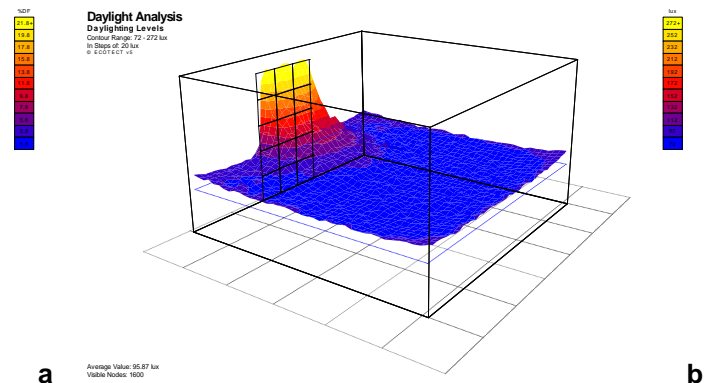
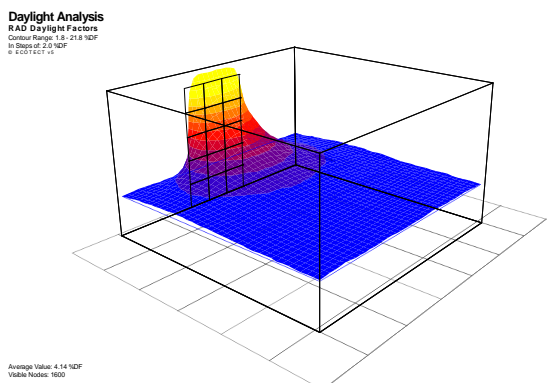


Figura 5.55 Bragança: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



O nível de iluminância num ponto varia com a sua distância em relação às janelas como se observa nas figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance*. Nos solstícios de inverno e verão analisados os níveis de iluminação natural apresentam-se satisfatórios (Figuras 5.56 a 5.59).

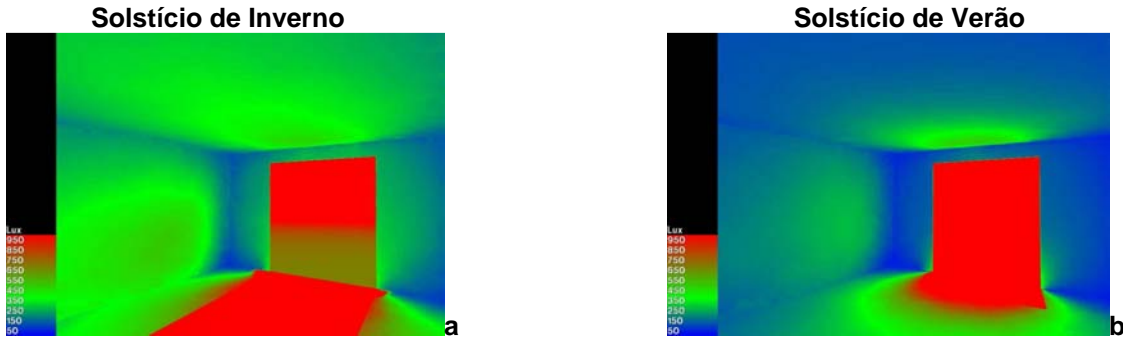


Figura 5.56 Bragança: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

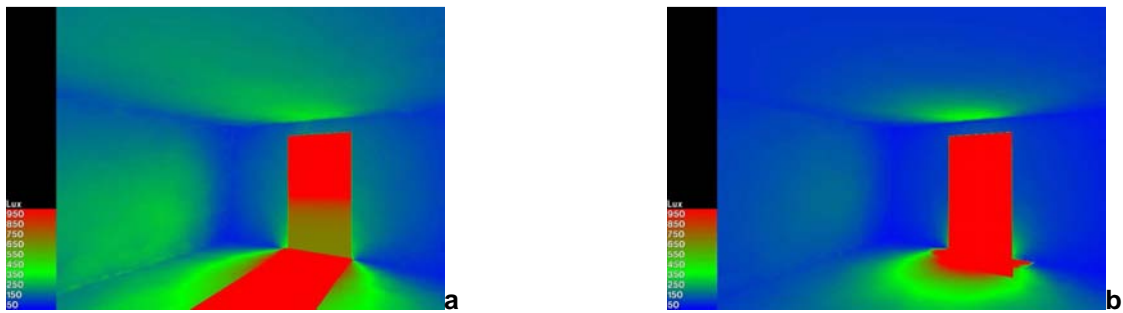


Figura 5.57 Bragança: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

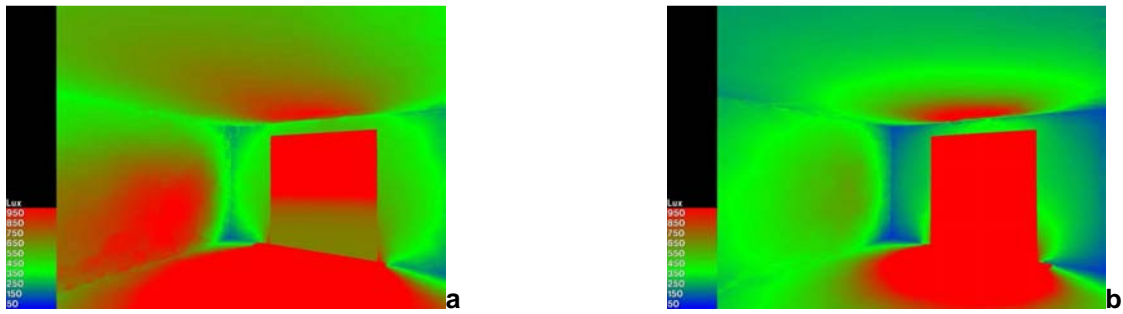


Figura 5.58 Bragança: Fachada 07 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

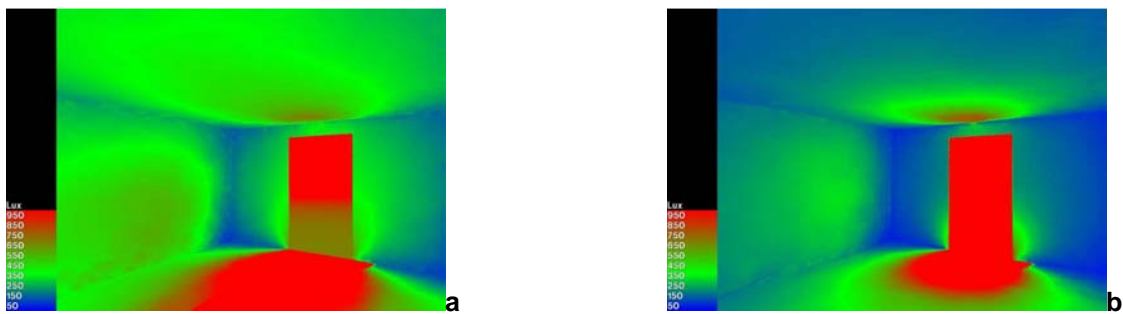


Figura 5.59 Bragança: Fachada 07 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)



5.4.2 Coimbra

Nas **Figuras 5.60 a 5.63** são apresentados os resultados para o fator luz do dia (FLD) e os níveis de iluminância para cada uma das quatro soluções envidraçadas. A **Tabela 5.12** apresenta uma síntese do fator luz do dia e dos níveis de iluminância no plano de referência do compartimento analisado. O melhor nível médio de iluminância obtido para o plano de referência de 0.8m foi com utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada. Foi observado desempenho inferior para o uso do envidraçado 04 com WWR de 19,0%. Em todos os casos os valores de FLD recomendados são ultrapassados.

Tabela 5.12 Coimbra: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 <small>31,6%</small> | 3,49 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 <small>19,0%</small> | 2,61 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 <small>31,6%</small> | 5,81 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 <small>19,0%</small> | 4,15 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 <small>31,6%</small> | 148,16 | OK | OK | - |
| Envidraçado 04 <small>19,0%</small> | 94,24 | - | - | - |
| Envidraçado 07 <small>31,6%</small> | 163,81 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 <small>19,0%</small> | 103,87 | OK | OK | - |

Com base nos níveis médios de iluminância obtidos para céu encoberto observou-se que para WWR de 19% em ambos os envidraçados os valores não foram atendidos para o compartimento cozinha. O uso do envidraçado 04 com WWR de 19% não atendeu a nenhum dos valores recomendados. Salienta-se que tais valores foram obtidos pelo software Ecotect em condições de céu encoberto CIE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis.

O fator luz do dia obtido para os envidraçados estudados garante os valores recomendados para todas as zonas verificadas, inclusive ultrapassando-os. Salienta-se que os valores do FLD indicados são válidos para qualquer momento e para todas as orientações solares, visto que é considerado céu encoberto.

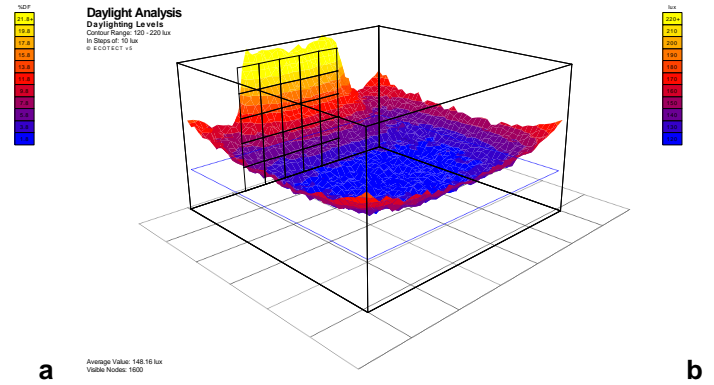
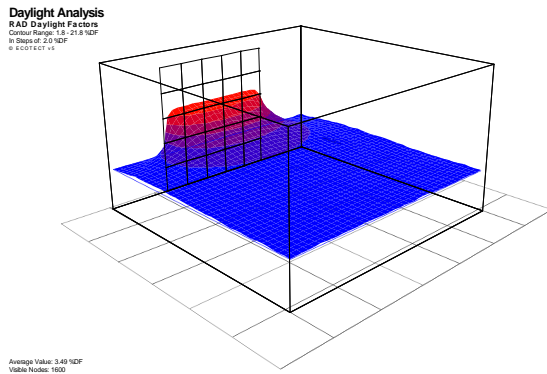


Figura 5.60 Coimbra: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

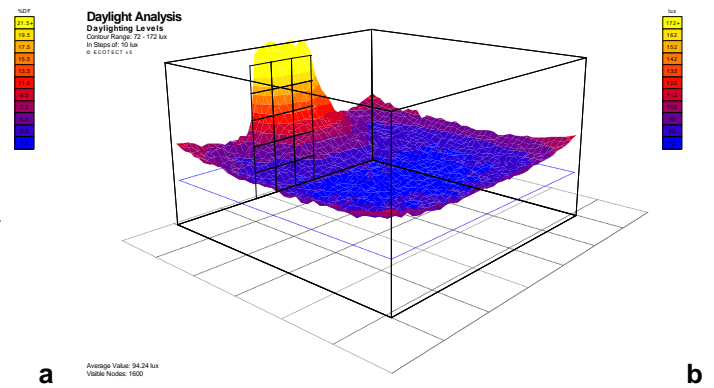
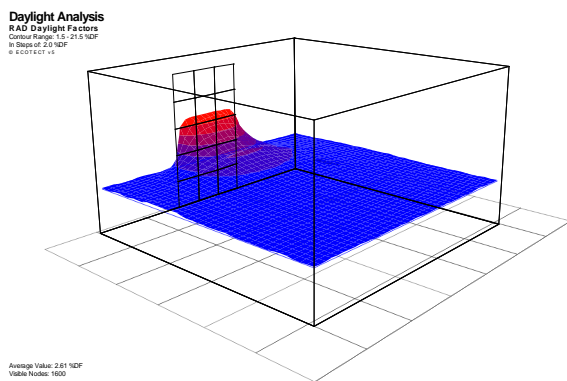


Figura 5.61 Coimbra: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

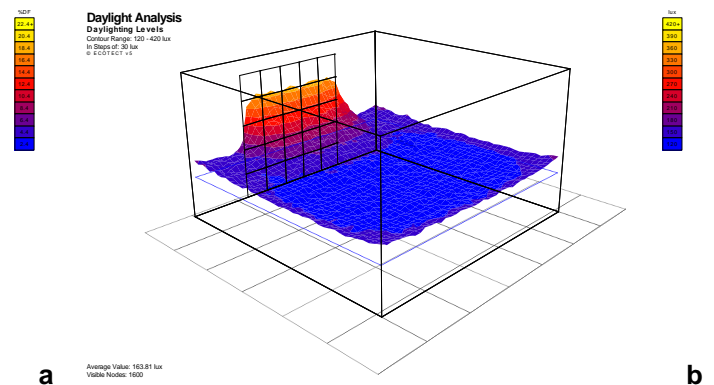
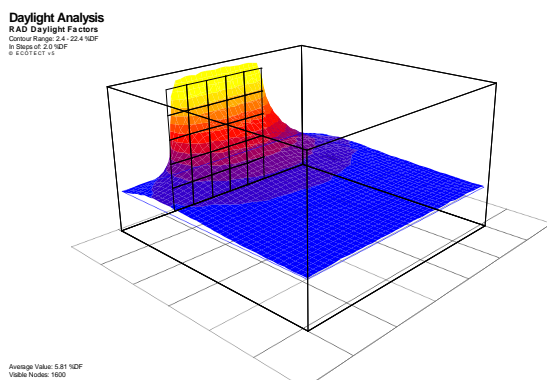


Figura 5.62 Coimbra: Fachada 07 5x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

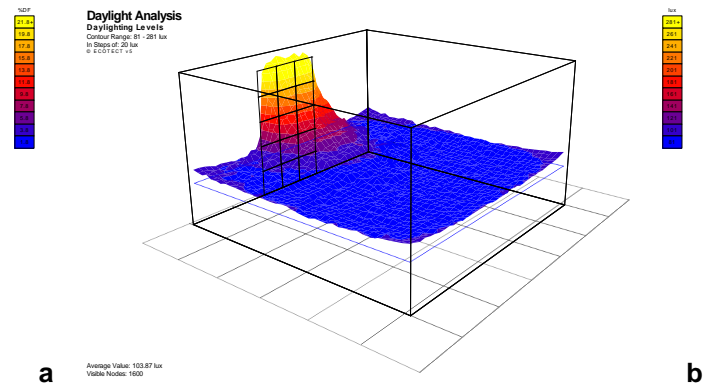
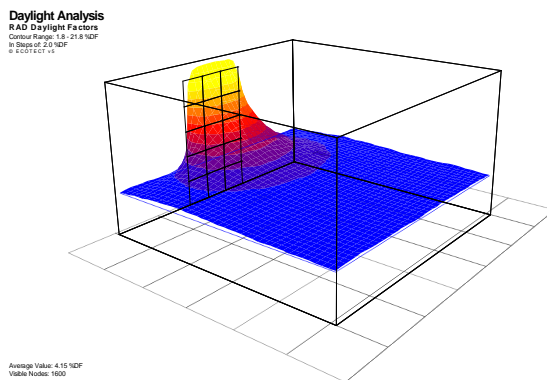


Figura 5.63 Coimbra: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



Como se observa nas figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance*, o nível de iluminância num ponto varia com a sua distância em relação às janelas. Para os solstícios de inverno e verão analisados os níveis de iluminação natural apresentam-se satisfatórios (**Figuras 5.64 a 5.67**).

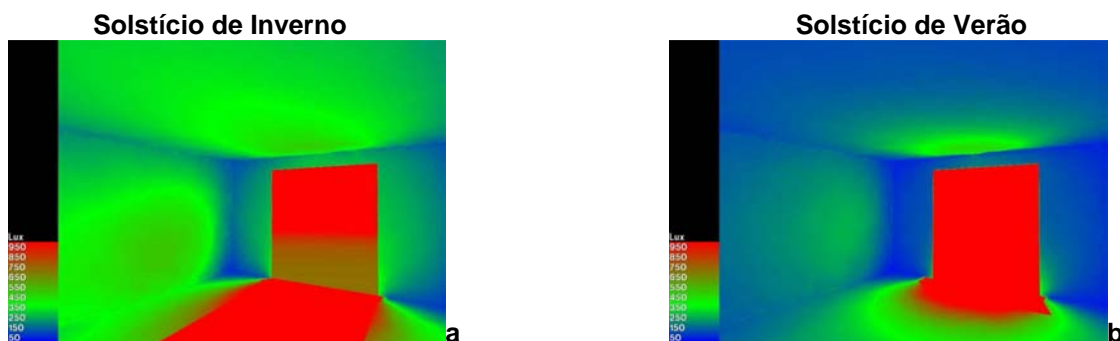


Figura 5.64 Coimbra: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

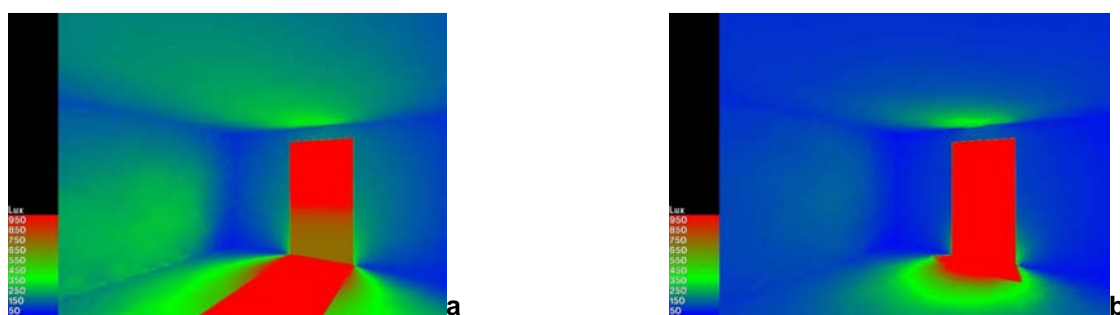


Figura 5.65 Coimbra: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

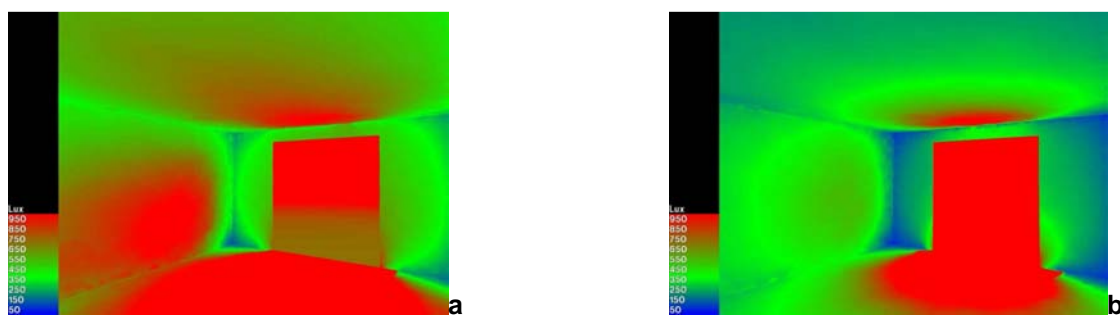


Figura 5.66 Coimbra: Fachada 07 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

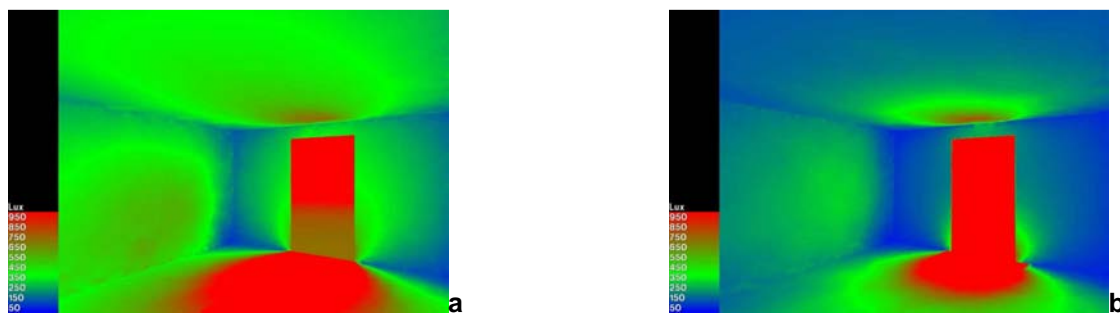


Figura 5.67 Coimbra: Fachada 07 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)



5.4.3 Faro

A **Tabela 5.13** apresenta para a cidade de Faro uma síntese dos valores do fator luz do dia e dos níveis de iluminância obtidos para o plano de referência do compartimento analisado. O melhor nível médio de iluminância obtido foi novamente com a utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada. Já para o uso do envidraçado 04 com WWR de 19,0% foi observado o menor desempenho.

Tabela 5.13 Faro: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,30 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,56 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,86 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,15 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 170,96 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 108,73 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 189,44 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 119,85 | OK | OK | - |

Em termos de nível de iluminância os valores não são atendidos para o compartimento cozinha para os envidraçados com WWR de 19%. Porém, níveis de iluminância mais elevados podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Salienta-se que tais valores foram obtidos pelo software *Ecotect* em condições de céu encoberto CIE e pelo método BRE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis. Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado garantem os valores recomendados para todas as zonas verificadas (**Figuras 5.67 a 5.71**).

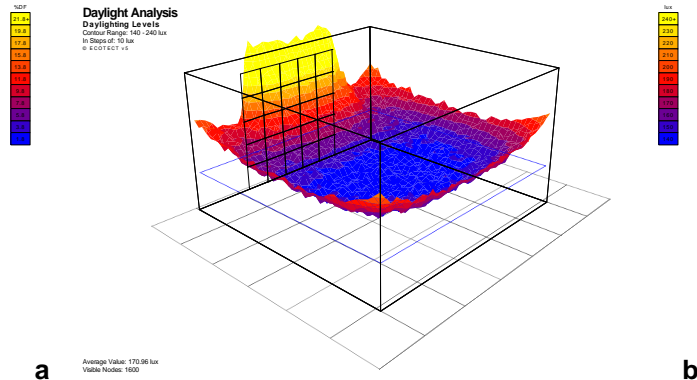
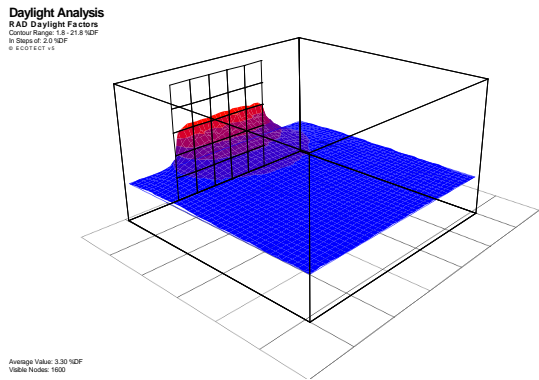


Figura 5.68 Faro: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

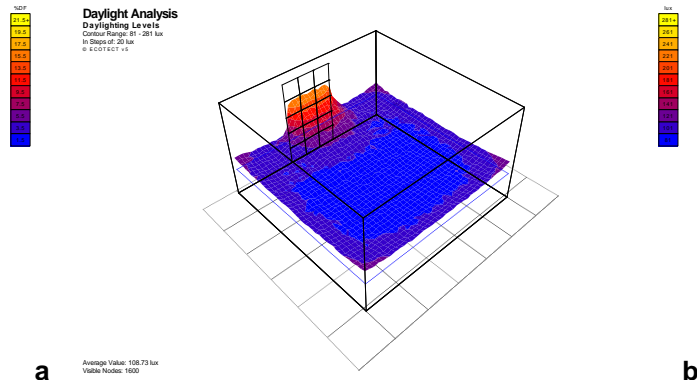
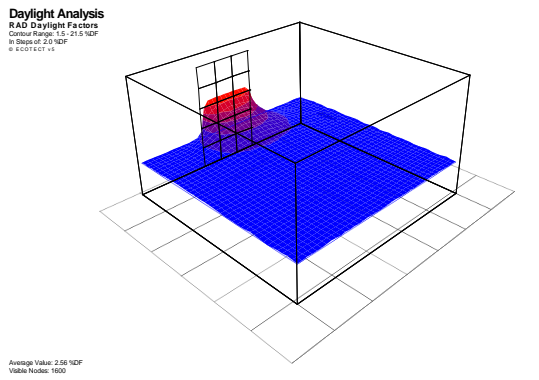


Figura 5.69 Faro: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

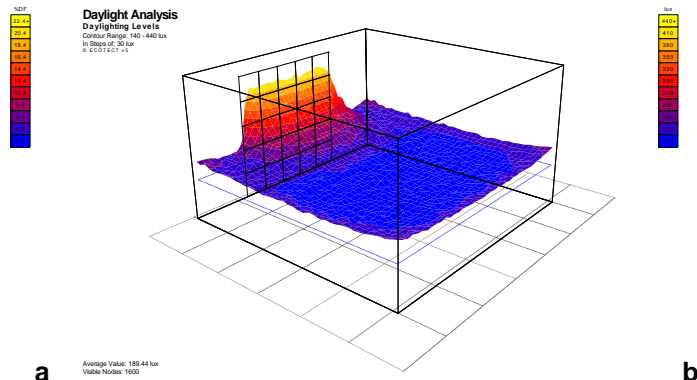
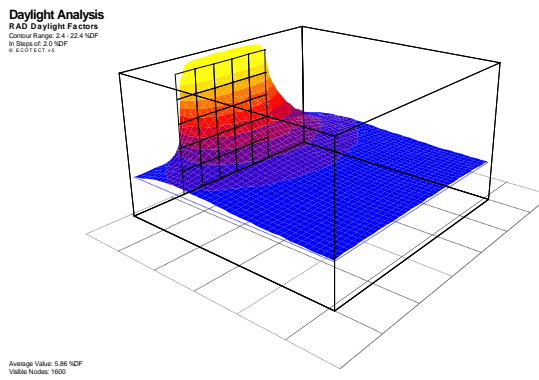


Figura 5.70 Faro: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

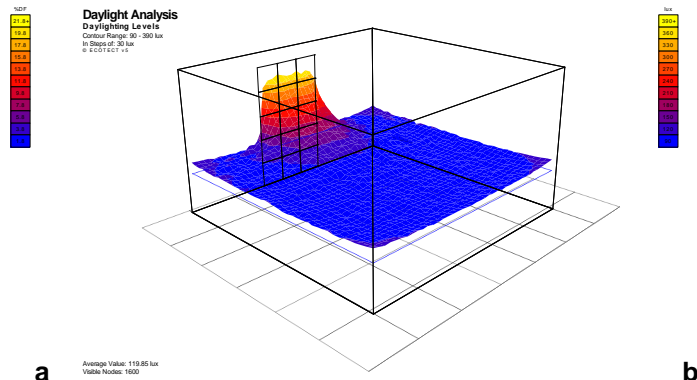
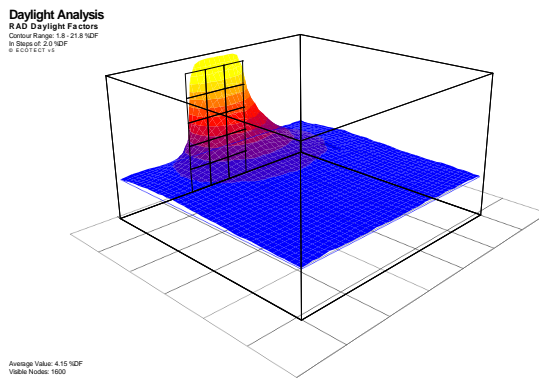


Figura 5.71 Faro: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

São apresentadas abaixo as figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance* do nível de iluminância para os solstícios de inverno e verão analisados. Em tais figuras, observa-se que os níveis de iluminância são satisfatórios. Um maior nível de iluminância foi observado para as fachadas com maior área envidraçada (Figuras 5.72 a 5.75).

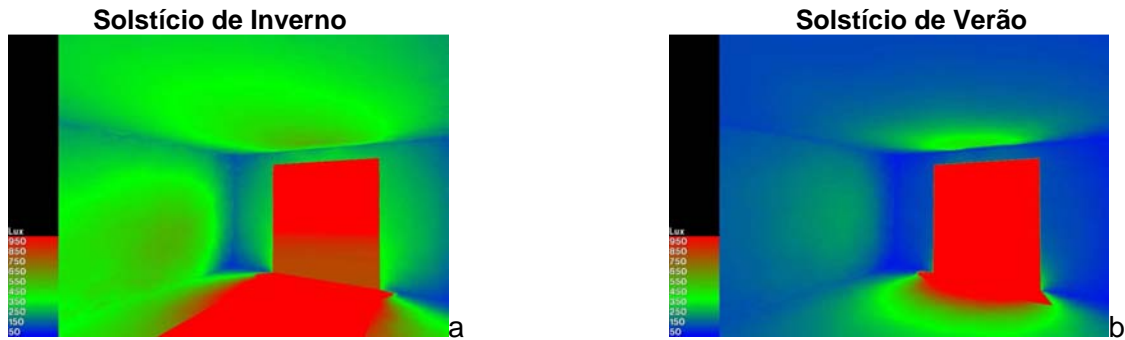


Figura 5.72 Faro: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

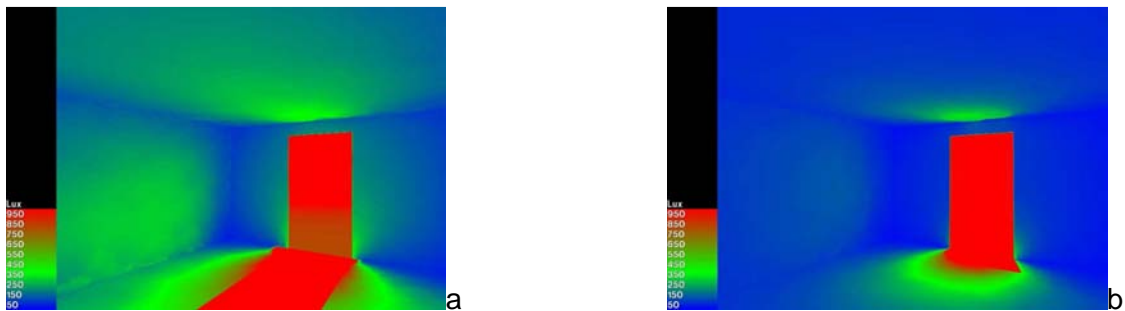


Figura 5.73 Faro: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

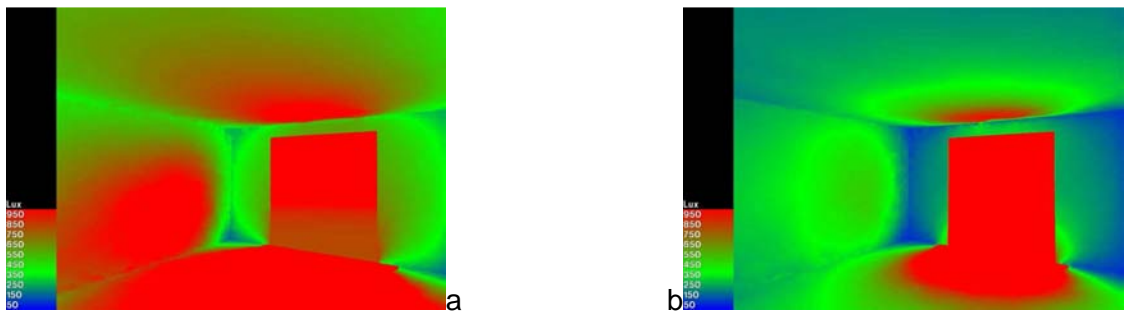


Figura 5.74 Faro: Fachada 07 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

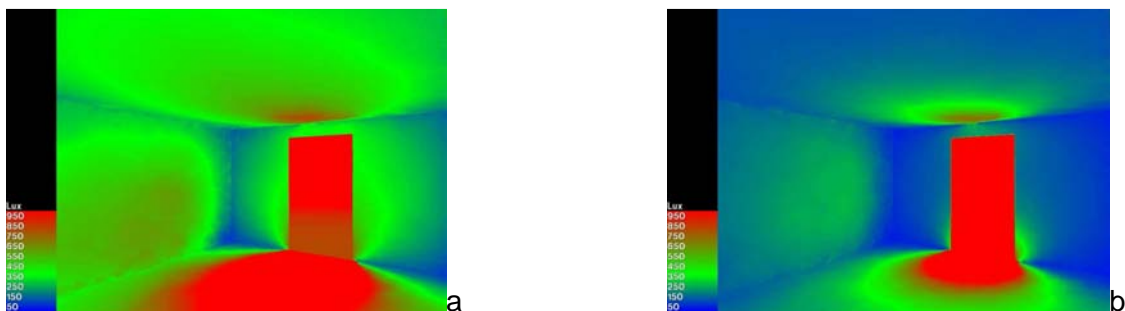


Figura 5.75 Faro: Fachada 07 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)



5.4.4 Análise Geral de Desempenho Lumínico

A Tabela 5.14 apresenta todos os resultados agrupados para as cidades analisadas. Encontra-se em destaque os valores máximos e mínimos obtidos para fator luz do dia e nível de iluminância. Observou-se que o valor mínimo para o FLD foi obtido para a cidade de Bragança com o uso do envidraçado 04 e WWR de 19% e o máximo para o envidraçado 07 e WWR de 31,6%, também para a mesma cidade. Já para o nível de iluminância, o mínimo valor observado foi igualmente para a cidade de Bragança com o uso do envidraçado 04 e WWR de 19%; e o máximo valor foi obtido para Funchal - Madeira para o envidraçado 07 e WWR de 31,6%.

Tabela 5.14 Dados Gerais de Desempenho Lumínico por Cidade.

| Climas | Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
|-----------------|--------------------------|-------------|---------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--|----------------------------|----------------------|
| | | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100-300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Bragança | Env. 04 _{31,6%} | 3,26 | OK | OK | OK | 136,54 | OK | OK | - |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,37 | OK | OK | OK | 86,96 | - | - | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 6,11 | OK | OK | OK | 151,21 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,14 | OK | OK | OK | 95,87 | - | - | - |
| Coimbra | Env. 04 _{31,6%} | 3,49 | OK | OK | OK | 148,16 | OK | OK | - |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,61 | OK | OK | OK | 94,24 | - | - | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,81 | OK | OK | OK | 163,81 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,15 | OK | OK | OK | 103,87 | OK | OK | - |
| Évora | Env. 04 _{31,6%} | 3,34 | OK | OK | OK | 159,56 | OK | OK | OK |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,54 | OK | OK | OK | 101,49 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,86 | OK | OK | OK | 176,41 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,05 | OK | OK | OK | 111,85 | OK | OK | - |
| Faro | Env. 04 _{31,6%} | 3,30 | OK | OK | OK | 170,96 | OK | OK | OK |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,56 | OK | OK | OK | 108,73 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,86 | OK | OK | OK | 189,44 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,15 | OK | OK | OK | 119,85 | OK | OK | - |
| Funchal Madeira | Env. 04 _{31,6%} | 3,25 | OK | OK | OK | 193,75 | OK | OK | OK |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,54 | OK | OK | OK | 123,23 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,86 | OK | OK | OK | 214,20 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,15 | OK | OK | OK | 135,83 | OK | OK | - |
| Guimarães | Env. 04 _{31,6%} | 3,26 | OK | OK | OK | 147,91 | OK | OK | - |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,53 | OK | OK | OK | 94,21 | - | - | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,86 | OK | OK | OK | 163,81 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{19,0%} | 3,63 | OK | OK | OK | 103,87 | OK | OK | - |
| Lajes Açores | Env. 04 _{31,6%} | 3,25 | OK | OK | OK | 159,56 | OK | OK | OK |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,61 | OK | OK | OK | 101,45 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,80 | OK | OK | OK | 176,41 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,15 | OK | OK | OK | 111,86 | OK | OK | - |
| Lisboa | Env. 04 _{31,6%} | 3,35 | OK | OK | OK | 159,29 | OK | OK | OK |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,58 | OK | OK | OK | 101,45 | OK | OK | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,86 | OK | OK | OK | 176,41 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,04 | OK | OK | OK | 111,86 | OK | OK | - |
| Porto | Env. 04 _{31,6%} | 3,62 | OK | OK | OK | 147,91 | OK | OK | - |
| | Env. 04 _{19,0%} | 2,68 | OK | OK | OK | 94,24 | - | - | - |
| | Env. 07 _{31,6%} | 5,81 | OK | OK | OK | 163,81 | OK | OK | OK |
| | Env. 07 _{19,0%} | 4,14 | OK | OK | OK | 103,86 | OK | OK | - |



Devido à curta distância geográfica entre as cidades consideradas nas simulações foram observados valores próximos tanto de fator luz do dia quanto de níveis de iluminância.

Por meio de uma visão geral, observa-se claramente o melhor desempenho lumínico para o envidraçado 07 (Exterior Bioclean 4mm – Interior Planilux 4mm.) e WWR de 31,6%. As fachadas com 31,6% de área envidraçada (WWR) conduziram ao melhor desempenho lumínico do que as fachadas com 19%. Porém, no caso deste sistema de fachadas composto por pequenos módulos envidraçados, podem ser feitas inúmeras propostas de acordo com as necessidades de iluminação natural, sendo necessário apenas realizar uma verificação prévia. Observa-se que para o inverno o nível de iluminância foi mais elevado, devido ao posicionamento do sol em relação à Terra nesta época do ano no hemisfério norte.

Apesar dos envidraçados com WWR de 19% terem apresentado desempenho lumínico inferior e em tal composição terem sido inseridas as soluções passivas estudadas nas simulações de desempenho térmico, essa área pode ser aumentada na busca por melhor desempenho lumínico de acordo com as dimensões das paredes disponíveis para a instalação dos módulos envidraçados.

Apresenta-se a seguir na **Tabela 5.15** o valor médio e o desvio padrão do fator luz do dia e do nível de iluminância considerando os resultados para todas as cidades analisadas. Os valores de desvio padrão indicam uma pequena dispersão do fator luz do dia em relação à média. Isso significa que os valores encontrados são bem próximos para as nove diferentes cidades analisadas. Já para os valores de nível de iluminância, as variações dos valores por cidade foram mais elevados.

Tabela 5.15 Dados Gerais de Desempenho Lumínico por Cidade-Valores Médios.

| Fator Luz do Dia (FLD) | | |
|----------------------------|---|------------------------|
| Fachadas | Média do Fator Luz do Dia (%) | Desvio Padrão σ |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,34 | 0,13 |
| Envidraçado 04 19,00% | 2,56 | 0,08 |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,87 | 0,09 |
| Envidraçado 07 19,00% | 4,07 | 0,17 |
| Nível de Iluminância (Lux) | | |
| Fachadas | Média do Fator Nível de Iluminância (Lux) | Desvio Padrão σ |
| Envidraçado 04 31,6% | 158,21 | 16,64 |
| Envidraçado 04 19,00% | 100,67 | 10,54 |
| Envidraçado 07 31,6% | 175,06 | 18,35 |
| Envidraçado 07 19,00% | 110,97 | 11,61 |



Tais resultados serão posteriormente comparados aos resultados dos ensaios de caracterização espectrofotométrica.

5.5 Simulação Computacional para Módulo Fotovoltaico

Para o estudo do tipo de módulo fotovoltaico não foi feita uma escolha inicial do tipo de célula fotovoltaica a ser utilizada. Esta análise nos resultados de eficiência de geração de energia elétrica dos programas *Solterm 5.0* e no *Sunny Design 2.0*, além de aspetos como: facilidade de adaptação ao módulo, custo, durabilidade e a estética. Com base nos resultados das simulações computacionais executadas foram estudados os tipos de painéis fotovoltaicos com melhor desempenho em termos de geração energética.

5.5.1 Solterm 5.0

Conforme detalhado na metodologia, seguem abaixo os resultados das simulações computacionais para o módulo fotovoltaico, nas quais foram determinadas as soluções com melhor desempenho em termos de microgeração energética.

Para um melhor entendimento dos gráficos que serão apresentados, salienta-se que após a designação do painel utilizado são adicionadas duas siglas sendo: “VE” o painel posicionado na vertical a um ângulo de 90° e “IN” o painel inclinado, com ângulos próximos a 30° diferenciados de acordo com a otimização por localidade obtida por meio do *Solterm 5.0* e apresentada anteriormente na metodologia. Novamente explica-se que foi considerada para as simulações uma área aproximada de $6,25\text{m}^2$ de fachada, correspondente a toda a área de fachada simulada anteriormente (térmica, iluminação natural).

Serão apresentados os resultados para Bragança, Coimbra e Faro, o restante dos resultados por serem próximos se encontram em anexo (**Anexo D**).

5.5.1.1 Bragança

A **Figura 5.76** apresenta os resultados para a cidade de Bragança, no qual se observa nitidamente as vantagens do posicionamento dos módulos inclinados. O incremento em termos de ganhos de energia foi de 57,24% para o BP 3160; 52,27% para o Kyocera KC167G-2 e 61% para o Siemens M75S com a inclinação. Isso comprova que o

posicionamento inclinado proporciona uma captação energética mais eficiente. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a uma geração energética 4,6 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado.

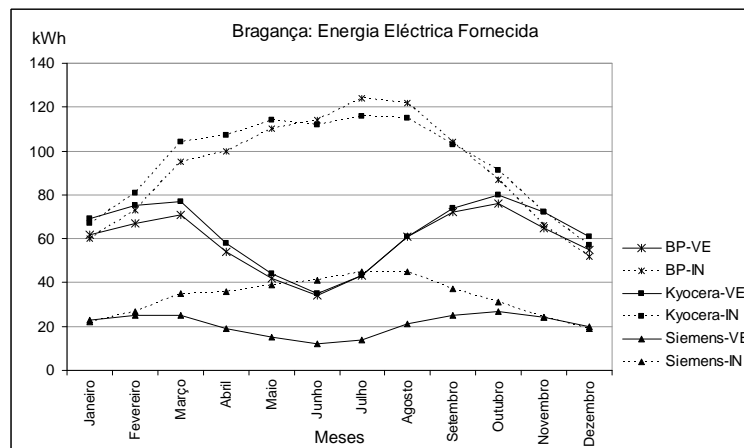


Figura 5.76 Bragança: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Porém, foi observada uma diferença de somente 3% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160. Pode ser observado que para o mês de junho os gráficos de ambos os painéis se cruzam (mesma produção de energia), fazendo uma trajetória próxima.

5.5.1.2 Coimbra

Para a cidade de Coimbra, novamente se observam vantagens no posicionamento dos módulos inclinados (**Figura 5.77**). O incremento em termos de ganhos de energia foi de 60,14% para o BP 3160; 56,07% para o Kyocera KC167G-2 e 63,52% para o Siemens M75S com a inclinação. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a uma geração energética 4,7 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado.

Neste caso, houve novamente uma diferença de cerca de 3% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160, esse fato pode ser observado por meio da **Figura 5.77**. Os gráficos de ambos se cruzam no mês de junho e fazem uma trajetória próxima. Com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia é a mesma.

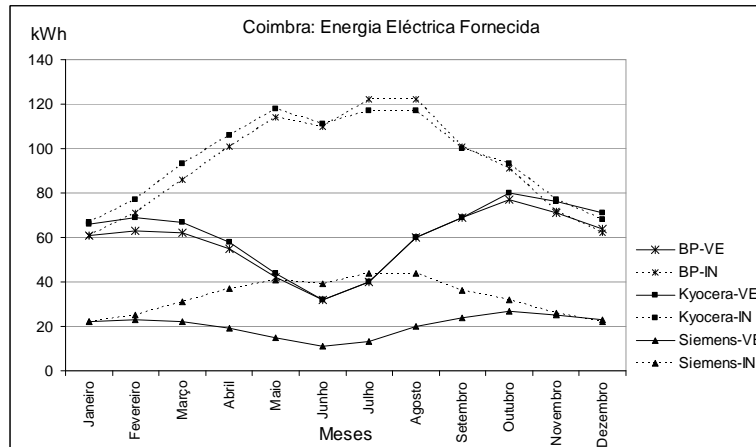


Figura 5.77 Coimbra: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

5.5.1.3 Faro

Para Faro o uso dos módulos inclinados gerou um incremento em termos de ganhos de energia de 68,93% para o BP 3160; 62,37% para o Kyocera KC167G-2 e 68,46% para o Siemens M75S. A menor eficiência foi observada novamente para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 4,7 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura 5.78**).

Praticamente não houve diferença significativa (0,25%) entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160 para os painéis com posição inclinada. Os gráficos de ambos dessa vez se cruzam no mês de maio como no caso de Évora. Novamente, com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia alcança valores semelhantes.

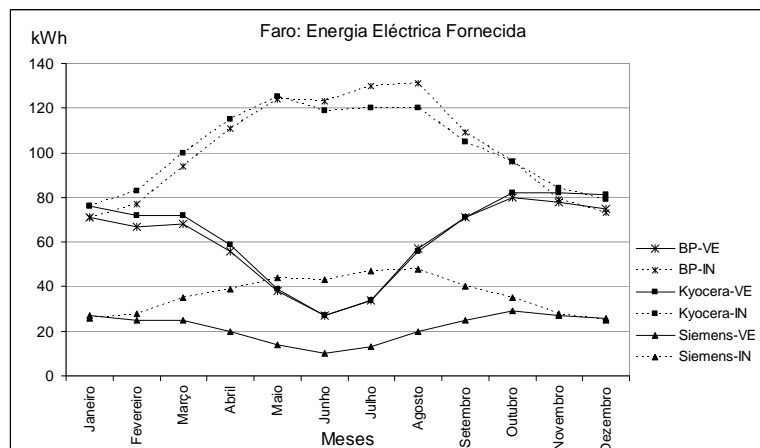


Figura 5.78 Faro: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

5.5.1.4 Análise Geral: Resultados do Software Solterm 5.0

A partir de uma análise geral, é possível observar o incremento em termos de ganhos de energia para as simulações que consideraram os painéis inclinados. Apesar do painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado ter apresentado o melhor desempenho dentre os demais, percebe-se que o desempenho do painel BP Solar BP 3160 está bem próximo. Por meio da **Figura 5.79**, que apresenta a energia anual fornecida pelos diferentes sistemas fotovoltaicos, observa-se claramente que a menor eficiência foi para o painel da Siemens M75S, principalmente para o posicionamento na vertical.

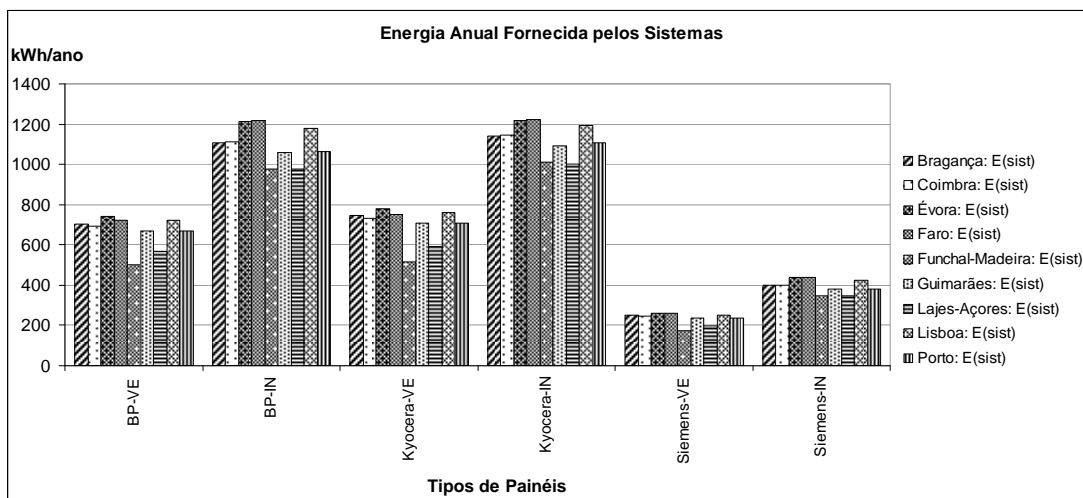


Figura 5.79 Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico por ano.

Em termos de eficiência na geração de energia salienta-se que o uso nos sistemas de fachada em questão o ideal seria um painel fotovoltaico com as mesmas características do painel Kyocera KC167G-2. A **Figura 5.80** apresenta a energia anual fornecida pelos diferentes sistemas fotovoltaicos por m^2 (considerando resultados de simulações para uma área aproximada de $25m^2$, por ser a mesma área total de fachada considerada nos estudos de desempenho térmico e lumínico apresentados anteriormente).

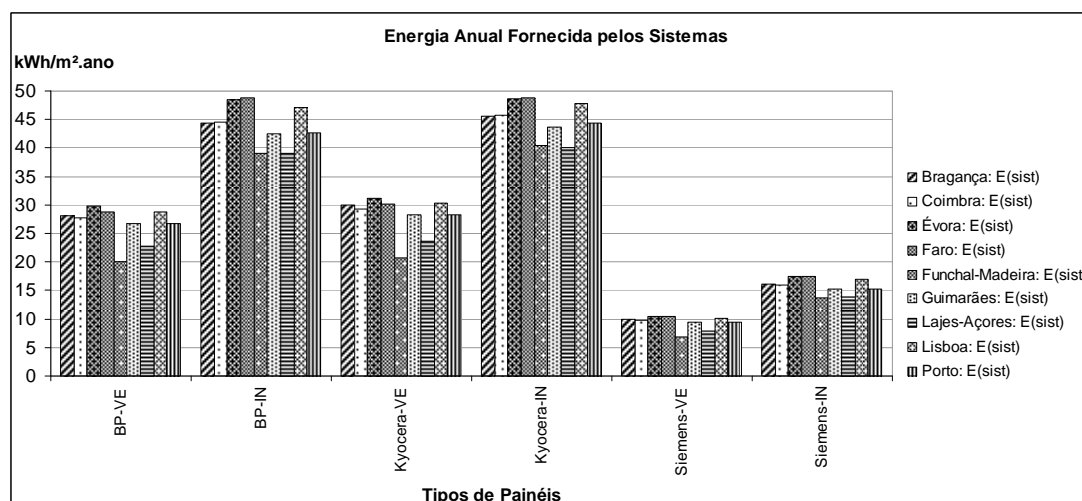


Figura 5.80 Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico por m².ano.

Neste caso, os estudos foram feitos para as nove localidades citadas anteriormente. Esses valores representam a energia anual fornecida pelo sistema fotovoltaico com área de aproximadamente 6,25m² para cada tipo de painel fotovoltaico analisado, no caso, os painéis Kyocera KC167G-2, o BP Solar 3160 e o Siemens M75S na vertical e inclinado a ângulos próximos de 30°.

Por meio dos resultados é possível observar claramente o melhor desempenho em termos de geração energética para os painéis Kyocera KC167G-2, o BP Solar 3160. Sendo o mais eficiente, o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2. Para o caso dos painéis inclinados, a diferença entre a energia anual fornecida entre esses dois tipos de painéis variou de 1 a 4% para as localidades analisadas.

O **Quadro 5.6** apresenta uma seriação em termos de geração energética, na qual se destacaram os painéis fotovoltaicos da Kyocera como 1º lugar e o painel da BP Solar como 2º, porém os valores de energia elétrica anual fornecida são semelhantes.

Quadro 5.6 Ordem de Eficiência dos Sistemas Fotovoltaicos - Solterm

Ordem de Eficiência dos Sistemas Fotovoltaicos

1º. Kyocera KC167G-2* – IN

2º. BP Solar 3160* - IN

3º. Kyocera KC167G-2* - VE

4º. BP Solar 3160* - VE

5º. Siemens M75S – IN

6º. Siemens M75S – VE

* Valores bem próximos.



5.5.1.5 Microgeração Energética x Necessidades Energéticas

A **Tabela 5.16** apresenta, para as cidades portuguesas estudadas neste trabalho de investigação, as necessidades energéticas para a fachada com envidraçado 07 e duas paredes de Trombe (2TW) orientadas a sul e um balanço entre as necessidades energéticas e os ganhos energéticos com incorporação de módulos fotovoltaicos. Os valores negativos indicam que para uma mesma área de fachada (6.25m²) a incorporação de um sistema fotovoltaico é mais que suficiente para gerar a energia necessária num ambiente de 25m² de área. Os dados da fachada com envidraçado 07 e duas paredes de Trombe foram obtidos das simulações de desempenho térmico feitas anteriormente no *DesignBuilder* e os dados das simulações dos fotovoltaicos são provenientes das simulações feitas no *Solterm*, com os painéis de melhor desempenho na geração energética.

Tabela 5.16 Necessidades Energéticas x Energia Fornecida pelos Sistemas Fotovoltaicos.

| Sistema Light Gauge Steel Framing | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------|--------|---|--------------------------------|------------|-------------------------------------|
| Cidades | Necessidades Energéticas para o Envidraçado 07+2TW (kWh/m ² .ano) | | | Energia Gerada – Sistema Fotovoltaico (kWh/m ² .ano) | | | |
| | Aquecimento | Arrefecimento | Total | Consumo | | Consumo | |
| | | | | BP-IN | Consumo - Energia Fornecida BP | Kyocera-IN | Consumo - Energia Fornecida Kyocera |
| Bragança | 71,24 | 15,10 | 86,34 | 44,28 | 42,06 | 45,56 | 40,78 |
| Coimbra | 19,40 | 11,23 | 30,63 | 44,52 | -13,89 | 45,76 | -15,13 |
| Évora | 25,42 | 21,54 | 46,96 | 48,52 | -1,56 | 48,68 | -1,72 |
| Faro | 4,59 | 23,56 | 28,15 | 48,72 | -20,57 | 48,84 | -20,69 |
| Funchal-Madeira | 5,45 | 3,63 | 9,08 | 39,00 | -29,92 | 40,36 | -31,28 |
| Guimarães | 34,42 | 12,79 | 47,21 | 42,40 | 4,81 | 43,72 | 3,49 |
| Lajes-Açores | 8,38 | 7,05 | 15,43 | 39,04 | -23,61 | 40,04 | -24,61 |
| Lisboa | 16,54 | 20,01 | 36,55 | 47,16 | -10,61 | 47,8 | -11,25 |
| Porto | 32,00 | 7,15 | 39,15 | 42,56 | -3,41 | 44,28 | -5,13 |
| Sistema Convencional Português | | | | | | | |
| Cidades | Necessidades Energéticas para o Envidraçado 07+2TW (kWh/m ² .ano) | | | Energia Gerada – Sistema Fotovoltaico (kWh/m ² .ano) | | | |
| | Aquecimento | Arrefecimento | Total | Consumo | | Consumo | |
| | | | | BP-IN | Consumo - Energia Fornecida BP | Kyocera-IN | Consumo - Energia Fornecida Kyocera |
| Bragança | 76,51 | 31,88 | 108,39 | 44,28 | 64,11 | 45,56 | 62,83 |
| Coimbra | 21,50 | 27,92 | 49,42 | 44,52 | 4,90 | 45,76 | 3,66 |
| Évora | 26,57 | 42,96 | 69,53 | 48,52 | 21,01 | 48,68 | 20,85 |
| Faro | 4,53 | 47,01 | 51,54 | 48,72 | 2,82 | 48,84 | 2,70 |
| Funchal-Madeira | 4,79 | 13,09 | 17,88 | 39,00 | -21,12 | 40,36 | -22,48 |
| Guimarães | 35,09 | 31,83 | 66,93 | 42,40 | 24,53 | 43,72 | 23,21 |
| Lajes-Açores | 12,18 | 14,91 | 27,08 | 39,04 | -11,96 | 40,04 | -12,96 |
| Lisboa | 16,00 | 38,00 | 54,01 | 47,16 | 6,85 | 47,8 | 6,21 |
| Porto | 34,33 | 18,09 | 52,42 | 42,56 | 9,86 | 44,28 | 8,14 |

As **Figuras 5.81** e **5.82** apresentam em forma de gráfico, os mesmos dados das tabelas anteriores. Pela comparação entre os valores de necessidades energéticas das fachadas com envidraçado 07 e duas paredes de Trombe (2TW) com a energia gerada



pelos sistemas fotovoltaicos é possível perceber a contribuição, para ambos os tipos de envolvente.

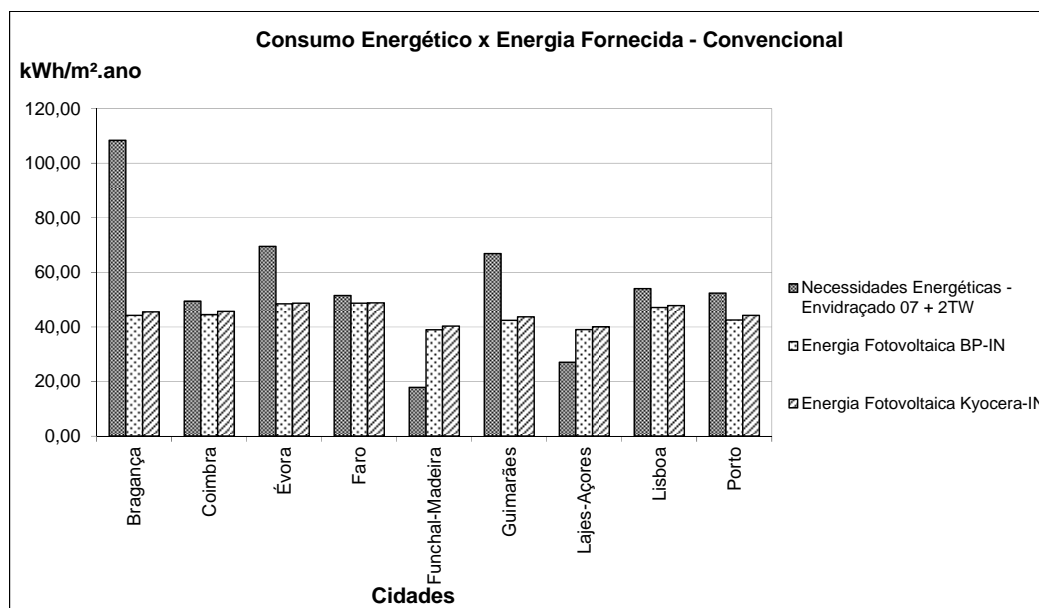


Figura 5.81 Necessidades Energéticas x Energia fornecida pelo sistema fotovoltaico - Envolvente convencional.

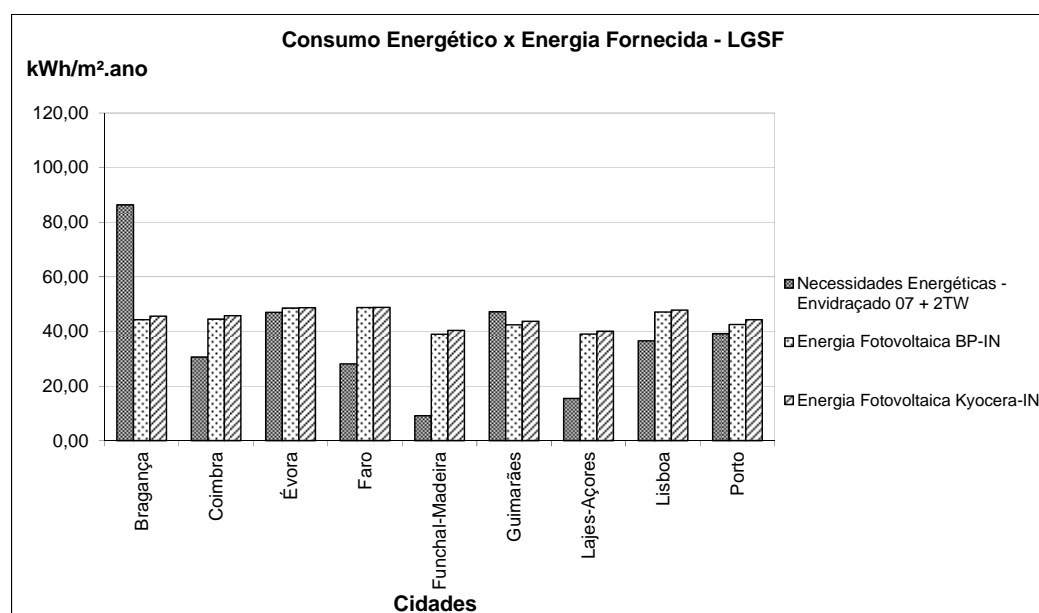


Figura 5.82 Necessidades Energéticas x Energia fornecida pelo sistema fotovoltaico - Envolvente LGSF.

5.5.1.6 Análise Ambiental dos Módulos Fotovoltaicos

O ideal seria que além da microgeração energética, outros fatores ambientais e económicos fossem considerados, como por exemplo o consumo de energia primária de origem fóssil, emissão de gases com efeito de estufa e o custo⁶⁶. Tendo em vista esse aspeto, no software *Solterm 5.0* existe a possibilidade de realizar uma análise relativa às emissões de gases com efeitos de estufa, bem como ao consumo de energia primária de origem fóssil, sendo que estes processos podem ser minimizados de acordo com o tipo de sistema fotovoltaico, para cada cidade analisada, consoante o tipo e orientação dos painéis fotovoltaicos.

Neste caso o *Solterm* fornece os impactos evitados com o uso do sistema fotovoltaico analisado em termos de consumo de energia primária de origem fóssil e a emissão de gases com efeito de estufa.

Observa-se pelos resultados, que o consumo de energia primária de origem fóssil evitado foi maior para o uso dos sistemas com uma inclinação otimizada. Tal economia é proporcional à energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos, ou seja, os painéis com maior eficiência conduziram a uma maior economia no consumo de energia primária de origem fóssil (**Figura 5.83**).

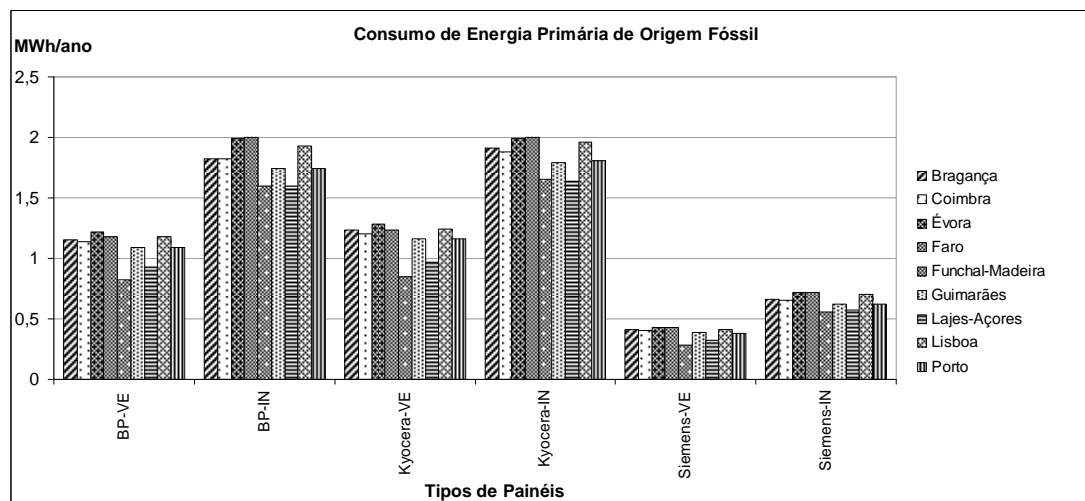


Figura 5.83 Consumo de energia primária de origem fóssil: Impactos evitados com o uso dos sistemas.

Para a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa o mesmo ocorreu (**Figura 5.84**), as emissões são evitadas em maior quantidade para o uso dos sistemas com uma inclinação otimizada.

⁶⁶ O aspeto custo fornecido pelo programa será analisado na secção "6.5 Análise Económica Simplificada".



Tanto para o consumo de energia primária de origem fóssil quanto para a emissão de gases com efeito de estufa os impactos evitados são maiores para o painel fotovoltaico BP Solar 3160 e o Kyocera KC167G-2, sendo que os dois conduziram a valores bem próximos. Salienta-se, portanto, com base nos dados apresentados que a implementação deste tipo de sistema é compensadora pela economia em termos de consumo de energia primária de origem fóssil e de emissão de gases com efeito de estufa.

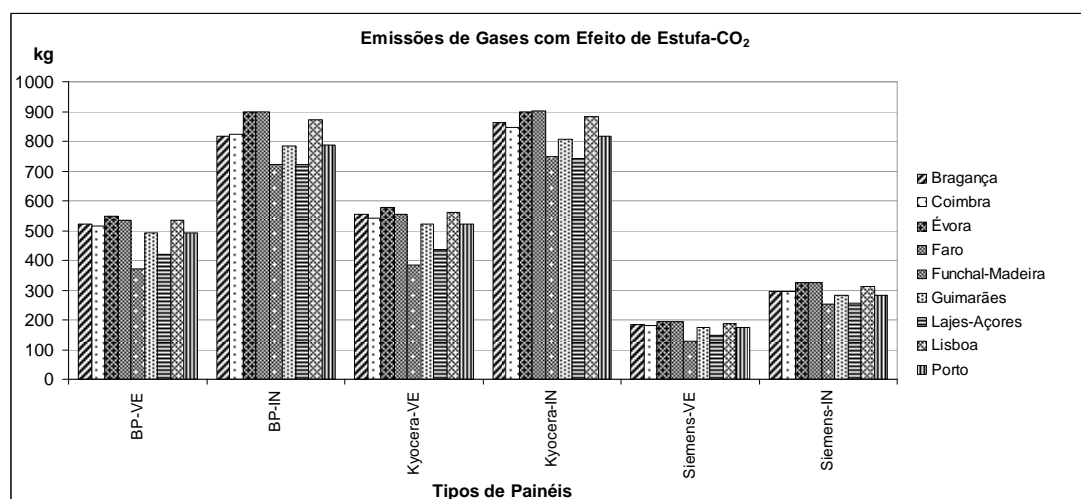


Figura 5.84 Emissão de gases com Efeito de Estufa – CO₂: Impactos evitados com o uso dos sistemas.

De acordo com o manual do *Solterm*, os principais gases com efeito de estufa pertinentes para esta análise são o CO₂, CH₄ e N₂O. A unidade 'kg CO₂ equivalente' corresponde a uma média pesada das quantidades emitidas de cada gás, pela atividade dos três gases em termos de aumento do efeito de estufa, sendo que CO₂ = 1, CH₄ = 21 e N₂O = 310 (INETI, 2007).

5.5.2 Sunny Design 2.0

Os dados do software *Sunny Design 2.0* não fornecem os valores mensais, somente os valores anuais de energia fornecida pelo sistema fotovoltaico simulado. Sendo assim, são apresentados dados anuais para cada tipo de painel fotovoltaico.

Além disso, neste software apenas se encontram disponíveis três localidades de Portugal para serem analisadas, sendo elas: Porto, Lisboa e Faro. Mesmo assim, optou-se por fazer este estudo para ter outros resultados como base de comparação além dos obtidos pelo *Solterm*. Portanto, neste caso serão apresentados os resultados para estas três localidades.

Na **Figura 5.85** é possível observar que o melhor desempenho em termos de geração energética foi obtido com os painéis Kyocera KC167G-2 e para o BP Solar 3160 inclinados. Sendo o mais eficiente, o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2, desta vez com uma diferença pouco maior nos valores de energia anual fornecida pelos sistemas.

Para o Porto, com o uso dos módulos inclinados, o incremento em termos de ganhos de energia nos painéis foi de 75,08% para o BP 3160 e de 79,00% para o Kyocera KC167G-2. Para a capital Lisboa, esse incremento foi de 80,84% para o BP 3160 e 85,46% para o Kyocera KC167G-2. Por último, para Faro, o aumento da geração energética com o posicionamento inclinado dos painéis foi de 84,65% para o BP 3160 e 89,80% para o Kyocera KC167G-2. Esses incrementos foram pouco mais elevados para os resultados determinados pelo software *Sunny Design* em comparação ao Solterm.

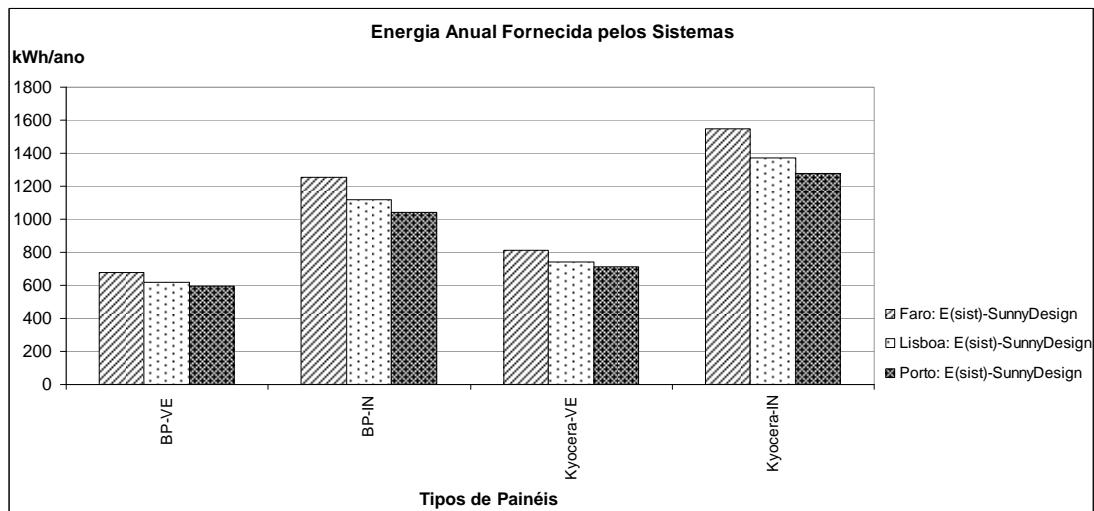


Figura 5.85 Sunny Design: Energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos por ano.

A **Figura 5.86** apresenta a energia anual fornecida pelos diferentes sistemas fotovoltaicos por m^2 (considerando uma área de uma célula de $25m^2$ como nas simulações de desempenho térmico e lumínico).

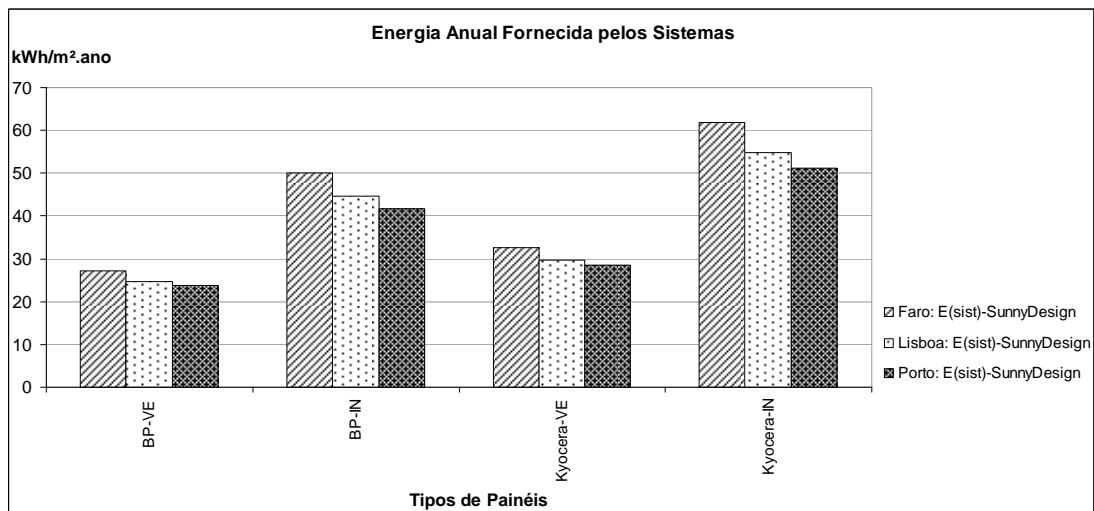


Figura 5.86 Sunny Design: Energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos por m².

Nos resultados determinados pelo *Sunny Design*, como ocorreu nos resultados para o *Solterm*, salienta-se que o uso nos sistemas de fachada em questão o ideal seria um painel fotovoltaico com as mesmas características do painel Kyocera KC167G-2 em termos de eficiência na geração de energia.

5.5.3 Comparação dos Resultados obtidos pelo Solterm 5.0 e Sunny Design 2.0

De forma a ter um parâmetro de comparação entre os resultados das simulações dos módulos fotovoltaicos optou-se por utilizar dois programas e comparar os resultados obtidos em cada um deles, pelo menos para algumas localidades analisadas.

Com base nas **Figuras 5.87** e **5.88** é possível observar a proximidade dos resultados encontrados para as simulações de desempenho em termos de microgeração energética. O que comprova a coerência de resultados quando se compara o Solterm e o Sunny Design.

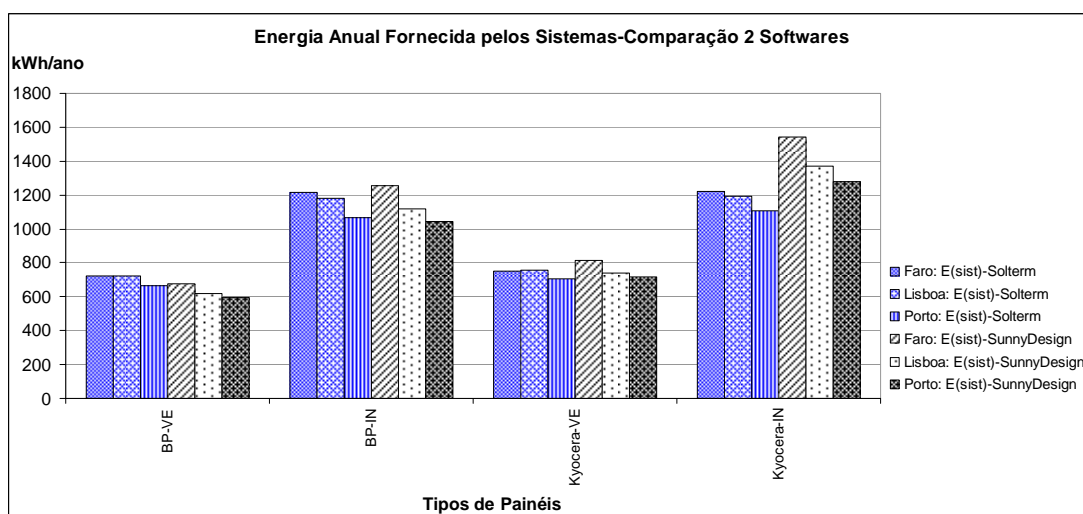


Figura 5.87 Solterm e Sunny Design: Comparação da energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos.

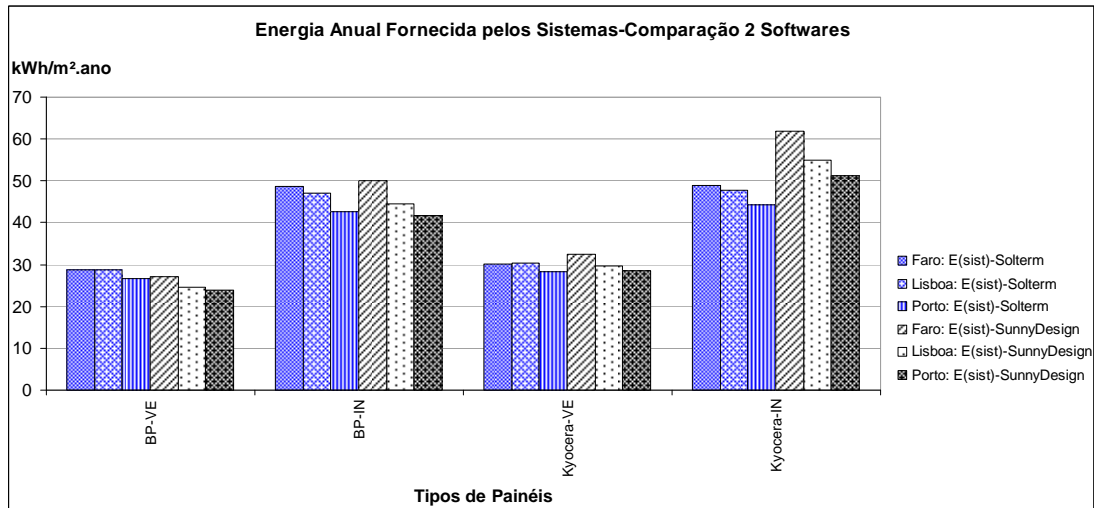


Figura 5.88 Solterm e Sunny Design: Comparação da energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos por m².

Analisando ambos os resultados, determinados pelo *Sunny Design* e pelo *Solterm*, em termos de eficiência na geração de energia, salienta-se que o uso nos sistemas de fachada em questão o ideal seria um painel fotovoltaico com as mesmas características do painel Kyocera KC167G-2, isso considerando somente os painéis fotovoltaicos disponíveis no software português *Solterm*, que são certificados para Portugal. Porém seria de extrema importância a possibilidade de analisar outras opções de painéis fotovoltaicos, tendo como base um banco de dados mais completo, como será apresentado a seguir.

5.5.4 Estudo de Outros Tipos de Painéis no Sunny Design 2.0

Para aumentar a gama de possibilidades de estudo para o módulo fotovoltaico do sistema de fachadas, optou-se por fazer um conjunto de simulações finais com outros tipos de painéis fotovoltaicos que não se encontram disponíveis no software *Solterm* 5.0, e por isso, não certificados para uso em Portugal, porém alguns apresentaram melhor eficiência energética (Marcas Sunpower e Schott) do que os três tipos analisados anteriormente.

Como o melhor desempenho foi para o uso dos painéis inclinados por apresentarem melhor eficiência em termos de geração energética, este posicionamento foi adotado nessas simulações finais.

A **Figura 5.89** apresenta a energia anual fornecida pelo sistema fotovoltaico com área de aproximadamente 6,25m² para cada tipo de painel fotovoltaico analisado, incluindo os painéis Kyocera KC167G-2 e o BP Solar 3160. Destacaram-se em termos de geração energética os painéis fotovoltaicos da marca Sunpower, seguidos dos painéis fotovoltaicos da Schott e Kyocera (**Figura 5.90**).

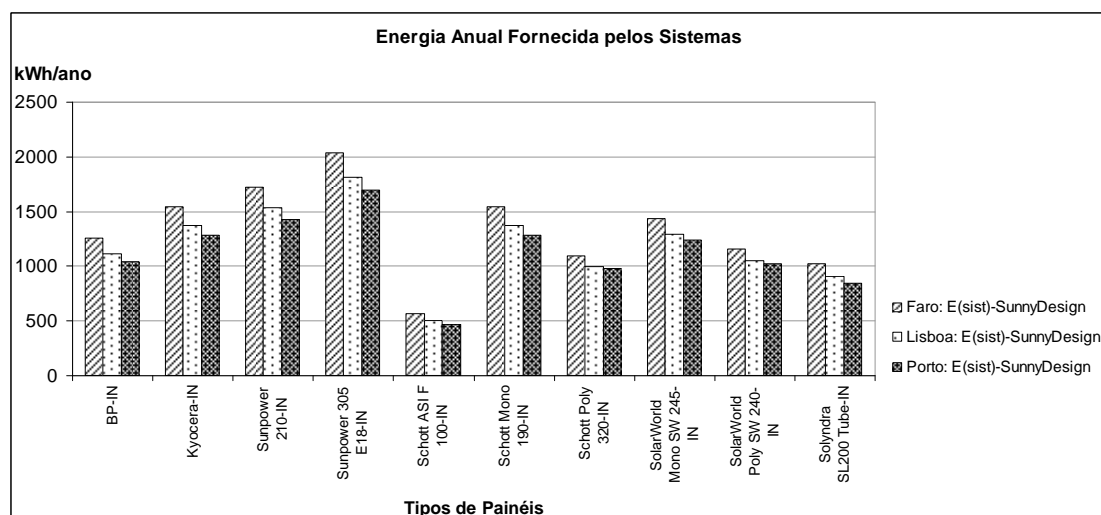


Figura 5.89 Sunny Design: Energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos por ano.

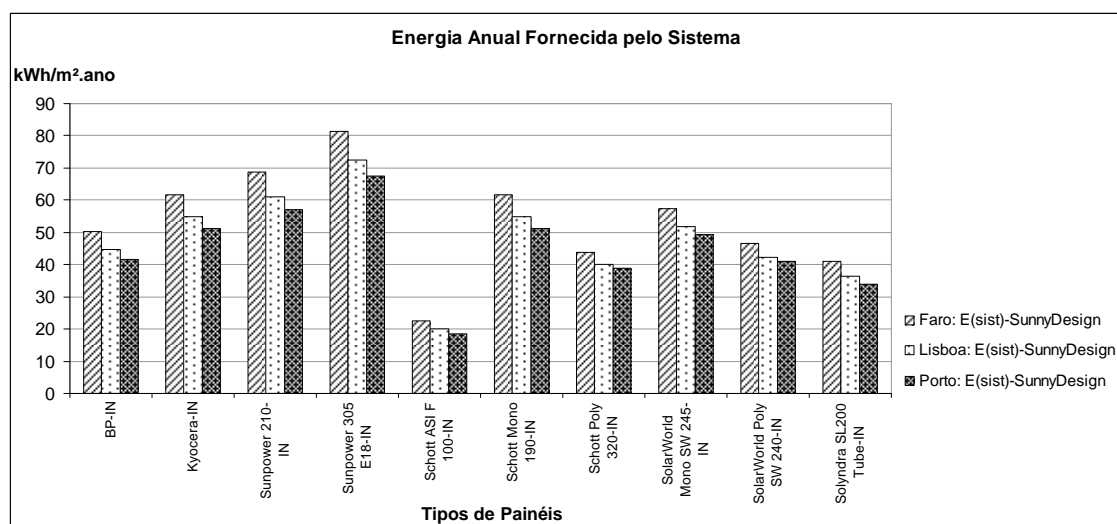


Figura 5.90 Sunny Design: Energia anual fornecida pelos sistemas fotovoltaicos por m².

O **Quadro 5.7** apresenta uma seriação em termos de geração energética, na qual se destacaram os painéis fotovoltaicos da Sunpower como 1^o e 2^o lugar e em 3^o lugar os painéis da Schott e Kyocera que conduziram a valores quase idênticos.

**Quadro 5.7** Ordem de Eficiência dos Sistemas Fotovoltaicos-Sunny Design**Ordem de Eficiência dos Sistemas Fotovoltaicos**

| |
|------------------------------|
| 1º Sunpower 305 E18-IN |
| 2º Sunpower 210-IN |
| 3º Schott Mono 190-IN* |
| 4º Kyocera-IN* |
| 5º SolarWorld Mono SW 245-IN |
| 6º BP-IN |
| 7º SolarWorld Poly SW 240-IN |
| 8º Schott Poly 320-IN |
| 9º Solyndra SL200 Tube-IN |
| 10º Schott ASI F 100-IN |

* Valores bem próximos.

Isso comprova o bom desempenho dos painéis fotovoltaicos Kyocera KC167G-2 e BP Solar 3160 que são certificados para utilização em Portugal, porém, salienta-se que existem outros tipos de painéis com desempenho superior, como observado anteriormente.

Como mencionado em nota na metodologia, de acordo com os dados apresentados no software *Solterm* 5.0, “por defeito” o painel BP Solar 3160 possui tecnologia de silício amorfo, porém essa informação não está de acordo com o catálogo do fabricante. De acordo com a BP Solar tal painel possui a tecnologia multicristalina (policristalina) (BP SOLAR, 2009). Os resultados das simulações indicam para esse painel um desempenho bem próximo ao do painel Kyocera KC167G-2, que possui também tecnologia de silício policristalino. Se a tecnologia de tal painel fosse de silício amorfo esperava-se um desempenho de geração energética bem inferior. Provavelmente ocorreu uma troca de informações no *Solterm*, sendo que pelas características apresentadas e geração de energia; o painel Siemens M75S que provavelmente é composto por silício amorfo, apesar de não ter sido encontrada nenhuma fonte de informação sobre esse tipo de painel fotovoltaico e “por defeito” o mesmo ser classificado como monocristalino.

5.6 Previsão de Desempenho Acústico

Nesta etapa do desenvolvimento do sistema de fachadas foi feita uma previsão de desempenho acústico para os módulos envidraçados com base nas informações recolhidas junto ao fabricante dos perfis utilizados (Technal) nos módulos na fase de detalhamento do sistema.

O vidro e a caixilharia formam o elemento que irá determinar o isolamento acústico de toda a fachada. Não é possível extrapolar as características da fachada apenas a partir



das performances do vidro. O índice de atenuação só pode ser fornecido depois de medido sobre a fachada concluída. Pelo contrário, é recomendada a harmonização entre o tipo de vidro, o caixilho e o tipo de juntas. Os vidros da gama alta devem ser montados sobre caixilhos com um bom desempenho acústico, sendo que tal desempenho não é influenciado pelo sentido de colocação do vidro.

Comparando por exemplo, caixilhos de batente com caixilhos de correr, considerando dimensões idênticas e vidros semelhantes, um caixilho de batente (como no caso dos módulos envidraçados deste trabalho de investigação) apresenta melhor desempenho térmico e acústico que um de correr.

Os elementos de uma fachada dupla estão acoplados entre si, de maneira elástica, por meio de uma camada de ar. A energia acústica transmitida pelo primeiro painel incide sobre o segundo, que por sua vez transmite parte dessa energia ao ar que o rodeia e reflete outra grande parte. Ocorre uma sucessão de reflexões na camada de ar e, em cada uma dessas reflexões, parte da energia é dissipada (MÉNDEZ et al. 1994),

A eficiência acústica de uma fachada com envidraçados duplos, depende da ligação entre seus elementos, se esta união for muito rígida, o conjunto passa a funcionar como um único painel. A camada de ar situada entre os dois elementos rígidos cria um acoplamento elástico entre eles, sendo que o conjunto pode ser comparado a um sistema de duas massas separadas por uma mola, ou seja, um sistema massa-mola-massa (OLIVEIRA, 2007).

O isolamento acústico de uma fachada com janela de vidros duplos pode atingir 35 dB (A) podendo chegar até 40 dB (A) caso a área de vidro seja no máximo um quarto da área total da fachada da habitação. Para alcançar índices de isolamento acústicos superiores a 40 dB (A), é necessário utilizar uma composição de fachada com janelas duplas, cuja curva padrão de isolamento tem um mínimo na frequência crítica do sistema massa-mola-massa e nas frequências críticas dos vidros. Ao ser instalada uma segunda esquadria paralelamente à esquadria já existente, pode-se esperar um isolamento de 40 a 50 dB (A) para ruído rosa e de 36 a 46 dB (A) para ruído de trânsito (PUJOLLE, 1978).

Scherer (2005) testou diversas composições com envidraçados duplos e constatou que a combinação de vidros com pequenos espaçamentos ocasiona o fenômeno da ressonância do sistema massa-mola-massa e que o desempenho acústico de um vidro simples, de massa equivalente à soma dos dois elementos de vidro duplo, é visivelmente superior, principalmente quando se consideram frequências médias e altas.

Quando o afastamento entre os vidros é pequeno, ocorre um aumento do isolamento acústico de forma rápida de acordo com a espessura da camada de ar. A **Figura 5.91 a**

seguir apresenta os ensaios realizados para diferentes envidraçados duplos (8mm-12mm ar-4mm e 4mm-12mm ar-4mm), sendo este último envidraçado duplo o adotado neste trabalho de investigação (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000).

O gráfico apresenta o desempenho acústico para essas duas composições de vidros duplos analisados, ao longo de todo o espectro de frequências. Os resultados apresentados são provenientes de medições realizadas no laboratório da Saint-Gobain Glass. Porém pode-se obter valores diferentes, devido a divergência entre áreas de amostra, procedimentos de ensaio, entre outros. Além disso, por meio do gráfico é possível ter uma ideia do comportamento acústico do envidraçado duplo de 4mm- (12 ar) -4mm que foi o utilizado no sistema de fachadas desenvolvido.

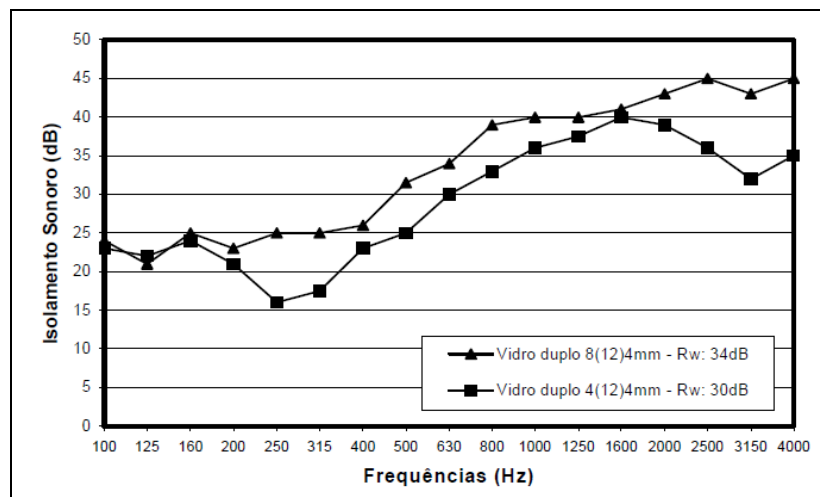


Figura 5.91 Isolamento de vidros duplos.
Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS, 2008.

5.6.1 Desempenho Acústico para Módulo Envidraçado com Características Semelhantes ao Estudado

O perfil utilizado nos módulos envidraçados do sistema de fachadas proposto foi o FXi da empresa Technal⁶⁷. Trata-se de uma versão com rutura da ponte térmica, com maior isolamento térmico e acústico (TECHNAL, 2008).

A **Tabela 5.17** seguinte indica, para diferentes tipos de caixilhos com envidraçados duplos, o valor do R (rosa), R (tráfego) e do Rw (índice de atenuação ponderado em dB). Os valores R (rosa) e R (tráfego) indicam o isolamento acústico. Sendo que, o ruído rosa

⁶⁷ Tais detalhes serão aprofundados na secção referente aos pormenores do sistema de fachadas desenvolvido.



contém a mesma energia acústica em cada intervalo de frequência de medição, o ruído de tráfego rodoviário que caracteriza um ruído exterior de tráfego urbano e o R_w é calculado com base na comparação entre os valores R medidos (16 valores para 16 intervalos de 1/3 oitava, de 100 Hz a 3150 Hz) e uma curva de referência.

As características do item em destaque na **Tabela 5.17** (Caixilho oscilo-batente, 1 folha, FXi 52mm – 4-12-4) são as que mais se aproximam dos módulos envidraçados propostos no caso deste trabalho de investigação, porém a dimensão do módulo apresentado na tabela (1480mmx1230mm) é 5 vezes superior à dimensão do módulo envidraçado (600mmx600mm) do sistema de fachadas desenvolvido.

Tabela 5.17 Estimativa de Desempenho Acústico para o Módulo Envidraçado.

| Dados Caixilharia | | Resultados ⁶⁸ (dB) | | |
|---|---|-------------------------------|-----------|----------------|
| Perfil | Tipo de Caixilharia | R Rosa | R Tráfego | R _w |
| FXi 65mm | Janela Oscilo Batente – 2 Folhas L= 1200 x A – 1200mm | 40 | 38 | 41 |
| FXi 52mm – 4-12-4 | Caixilho 2 folhas 1480x1460 mm | 33 | 30 | 34 |
| FXi 52mm – 4-12-4 | Caixilho Oscilo-batente 1 folha 1480x1230 mm | 32 | 30 | 33 |
| FX 52mm – 4-12-4 | Caixilho Oscilo-batente 1 folha 1480x1230 mm | 33 | 30 | 32 |
| FX 52mm – 4-12-4 Com enchimento contrasonor 35-20 | Caixilho Oscilo-batente 1 folha 1480x1230 mm | 36 | 33 | 35 |
| FX 52mm – 4-12-4 Com enchimento contrasonor 38-23 | Caixilho Oscilo-batente 1 folha 1480x1230 mm | 39 | 35 | 39 |

Fonte: Elaborado a partir de dados levantados de TECHNAL (2006) e TECHNAL (2008).

Os elementos que separam a zona exterior e os quartos ou a zona de estar conduziram a um índice de isolamento sonoro a sons aéreos para estes tipos de caixilhos de alumínio variando de 32 a 41dB.

Face aos resultados obtidos conclui-se que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da fachada irá atender em todos os casos ao limite regulamentar (33dB), com exceção de um deles (Caixilho Oscilo-batente, 1 folha, 1480x1230mm, FX 52mm – 4-12-4), ou seja, em grande parte dos casos cumpre os requisitos acústicos do Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de junho.

⁶⁸ Ensaios executados de acordo com a NFS31, 051, ISO 140 e ISO 177. Fonte de dados: TECHNAL (2006) e TECHNAL (2008).



Como o item “Caixilho oscilo-batente, 1 folha, FXi 52mm – 4-12-4” é o mais próximo dos módulos envidraçados fixo e móvel propostos neste trabalho de investigação, é previsto que o desempenho acústico de tais elementos estará de acordo com a normalização.

Em acústica, as transmissões marginais são importantes, por isso os valores obtidos só podem ser indicativos. Porém, neste caso pode-se sempre afirmar que os valores de desempenho dos módulos estudados para o sistema de fachadas em questão (60x60cm) serão superiores aos apresentados como indicativo devido à sua dimensão inferior, já que o envidraçado será a parte mais frágil no desempenho acústico de uma fachada.

Porém, a qualidade dos isolamentos entre os vidros e as caixilharias influencia diretamente na qualidade acústica. Caso as interfaces sejam mal tratadas, módulos de menores dimensões apresentarão maior comprimento total de interface com quebra acústica e o isolamento global será inferior ao de uma fachada toda envidraçada, por exemplo.

É importante observar que as frequências de ressonância dos elementos são quebras acústicas. Uma fachada toda em vidro terá uma frequência de ressonância característica, ao passo que com vidro e caixilharia haverá duas ou mais frequências de ressonância para os diferentes materiais. Sendo assim, é preciso determinar qual o tipo de ruído que se pretende isolar e observar se a fachada isola bem nessas frequências. Porém este seria um estudo avançado, que não coube no âmbito deste trabalho de investigação, sendo que neste caso está sendo fixado o valor global de isolamento acústico.

5.7 Ensaio de Caracterização Espectrofotométrica de Vidros

A caracterização espectrofotométrica dos vidros foi realizada porque grande parte dos módulos propostos para o sistema de fachadas desenvolvido é composta por esse material (módulo padrão fixo e móvel, módulo parede de Trombe, módulo estufa, etc.). Essas informações representariam um maior detalhamento das características dos vidros a serem utilizados nos módulos. No caso específico de obtenção de valores de transmissão originou gráficos com a percentagem de transmissão para as regiões do ultravioleta, visível e infravermelho próximo, e tais dados possibilitaram a verificação da eficiência dos envidraçados em termos de nível de iluminância.

Serão apresentados a seguir os resultados dos ensaios espectrofotométricos para cada tipo de vidro e envidraçados analisados, sendo eles os mesmos utilizados para a realização das simulações de desempenho térmico do sistema de fachadas proposto.



Os resultados experimentais obtidos no espectrofotómetro são apresentados em gráficos e tabelas, de forma a possibilitar uma boa visualização do que ocorre em termos de transmitância dentro dos intervalos estudados, para cada amostra de vidro, sujeita à incidência normal da radiação. Estes resultados serão apresentados por tipo de vidro e por meio de um gráfico e uma tabela que incluiu os oito tipos de vidros analisados.

As amostras foram ensaiadas no intervalo correspondente a parte do espectro solar, de 100 a 1100nm. Neste intervalo foi feita outra subdivisão, caracterizando as regiões do ultravioleta - UV (200 a 380nm), do visível (380 a 780nm) e parte do infravermelho - IV (780 a 1100nm). Os dados obtidos pelos ensaios espectrofotométricos permitiram que fossem traçadas as curvas e integradas as áreas correspondentes a cada região do espectro, assim como a integração da área total das curvas obtidas, chegando-se aos valores de transmissão dos vidros em análise.

Em termos de transmissão na região do visível recomenda-se a utilização de vidros com uma transmissão entre 30 e 50%. A utilização de vidros com tais características garantem ambientes com um nível de iluminância satisfatório, e ainda permitem que sejam realizadas no local atividades que necessitem precisão do sistema da visão. Pode-se ainda estabelecer como parâmetro, os seguintes intervalos de transmissão luminosa (TL) (CARAM, 2002):

- **TL <30%** transmissão luminosa fraca;
- **30% ≤ TL ≤ 50%** transmissão luminosa média;
- **TL > 0,50** transmissão luminosa forte.

Pode-se recomendar que o coeficiente **TL** esteja entre 30 a 50% em superfícies verticais e TL entre 25% e 40% nas cobertas (CARAM,2002).

Porém, definir a transmissão como sendo adequada apenas em função da transmissão luminosa do vidro pode não ser o correto. Deve-se considerar, além disso: a dimensão da área envidraçada, sua orientação geográfica, a latitude do local e época do ano. É possível, por exemplo, adequar os níveis de iluminância de um ambiente utilizando vidros com diferentes percentagens de transmissão visível, através do redimensionamento do tamanho das janelas. Vale salientar que o nível de iluminância de um ambiente está relacionado não somente com o tipo de vidro utilizado, como também com a orientação da abertura, com a dimensão da abertura, com a disposição da abertura e com os obstáculos externos, às cores da superfície interna, entre outros fatores (CARAM, 2002). Com base nessas considerações serão discutidas as curvas e tabelas dos resultados, explorando o

tema sob o ponto de vista do conforto ambiental e a consequência do uso de tais materiais no sistema de fachadas proposto.

5.7.1 Vidros *Float* Simples: Diamant e Planilux

Geralmente os materiais transparentes incolores têm comportamentos espectrofotométricos semelhantes entre si. Por meio da **Figura 5.92** pode-se observar que o vidro diamant possui transmissão elevada na região do visível (88,92%) e para a região do infravermelho analisada (86,18%), o que indica uma transmissão luminosa forte com a utilização deste vidro e, além disso, favorece o aquecimento do ambiente interior, por apresentar uma alta transmissão na região do infravermelho. Isso comprova sua eficiência para o uso em paredes de trombe, observada anteriormente nas simulações de desempenho térmico. Sua especificação como vidro extra-claro se comprova pela transmissão elevada na região do visível.

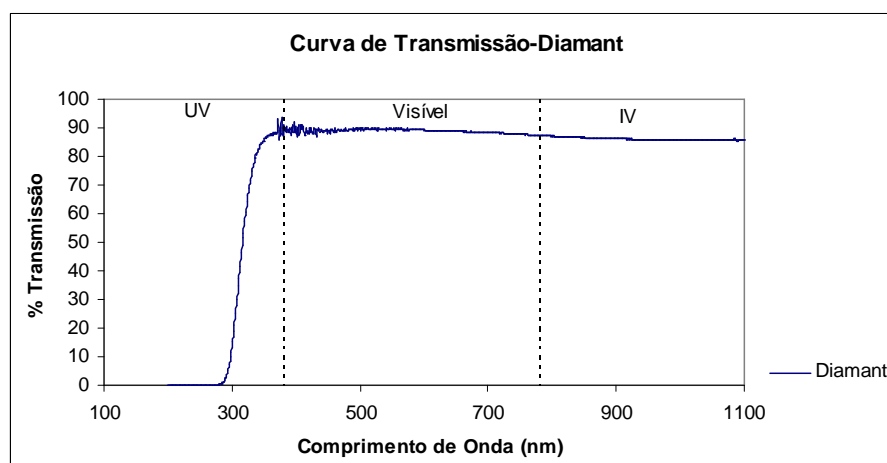


Figura 5.92 Curva de Transmissão-Vidro Diamant 6mm

Apesar de ser também um vidro *float*, o vidro planilux apresenta em relação ao diamant menor transmissão da radiação ultravioleta numa diferença de cerca de 12%. Sua transmissão na região do visível é bem próxima da do vidro diamant (85,36%) (**Figura 5.93**). Porém, de acordo com o uso, se o objetivo é utilizar um vidro *float* com maior bloqueio dos comprimentos de onda da região do ultravioleta, este vidro possui menor transmissão para esse intervalo. Para o uso em paredes de Trombe, pela análise das características espectrofotométricas entre os vidros diamant e planilux, o primeiro mostrou-se mais adequado. O mesmo foi observado nas simulações computacionais de desempenho térmico.

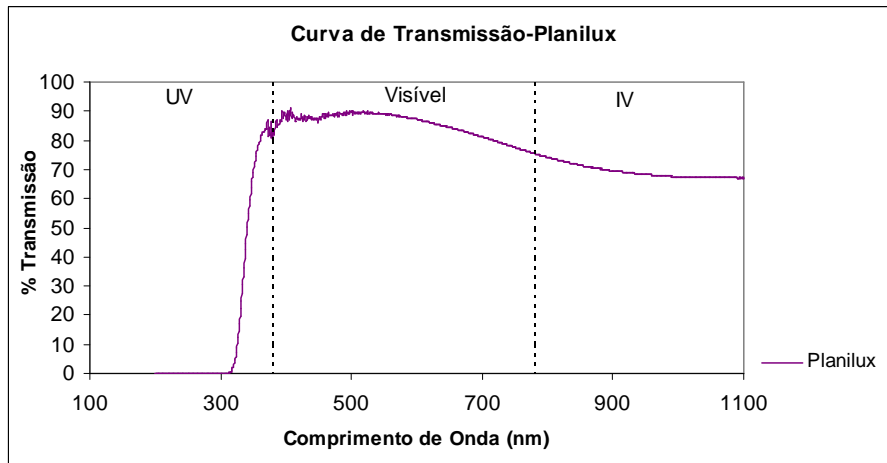


Figura 5.93 Curva de Transmissão-Vidro Planilux 6mm

5.7.2 Vidro de Auto-limpeza: Bioclean

O vidro bioclean possui uma percentagem de transmissão na região UV (17,03%) pouco menor que o planilux. Em termos da luz visível transmite 82,52%, o que garante uma transmissão elevada de iluminação natural. Em termos de radiação infravermelha possui uma transmissão próxima ao vidro planilux (70,78%), isso indica que seu uso ocasionará maior aquecimento no ambiente interior, porém com uma pequena diminuição de entrada de radiação UV (**Figura 5.94**). A capa de auto-limpeza neste caso não ocasiona grandes diferenças em termos de transmissão quando comparado com o vidro *float* planilux, o que é uma mais-valia porque além de uma maior iluminação natural e aquecimento interno, espera-se a função de auto-limpeza com a utilização desse tipo de vidro.

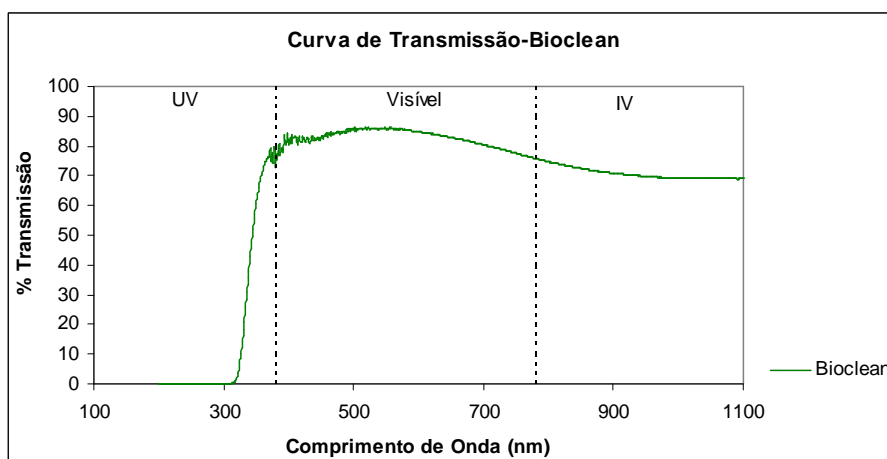


Figura 5.94 Curva de Transmissão-Vidro Bioclean 6mm

5.7.3 Vidros com Capa de Controlo Solar: Cool Lite KNT 155 Incolor e Verde

O vidro Cool Lite KNT 155 com capa de controlo solar possui transmissão na região do UV inferior (9,24%) quando comparado com um vidro simples como o diamant. A transmissão na região do visível está em torno de 47,28% e do infravermelho 24,52%, este último valor indica um menor aquecimento interior com o uso desse tipo de vidro quando comparado com os vidros analisados anteriormente (**Figura 5.95**).

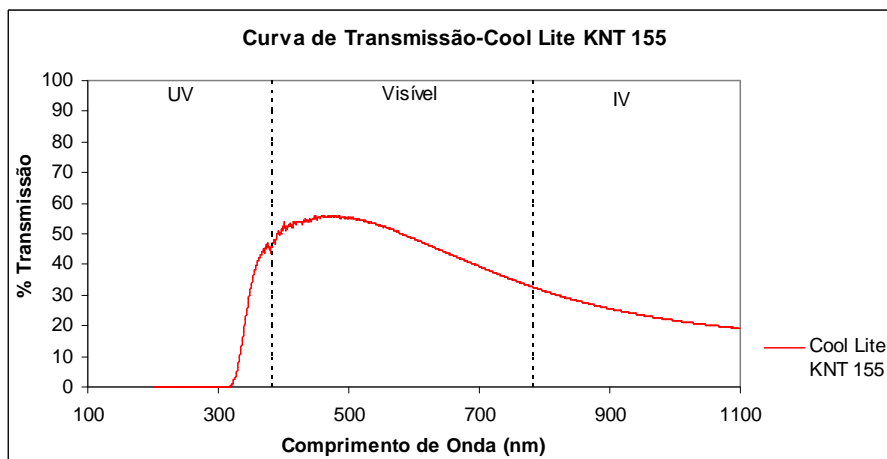


Figura 5.95 Curva de Transmissão-Vidro Cool Lite KNT 155 6mm

Para o vidro Cool Lite KNT155 verde foi possível constatar um decréscimo de transmissão acentuado em todas as regiões do espectro, com destaque para a região UV e do infravermelho com percentagens de 2,85% e 4,80% respetivamente. Em termos de transmissão visível, o valor encontra-se em 30,14% (**Figura 5.96**). A transmissão na região do UV e IV comprovam as características de controlo solar do vidro, bem inferiores em comparação com os vidros *float* simples apresentados anteriormente. Quando comparado com o vidro diamant (maior transmissão em todas as regiões), por exemplo, conduziu a nas regiões UV, do visível e IV uma diferença de 28,8%, 58,78% e 81,38% respetivamente.

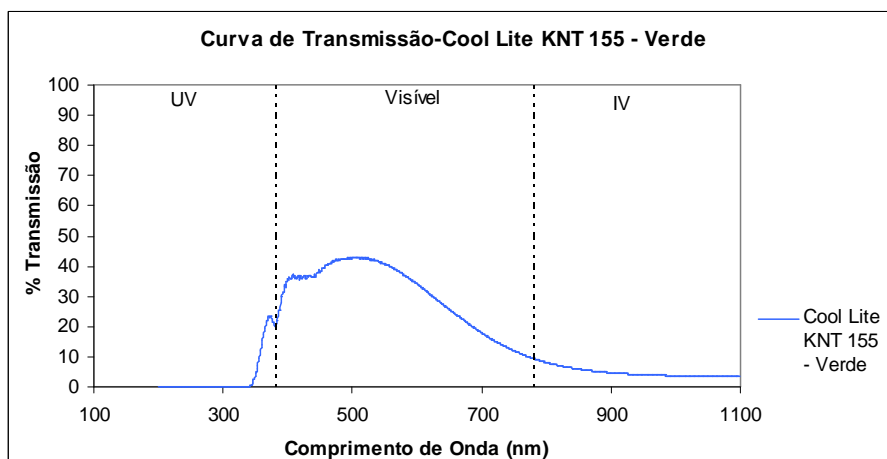


Figura 5.96 Curva de Transmissão-Vidro Cool Lite KNT 155 Verde 6mm

5.7.4 Vidros de Baixa Emissividade: Planitherm Total e Planitherm Futur Ultra N

Os dois tipos de vidro com película de baixa emissividade conduziram a valores de transmissão muito próximos, com diferenças em torno de 1% nos intervalos analisados e de 0,4% na transmissão total.

O vidro planitherm total conduziu a transmissão na região do visível de 79,22% o que se pode considerar uma transmissão forte, sendo superior, por exemplo, à dos vidros de controlo solar. Esses vidros possuem o propósito de durante o inverno reduzir as perdas térmicas por radiação. A transmissão de 52,75% na região do IV favorece o aquecimento (Figura 5.97).

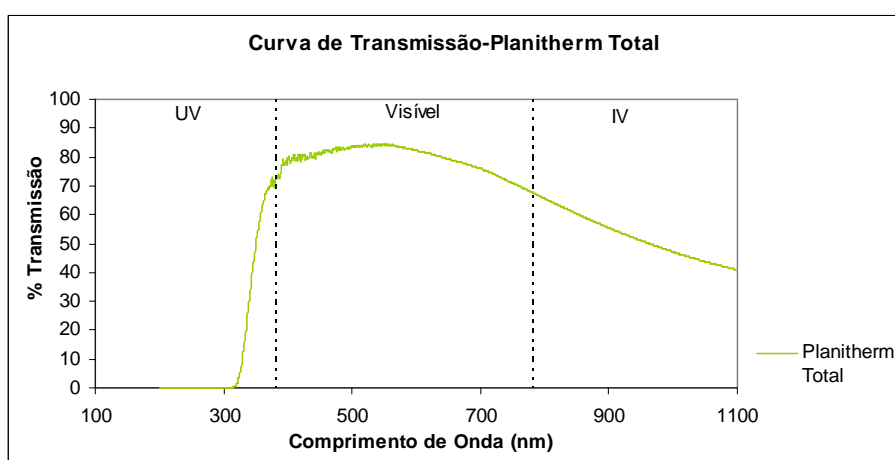


Figura 5.97 Curva de Transmissão-Vidro Planitherm Total 6mm

O vidro planitherm futur ultra N possui como diferencial uma emissividade ainda inferior à do planitherm total. Porém, em termos de transmissão conduziu a um comportamento bem semelhante. Com 15,94% da transmissão na região UV, 78,07% na região do Visível e 54,38% no IV e transmissão total de 57,10%. A diferença principal da curva desse vidro em relação ao anterior é na região do visível, para a qual conduziu a uma transmissão 1,15% mais elevada (**Figura 5.98**).

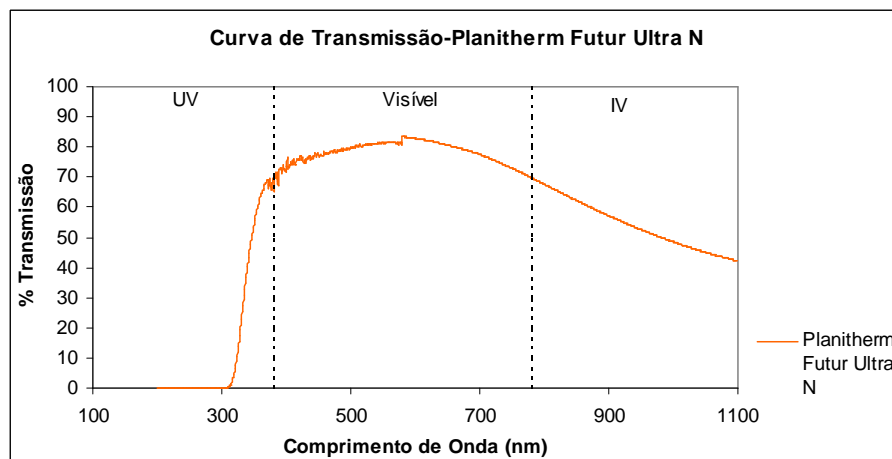


Figura 5.98 Curva de Transmissão-Vidro Planitherm Futur Ultra N 6mm

5.7.5 Vidro Planistar

O vidro de controlo solar planistar possui uma transmissão de 10,19% na região UV, 61,56% na região do visível e 20,47% na região do infravermelho analisada. Esse vidro destaca-se por uma percentagem de transmissão na região IV inferior aos vidros analisados anteriormente, indicando um menor aquecimento com o seu uso. Quando comparado ao com o Cool Lite KNT155, por exemplo, apresenta um incremento de 14% na transmissão na região do visível, indicando melhores condições de iluminação natural com seu uso (**Figura 5.99**).

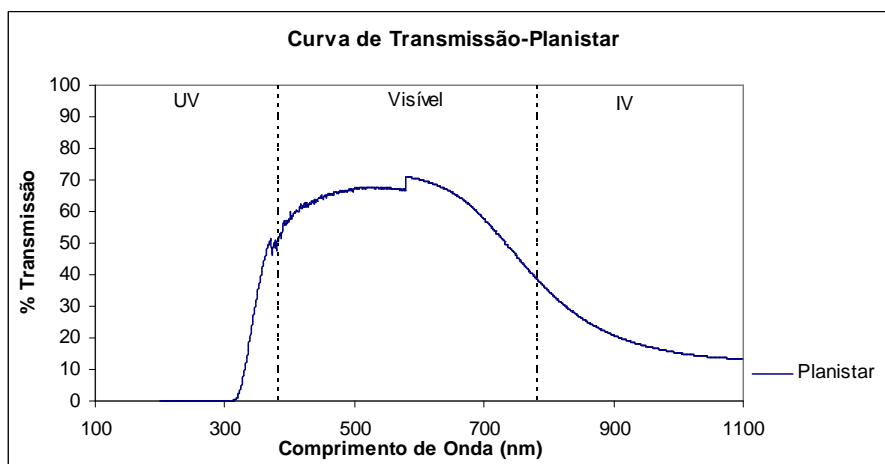


Figura 5.99 Curva de Transmissão-Planistar 6mm

5.7.6 Envidraçados Duplos 04 e 07

Para o envidraçado 04, composto pelo vidro cool lite KNT155 verde, uma camada de ar e pelo planitherm futur ultra N foi possível constatar um decréscimo de transmissão acentuado em todas as regiões do espectro, com destaque para as regiões do visível e infravermelho com percentagens de 25,15% e 2,63% respetivamente. O menor valor de transmissão dentre todas as análises no intervalo do infravermelho comprovam a eficiência na diminuição das necessidades nominais de arrefecimento com a utilização desse envidraçado. Em termos de transmissão visível, o valor encontra-se em 25,15% (Figura 5.100). Observa-se uma diminuição da transmissão para a composição de um vidro verde de controlo solar (exterior) e um vidro *low-e* (interior).

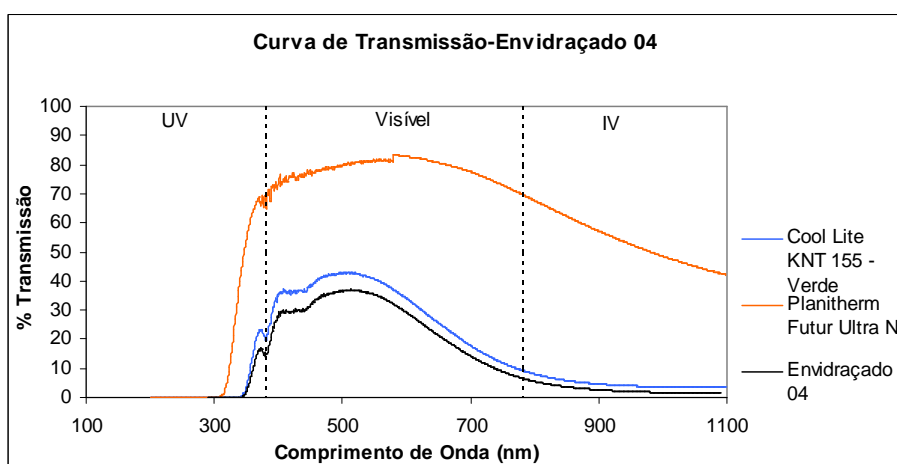


Figura 5.100 Curva de Transmissão - Envidraçado 04 (6mm - 6mm ar - 6mm) em comparação com os vidros simples pelos quais é composto.

O envidraçado 07 composto pelo vidro bioclean, uma camada de ar e pelo vidro planilux possui a segunda maior percentagem de transmissão na região UV (23,92%). Em

termos da luz visível transmite 70,34%, o que garante uma elevada iluminação natural. Em termos de radiação infravermelha possui uma transmissão próxima dos vidros *low-e* planitherm total e planitherm futur ultra N. Isso indica que o seu uso ocasionará maior aquecimento no ambiente interior, porém com uma pequena diminuição de entrada de radiação UV (**Figura 5.101**). A capa de auto-limpeza neste caso não ocasiona grandes diferenças em termos de transmissão quando se compara a composição de vidro duplo com os vidros *low-e* analisados.

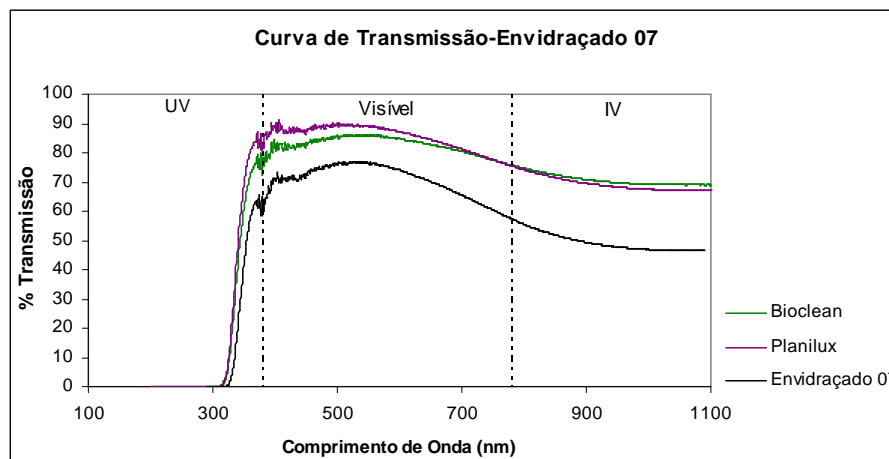


Figura 5.101 Curva de Transmissão - Envidraçado 07 (6mm - 6mm ar - 6mm) em comparação com os vidros simples pelos quais é composto.

5.7.7 Análise Geral do Desempenho Espectrofotométrico dos Vidros versus Desempenho Térmico

Nesta secção de análise geral dos resultados dos ensaios espectrofotométricos apresenta-se a transmissão relativa ao intervalo característico de cada vidro analisado, além da transmissão total. Por exemplo, para a região do visível, considera-se somente o que chega de radiação visível e é transmitido pela amostra. Repete-se o processo para as outras duas regiões. O resultado da transmissão total representa toda a radiação incidente com comprimento de onda compreendido entre 100 e 1100nm que é transmitido pelo vidro.

A **Tabela 5.18** apresenta a transmissão nos intervalos analisados: ultravioleta, visível e infravermelho de cada vidro, além da transmissão total. Encontra-se em destaque os menores e maiores valores obtidos para cada intervalo de transmissão e para a transmissão total.

**Tabela 5.18** Transmissão da Radiação nos intervalos do ultravioleta, visível e infravermelho.

| Transmissão da Radiação | | | | | |
|-----------------------------|----------------|--|------------|------------------|----------------------------------|
| Tipo de Vidro | Espessura (mm) | Transmissão Relativa ao Intervalo Característico (%) | | | Transmissão Total da Amostra (%) |
| | | Ultravioleta UV | Visível Vi | Infravermelho IV | |
| 1- Diamant | 6 | 31,65 | 88,92 | 86,18 | 76,49 |
| 2- Planilux | 6 | 19,13 | 85,36 | 69,44 | 66,45 |
| 3- Bioclean | 6 | 17,03 | 82,52 | 70,78 | 65,25 |
| 4- Cool Lite KNT 155 | 6 | 9,24 | 47,28 | 24,52 | 31,52 |
| 5- Cool Lite KNT 155 Verde | 6 | 2,85 | 30,14 | 4,80 | 15,66 |
| 6- Planitherm Total | 6 | 14,45 | 79,22 | 52,75 | 56,74 |
| 7- Planitherm Futur Ultra N | 6 | 15,94 | 78,07 | 54,38 | 57,10 |
| 8- Planistar | 6 | 10,19 | 61,56 | 20,47 | 36,73 |
| 9- Envidraçado 04 | 6-6 ar-6 | 3,89 | 25,15 | 2,63 | 13,89 |
| 9- Envidraçado 07 | 6-6 ar-6 | 23,92 | 70,34 | 47,87 | 56,30 |

Observou-se que o vidro *float* extra-claro diamant conduziu a as maiores percentagens de transmissão de radiação quando comparados com os demais vidros analisados, características que confirmam a sua definição como vidro *float* extra-claro. Isso comprova a sua eficiência para utilização em sistemas de parede de Trombe, como é o caso do sistema de fachadas em questão (**Tabela 5.18**). Os menores valores de transmissão total e nos intervalos do visível e infravermelho foram observados para o envidraçado duplo 04 que utiliza o vidro de controlo solar cool lite KNT155 verde no pano exterior e o planitherm futur ultra N no interior. Para a região do ultravioleta o menor resultado de transmissão foi observado para o vidro simples cool lite KNT155 verde.

Essa característica comprova que tal vidro possui um bom desempenho para utilização em climas nos quais a diminuição das necessidades nominais de arrefecimento seja a prioridade. É importante salientar que nos resultados das simulações computacionais de desempenho térmico, o uso de tal vidro no pano exterior, combinado com o vidro *low-e* planitherm futur ultra N interior fez com que as necessidades nominais de arrefecimento fossem as menores observadas. Em termos de transmissão total o menor valor observado foi para o envidraçado duplo 04 e o maior valor para o vidro simples diamant (**Figura 5.102**).

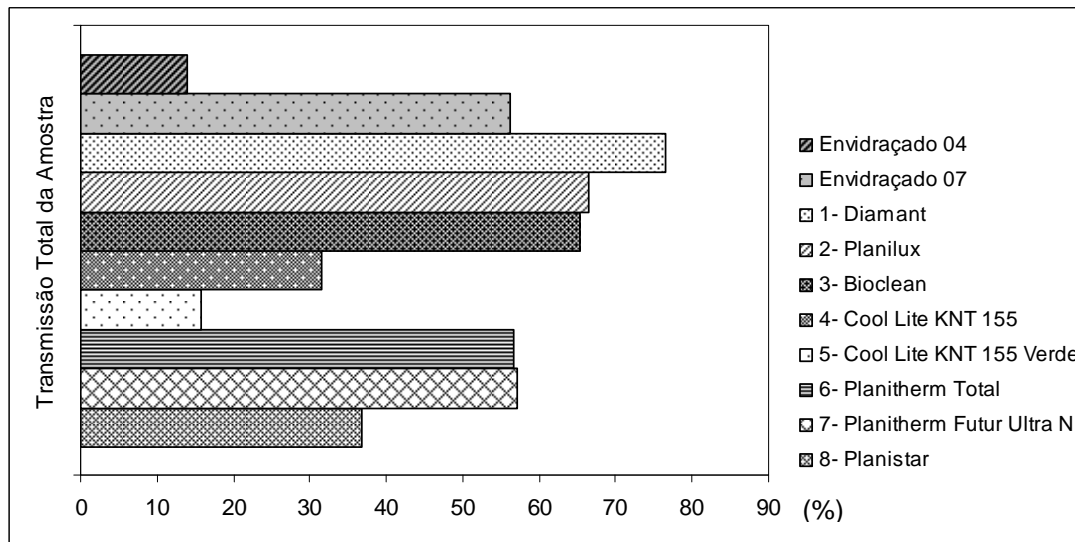


Figura 5.102 Transmissão Total dos Vidros e Envidraçados

Além do vidro diamant indicado para o uso nos módulos parede de Trombe do sistema de fachadas em questão, logo em seguida destacam-se os vidros planilux e bioclean com os valores mais elevados de transmissão total e nos intervalos característicos. Mais uma vez, comprova-se o bom desempenho térmico obtido por meio de simulação computacional para a composição de tais vidros. A transmissão total do envidraçado 07 (vidro bioclean no pano exterior e do vidro planilux no pano interior), principalmente na região do infravermelho, também comprova a sua eficiência em termos de diminuição das necessidades energéticas para aquecimento.

Portanto, os resultados dos ensaios espectrofotométricos comprovam os resultados obtidos por meio de simulações computacionais executadas anteriormente no software *DesignBuilder*. Isso porque os dados de transmissão da radiação solar estão diretamente relacionados com as condições de conforto térmico, principalmente em relação os resultados para o intervalo do infravermelho. Posteriormente, os resultados de transmissão na região do visível foram comparados com os resultados de simulação computacional de desempenho lumínico.

Na **Figura 5.103** é possível observar claramente os valores máximos e mínimos obtidos de transmissão, para o vidro diamant e envidraçado 04 respectivamente. Observa-se que o vidro cool lite KNT155 verde permite uma boa iluminação, ao mesmo tempo que atenua a radiação infravermelha no intervalo analisado, reduzindo o calor, que ocorre justamente nesta região. De antemão sabe-se que os vidros de cor verde sempre apresentam uma tendência à diminuição da transmissão nos comprimentos de onda mais elevados (CARAM, 1998; CARAM, 2002).

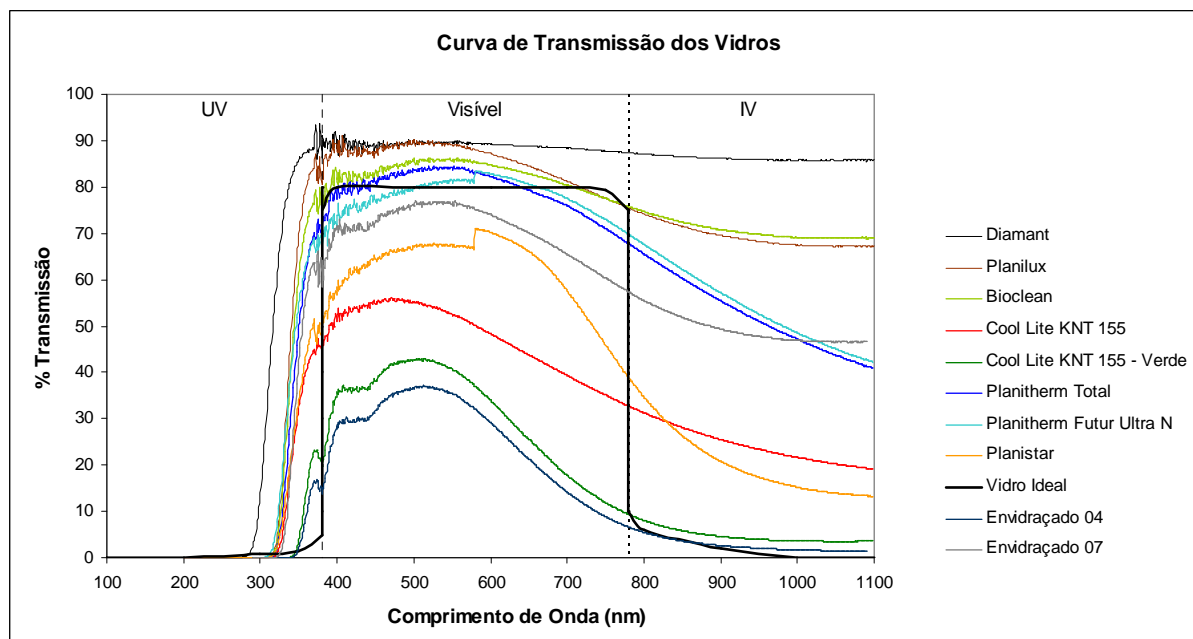


Figura 5.103 Curvas de Transmissão dos Vidros

Outro fator que merece destaque é a diversidade de comportamento em relação à transmissão apresentada pelos vidros, como pode ser observado por meio do gráfico, mesmo para materiais com características bem semelhantes em termos de composição.

Os resultados ainda chamam atenção para a pouca transparência dos vidros de controlo solar (cool lite KNT155 incolor, verde e planistar) ao ultravioleta, fazendo com que possam ser adequados para vitrinas de lojas, centros comerciais, museus e mesmo residências. O envidraçado 04 destacou-se em termos de controlo de radiação solar ultravioleta, com a menor transmissão para essa região. Essa faixa do espectro tem um alto poder energético, que causa deterioração dos materiais, desbotamento, e pode acarretar ainda doenças na pele. No entanto, em algumas situações, a entrada dessa radiação pode ser importante, como em áreas de recuperação em hospitais, pois ela é responsável pela síntese de algumas vitaminas.

O vidro bioclean, que possui além da capa de auto-limpeza, a capa de baixa emissividade, conduziu a um comportamento diferente dos vidros *low-e*, principalmente na região do infravermelho analisada, com uma percentagem de transmissão de no mínimo 16% mais elevada para este intervalo. Isso explica os resultados observados nas simulações de desempenho térmico, que conduziram a que esse tipo de vidro na composição de envidraçado 07 apresenta um bom desempenho para contribuir na diminuição das necessidades nominais de aquecimento.

Na **Figura 5.103** anteriormente apresentada, também foi traçada uma curva do que seria o comportamento de um vidro ideal em termos de transmissão da radiação. Isso varia



de acordo com o tipo de clima para o qual o material será indicado. Por exemplo, o vidro considerado ideal para fachadas em regiões quentes e expostos diariamente a radiação solar, deveria possuir boa transmissão na região do visível, e pouca na do infravermelho, pois para as condições climáticas predominantes o material deve admitir a luz e rejeitar calor (CARAM, 1998).

Porém, no caso de Portugal que possui clima temperado pode-se partir do pressuposto que o ideal seria um tipo de vidro que funcionasse como barreira para a radiação ultravioleta; um vidro capaz de admitir a passagem da luz visível favorecendo a iluminação natural, ou seja, com uma boa transmissão na região do visível e, que ao mesmo tempo permitisse uma pequena quantidade de calor, proveniente do infravermelho próximo, de forma a auxiliar no aquecimento do ambiente interior. Estas características podem ser observadas em vidros de baixa emissividade, que normalmente apresentam um bom desempenho térmico para climas temperados.

Os resultados de alta transmissão na região do IV obtidos para alguns materiais analisados indicam a sua adequação para utilização em países de clima predominantemente frio, o que é de fácil observação em grande parte dos materiais estudados.

Depreende-se, portanto, que cada tipo de vidro analisado conduziu a distintas transmissões, para cada uma das faixas do espectro solar. Um vidro ideal seria, dentro do conceito da eficiência energética e de acordo com os efeitos físicos e biológicos relativos a cada faixa do espectro solar, aquele que tivesse uma alta transmissão da radiação visível, proporcionando conforto visual; baixa transmissão do ultravioleta de forma a evitar deterioração dos materiais; e permitisse a passagem de uma pequena parcela de infravermelho, fornecendo desta forma aquecimento ao ambiente. Salienta-se ainda que a conceção de um bom sistema de iluminação natural exige que se tenha em atenção o local e a orientação do edifício, mas também as variações da luz natural em função das estações do ano, da hora e das condições climáticas.

5.7.8 Desempenho Espectrofotométrico dos Vidros Versus Desempenho Lumínico

Como apresentado anteriormente nos resultados dos ensaios espectrofotométricos dos vidros e envidraçados de melhor desempenho térmico, a radiação solar da região do visível (380 a 780nm) está associada à intensidade de luz branca transmitida; é a única determinante neste aspeto, influenciando diretamente no grau de iluminação natural de um



ambiente. A radiação visível também chamada de luminosa proporciona a sensação visual do dia-a-dia.

Uma análise de tal intervalo de radiação pode ser confrontada com os resultados obtidos por simulação computacional de desempenho lumínico, de forma a confirmar ou não tais resultados. Diante disso, a **Figura 5.104** apresenta a curva de transmissão para envidraçados semelhantes aos envidraçados 04 e 07⁶⁹ e a **Tabela 5.19** apresenta os valores de transmissão por intervalos e a transmissão total. Neste caso, destaca-se a transmissão no intervalo do visível, que está diretamente relacionada com as condições de iluminação natural.

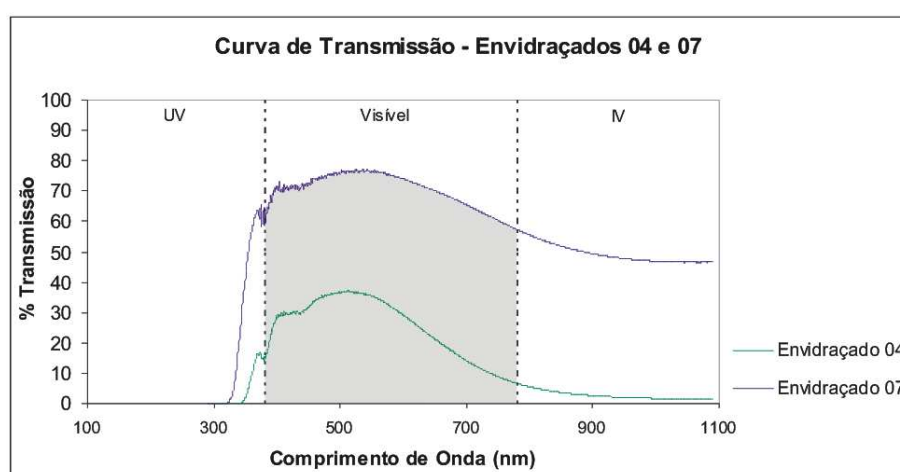


Figura 5.104 Curvas de Transmissão - Envidraçados 04 e 07 (6mm - 6mm ar - 6mm).

Tabela 5.19 Envidraçados 04 e 07: Transmissão da Radiação nos intervalos do ultravioleta, visível e infravermelho.

| Transmissão da Radiação | | | | | |
|-------------------------|----------------|--|------------|------------------|----------------------------------|
| Tipo de Vidro | Espessura (mm) | Transmissão Relativa ao Intervalo Característico (%) | | | Transmissão Total da Amostra (%) |
| | | Ultravioleta UV | Visível Vi | Infravermelho IV | |
| Envidraçado 04 | 6-6-6 | 3,89 | 25,15 | 2,63 | 13,89 |
| Envidraçado 07 | 6-6-6 | 23,92 | 70,34 | 47,87 | 56,30 |

Para o envidraçado 04 composto pelos vidros cool lite KNT155 verde – camada de ar - planitherm futur ultra N foi possível constatar um decréscimo de transmissão acentuado quando comparado com o envidraçado 07 inclusive para a região do visível responsável

⁶⁹ Como explicado na metodologia, não foi possível devido ao espaçamento destinado à amostra do espectrofotômetro analisar o envidraçado com espaçamento de ar com 12mm, porém analisar os envidraçados com 6mm já seria significativo e apresentaria poucas diferenças em termos de resultados, isso com base nos trabalhos realizados por Caram (1998) e Caram (2002)



pela iluminação natural. Em termos de transmissão visível, o valor encontra-se em 25,15%. Observa-se uma diminuição da transmissão para a composição de um vidro verde de controlo solar (exterior) com um vidro *low-e* (interior).

Os vidros compostos por bioclean – camada de ar – planilux (Envidraçado 07) em termos da luz visível transmitem 70,34%, o que garante um elevado índice de iluminação natural. Isso comprova o melhor desempenho apresentado pelo uso deste envidraçado nas simulações computacionais de desempenho lumínico executadas nos softwares *Ecotect* e *Desktop Radiance* apresentadas anteriormente.

5.8 Ensaios em Túnel de Vento para Módulo de Ventilação

A segunda etapa experimental deste trabalho de investigação foram os ensaios em túnel de vento. Esta etapa foi necessária para determinar especificamente o tipo de grelha e posicionamento ideal a ser utilizado na configuração dos módulos de ventilação, de modo a favorecer as condições de ventilação natural. O desenvolvimento de modelos em escala reduzida testados no túnel de vento permitiu simular as características de ventos naturais e suas cargas de pressão e sucção sobre as configurações do módulo de ventilação no sistema de fachadas.

Tais ensaios foram realizados para uma maquete em papel madeira e quatro variações das fachadas em acrílico (dois tipos de módulo de ventilação e dois posicionamentos dos módulos). O propósito destes ensaios foi determinar a influência das variações dos módulos de ventilação (tipo de grelha e posicionamento na fachada) nas condições de ventilação natural. No total foram executados oito ensaios cujos resultados serão apresentados.

Nesses ensaios foram realizadas medições para comparar as velocidades das quatro variações de fachadas estudadas, de forma a determinar qual delas apresenta o melhor desempenho em relação à ventilação natural. Foram quantificadas, por meio de ensaios no túnel de vento as velocidades internas e externas.

Os resultados quantitativos são representados pelos valores das velocidades nos pontos escolhidos (V1=Velocidade no P1; V2=Velocidade no P2; V3=Velocidade no P3; V4=Velocidade no P4; V5=Velocidade no P5; V6=Velocidade no P6), sendo eles:

- Três sensores internos a uma altura de 0.80m a partir do piso do modelo: Um sensor no ponto central do modelo (P3) e dois sensores (P2, P4) afastados a 1m dos vértices que formam a diagonal no piso do modelo;



- Três sensores externos: Na fachada principal do modelo foi instalado um sensor (P1) com o propósito de medir a velocidade do vento externo antes de atingir o modelo físico a altura de 1.55m e a uma distância de 6m da fachada e dois externos posicionados na abertura de saída do ar (porta) (P5 a 1.00m de altura e P6 a 1.70m de altura), de forma a obter as velocidades de vento ao deixar o modelo.

As velocidades indicam o potencial para a obtenção do conforto térmico no interior e com a média das velocidades em dois pontos de saída do ar foi possível determinar a velocidade na abertura de saída de ar para uma taxa de renovação de ar de 0,6 renovações /hora.

5.8.1 Ensaios de Velocidade

A análise dos resultados dos ensaios no túnel de vento foi realizada por meio da comparação entre velocidades internas e a velocidade de incidência do vento próximo da fachada, a fim de determinar a configuração que proporciona as melhores condições de ventilação. Para a análise dos resultados dos ensaios no túnel de vento, a velocidade do ar interno foi relacionada com a velocidade do ar externo livre de obstruções (no ponto frontal à fachada do modelo a uma distância de 6m e 1.55m de altura), com a finalidade de analisar a eficiência das estratégias de ventilação natural.

Primeiramente são apresentados nas **Tabelas 5.20 a 5.23** os valores da velocidade média do ar determinados nos pontos verificados na maquete descritos anteriormente (Três pontos internos e três externos, sendo um na entrada do ar e dois na saída), de acordo com a configuração de fachada.

Para relembrar as composições de fachadas analisadas apresentadas na metodologia tem-se:

- **Caso 01A:** Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na vertical, sendo 1A A= Caso 01A com ventilação cruzada e 1A F= Caso 01A sem ventilação cruzada;
- **Caso 01B:** Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior, com elementos da grelha posicionados na vertical, sendo 1B A= Caso 01A com ventilação cruzada e 1B F= Caso 01B sem ventilação cruzada;



- **Caso 02A:** Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na horizontal sendo 2A A= Caso 02A com ventilação cruzada e 2A F= Caso 02A sem ventilação cruzada;
- **Caso 02B:** Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior; com elementos da grelha posicionados na horizontal, sendo: 2B A= Caso 02B com ventilação Cruzada; 2B F= Caso 02B sem ventilação cruzada.

Para relembrar as velocidades medidas no interior e exterior do modelo, tem-se:

- V1= Velocidade no ponto P1 a 6m da fachada e 1.55m de altura;
- V2= Velocidade no ponto P2, na extremidade a 0.80m de altura;
- V3= Velocidade no ponto central P3 da maquete a 0.80m de altura;
- V4= Velocidade no ponto P4, na extremidade a 0.80m de altura;
- V5= Velocidade no ponto P5, na saída de ar (porta) a 1.00m de altura;
- V6= Velocidade no ponto P6, na saída de ar (porta) a 1.70m de altura.

Tabela 5.20 Caso 01A: Com e sem ventilação cruzada - Velocidades Médias por Frequência.

| Frequência (Hz) | Velocidades Médias por Frequência | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | V1 | | V2 | | V3 | | V4 | | V5 | | V6 | |
| | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F |
| 3 | 1,67 | 1,24 | 0,61 | 0,59 | 0,78 | 0,59 | 0,64 | 0,57 | 0,84 | - | 0,94 | - |
| 5 | 2,39 | 2,42 | 0,65 | 0,59 | 0,98 | 0,59 | 0,79 | 0,57 | 1,29 | - | 1,49 | - |
| 7 | 3,91 | 3,38 | 0,81 | 0,59 | 1,88 | 0,59 | 1,12 | 0,57 | 2,10 | - | 2,25 | - |
| 9 | 5,33 | 4,83 | 1,14 | 0,59 | 2,63 | 0,60 | 1,35 | 0,57 | 2,82 | - | 2,94 | - |
| 11 | 6,05 | 5,97 | 1,53 | 0,60 | 2,88 | 0,61 | 1,44 | 0,58 | 3,23 | - | 3,35 | - |
| 13 | 7,06 | 7,20 | 1,64 | 0,60 | 3,41 | 0,64 | 1,76 | 0,58 | 3,81 | - | 3,94 | - |

| | |
|--|--|
| <p>Caso 01A: Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na vertical; 1A A= Caso 01A com ventilação cruzada; 1A F= Caso 01A sem ventilação cruzada</p> | |
|--|--|

**Tabela 5.21** Caso 01B: Com e sem ventilação cruzada - Velocidades Médias por Frequência.

| Frequência (Hz) | Velocidades Médias por Frequência | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | V1 | | V2 | | V3 | | V4 | | V5 | | V6 | |
| | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F |
| 3 | 1,48 | 1,44 | 0,64 | 0,59 | 0,74 | 0,59 | 0,59 | 0,57 | 0,78 | - | 0,90 | - |
| 5 | 2,44 | 2,26 | 0,69 | 0,59 | 0,85 | 0,59 | 0,67 | 0,58 | 1,28 | - | 1,52 | - |
| 7 | 3,63 | 3,78 | 0,86 | 0,60 | 1,41 | 0,60 | 0,72 | 0,58 | 1,91 | - | 2,19 | - |
| 9 | 5,51 | 5,48 | 1,10 | 0,60 | 2,15 | 0,61 | 0,85 | 0,59 | 2,75 | - | 3,06 | - |
| 11 | 5,34 | 4,96 | 1,37 | 0,61 | 1,83 | 0,61 | 0,89 | 0,59 | 2,87 | - | 3,26 | - |
| 13 | 7,41 | 6,74 | 1,46 | 0,62 | 2,66 | 0,64 | 1,13 | 0,60 | 3,87 | - | 4,29 | - |

Caso 01B: Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior, com elementos da grelha posicionados na vertical;
1B A= Caso 01A com ventilação cruzada;
1B F= Caso 01B sem ventilação cruzada.

Tabela 5.22 Caso 02A: Com e sem ventilação cruzada - Velocidades Médias por Frequência.

| Frequência (Hz) | Velocidades Médias por Frequência | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | V1 | | V2 | | V3 | | V4 | | V5 | | V6 | |
| | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F |
| 3 | 1,25 | 1,24 | 0,81 | 0,59 | 0,75 | 0,59 | 0,60 | 0,57 | 0,95 | - | 0,97 | - |
| 5 | 2,45 | 2,27 | 1,18 | 0,59 | 1,28 | 0,59 | 0,73 | 0,57 | 1,89 | - | 1,87 | - |
| 7 | 3,74 | 3,77 | 1,34 | 0,60 | 2,00 | 0,59 | 1,08 | 0,57 | 2,70 | - | 2,69 | - |
| 9 | 5,06 | 5,04 | 1,33 | 0,60 | 2,63 | 0,60 | 1,59 | 0,58 | 3,39 | - | 3,41 | - |
| 11 | 6,26 | 6,00 | 1,64 | 0,60 | 3,36 | 0,61 | 1,90 | 0,58 | 4,23 | - | 4,24 | - |
| 13 | 7,30 | 6,98 | 1,80 | 0,61 | 3,89 | 0,64 | 2,28 | 0,58 | 4,99 | - | 5,02 | - |

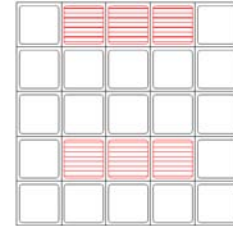
Caso 02A: Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na horizontal;
2A A= Caso 02A com ventilação cruzada;
2A F= Caso 02A sem ventilação cruzada.



Tabela 5.23 Caso 02B: Com e sem ventilação cruzada - Velocidades Médias por Frequência.

| Frequência (Hz) | Velocidades Médias por Frequência | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | V1 | | V2 | | V3 | | V4 | | V5 | | V6 | |
| | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F |
| 3 | 1,28 | 1,29 | 0,76 | 0,59 | 0,68 | 0,59 | 0,60 | 0,57 | 0,89 | - | 1,00 | - |
| 5 | 2,41 | 2,30 | 1,09 | 0,60 | 0,98 | 0,60 | 0,67 | 0,58 | 1,73 | - | 1,88 | - |
| 7 | 3,86 | 3,98 | 1,01 | 0,61 | 1,79 | 0,61 | 0,81 | 0,59 | 2,67 | - | 2,86 | - |
| 9 | 5,10 | 4,76 | 1,16 | 0,61 | 2,36 | 0,62 | 0,93 | 0,59 | 3,49 | - | 3,71 | - |
| 11 | 6,17 | 5,65 | 1,40 | 0,62 | 2,72 | 0,66 | 1,12 | 0,60 | 4,17 | - | 4,41 | - |
| 13 | 6,73 | 7,43 | 1,71 | 0,64 | 2,77 | 0,72 | 1,24 | 0,61 | 4,68 | - | 4,97 | - |

Caso 02B: Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior; com elementos da grelha posicionados na horizontal.
 2B A= Caso 02B com ventilação cruzada;
 2B F= Caso 02B sem ventilação cruzada.



Foram elaborados para melhor análise dos dados, gráficos que apresentam as velocidades do ar no interior e exterior do modelo estudado em função da velocidade a 6m da fachada e altura de 1.55m (V1) (**Figura 5.105 a 5.108**).

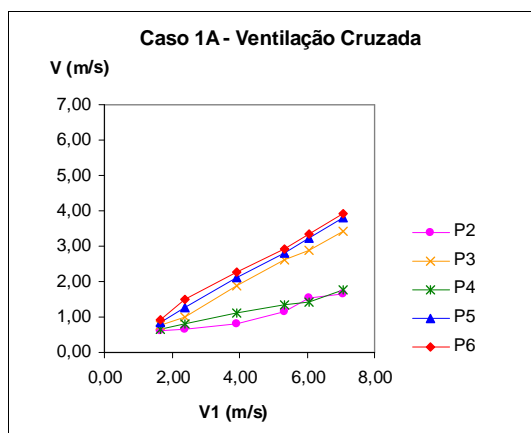


Figura 5.105 Caso 1A com ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

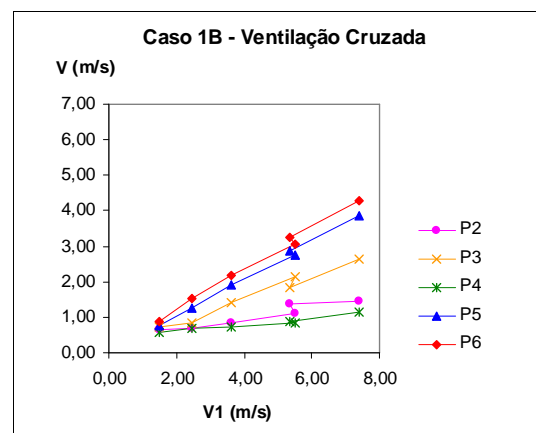


Figura 5.106 Caso 1B com ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

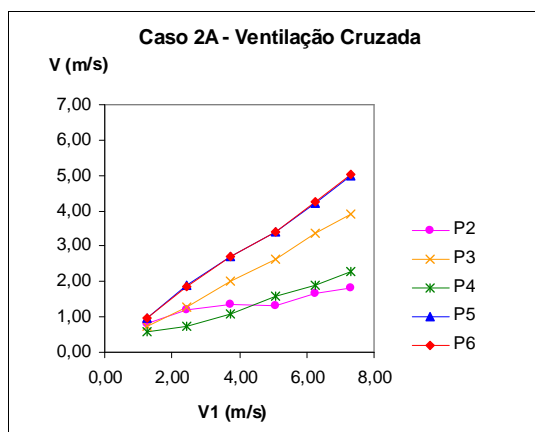


Figura 5.107 Caso 2A com ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

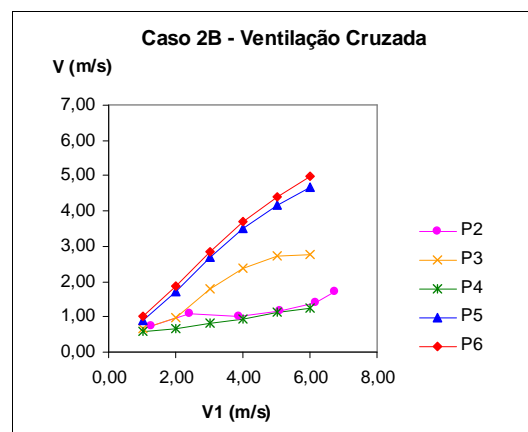


Figura 5.108 Caso 2B com ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

Observa-se em boa parte dos casos, uma tendência linear na variação da velocidade nos pontos medidos. Os maiores valores nas velocidades foram observados para os pontos medidos no exterior da maquete, posicionados na porta de saída de ar (P5 e P6), sendo que no caso 02A os valores medidos em tais pontos são praticamente os mesmos (**Figuras 5.105 a 5.108**).

Para os casos de configuração de fachada com elementos da grelha posicionados na horizontal (2A e 2B) a área efetiva de abertura na fachada foi 0,82m²; já para os casos com elementos da grelha posicionados na vertical (1A e 1B) a área efetiva de abertura na fachada foi 0,61m²; e para a porta, essa mesma área foi de 1,45m², ou seja, a área de saída de ar é superior a de entrada. Segundo Chávez e Freixanet (1995), quanto maior for o tamanho da abertura de saída de ar, em comparação com a de entrada, maior será a velocidade adquirida, isso pode explicar o fato das velocidades serem maiores nos pontos posicionados na porta de saída de ar (P5 e P6).

Para o ponto P2 localizado no interior da maquete, na extremidade próximo da fachada, em praticamente todos os casos, com o aumento da velocidade, os menores valores são observados para o caso 1B e os maiores para o caso 2A. Ou seja, no ponto P2 a situação com melhor ventilação é observada para a configuração 2A, que corresponde à configuração de fachada do tipo “peitoril ventilado”, com elementos da grelha posicionados na horizontal.

Dentre os pontos medidos no interior da maquete, o posicionado no centro (P3) conduziu a valores de velocidade mais elevados para todos os casos analisados, seguido pelos pontos P2 e P4 em grande parte dos casos. Com o aumento da velocidade, novamente os menores valores são observados para o caso 1B e os maiores para o caso 2A.

Para o ponto P5 (ponto mais baixo de saída de ar) foram observadas menores velocidades para a configuração de fachada 1B e maiores para a 2A; já para o ponto exterior P6 (ponto mais alto de saída de ar) as menores velocidades foram observadas para a configuração 1B como nos casos anteriores. Porém as maiores velocidades foram observadas para a configuração de fachada 2B, que corresponde à fachada com aberturas inferiores e superiores com elementos da grelha posicionados na horizontal. Isso comprova a maior eficiência da composição da grelha do módulo de ventilação com elementos posicionados na horizontal, favorecendo desta forma a passagem do fluxo de ar.

A partir da análise dos dados sem ventilação cruzada, ou seja, com a porta existente na maquete fechada, foram observados praticamente os mesmos resultados para todas as configurações de fachada. As velocidades nos pontos internos P2, P3 e P4 variaram de 0,58 a 0,74m/s. As maiores velocidades foram observadas para o ponto central P3, seguido do ponto P2 (posicionado na extremidade perto fachada) e as menores velocidades para o ponto P4 que é afastado das aberturas de saída e entrada de ventilação (Figuras 5.109 a 5.112).

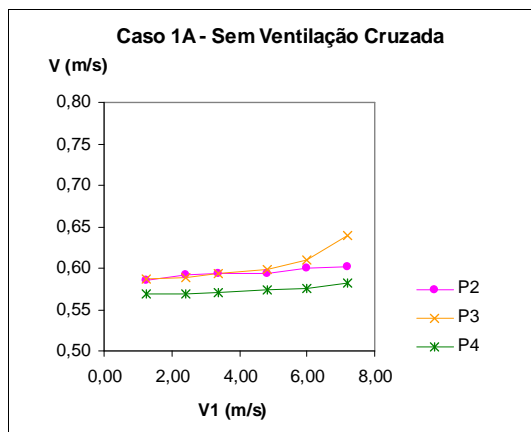


Figura 5.109 Caso 1A sem ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

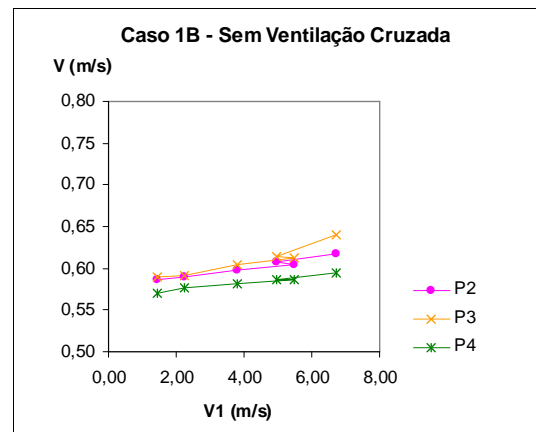


Figura 5.110 Caso 1B sem ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

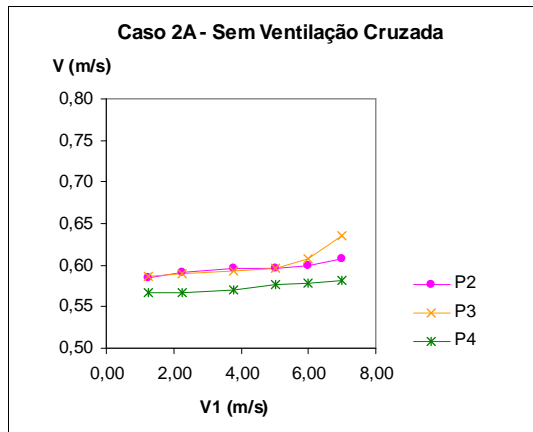


Figura 5.111 Caso 2A sem ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

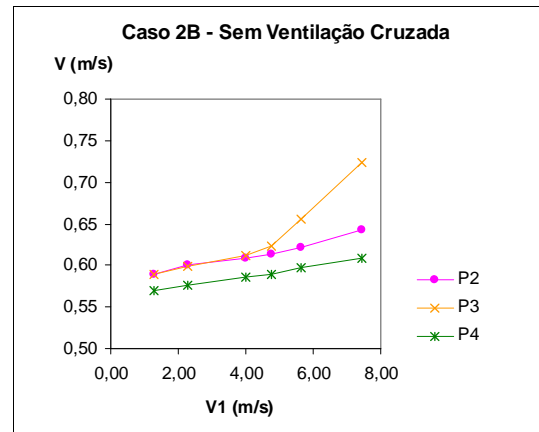


Figura 5.112 Caso 2B sem ventilação cruzada: Velocidades nos pontos internos e velocidade na fachada (V1).

Isso comprova que, para um ambiente que não possui ventilação cruzada não é possível obter uma ventilação natural satisfatória. Nesse caso, todas as fachadas (independente do tipo de grelha de ventilação e posicionamento dos módulos utilizados) conduziram a velocidades praticamente idênticas. Pode ser que com o uso de outros tipos de elementos na fachada, como um anteparo vertical, por exemplo, o fluxo de ar possa ser direcionado na entrada e as velocidades internas apresentem um pequeno aumento, porém, ainda assim a existência de ventilação cruzada seria o ideal.

As **Tabelas 5.24 a 5.27** apresentam os resultados da razão entre as velocidades medidas nos pontos interiores (V2, V3, V4) e exteriores (V5, V6) e a velocidade medida junto à fachada (V1), para cada caso analisado. Observa-se em todos os casos, maiores razões para o ponto central (V3/V1) e nos pontos de saída do vento (V5/V1 e V6/V1).

Tabela 5.24 Caso 01A: Com e sem ventilação cruzada – Razão entre Velocidades.

| Frequência (Hz) | Razão entre as Velocidades | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | V2/V1 | | V3/V1 | | V4/V1 | | V5/V1 | | V6/V1 | |
| | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F | 1A A | 1A F |
| 3 | 0,36 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,39 | 0,46 | 0,50 | - | 0,56 | - |
| 5 | 0,27 | 0,24 | 0,41 | 0,24 | 0,33 | 0,23 | 0,54 | - | 0,62 | - |
| 7 | 0,21 | 0,18 | 0,48 | 0,18 | 0,29 | 0,17 | 0,54 | - | 0,58 | - |
| 9 | 0,21 | 0,12 | 0,49 | 0,12 | 0,25 | 0,12 | 0,53 | - | 0,55 | - |
| 11 | 0,25 | 0,10 | 0,48 | 0,10 | 0,24 | 0,10 | 0,53 | - | 0,55 | - |
| 13 | 0,23 | 0,08 | 0,48 | 0,09 | 0,25 | 0,08 | 0,54 | - | 0,56 | - |

Caso 01A: Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na vertical;
1A A= Caso 01A com ventilação cruzada;
1A F= Caso 01A sem ventilação cruzada

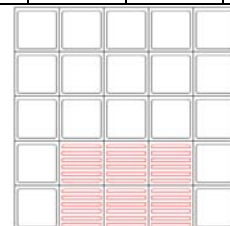




Tabela 5.25 Caso 01B Com e sem ventilação cruzada - Razão entre Velocidades.

| Frequência (Hz) | Razão entre as Velocidades | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | V2/V1 | | V3/V1 | | V4/V1 | | V5/V1 | | V6/V1 | |
| | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F | 1B A | 1B F |
| 3 | 0,43 | 0,41 | 0,50 | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,53 | - | 0,61 | - |
| 5 | 0,28 | 0,26 | 0,35 | 0,26 | 0,28 | 0,26 | 0,52 | - | 0,62 | - |
| 7 | 0,24 | 0,16 | 0,39 | 0,16 | 0,20 | 0,15 | 0,53 | - | 0,60 | - |
| 9 | 0,20 | 0,11 | 0,39 | 0,11 | 0,15 | 0,11 | 0,50 | - | 0,56 | - |
| 11 | 0,26 | 0,12 | 0,34 | 0,12 | 0,17 | 0,12 | 0,54 | - | 0,61 | - |
| 13 | 0,20 | 0,09 | 0,36 | 0,10 | 0,15 | 0,09 | 0,52 | - | 0,58 | - |

Caso 01B: Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior, com elementos da grelha posicionados na vertical;
 1B A= Caso 01A com ventilação cruzada;
 1B F= Caso 01B sem ventilação cruzada.

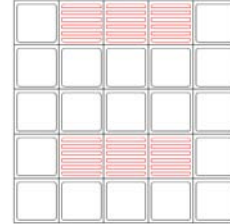
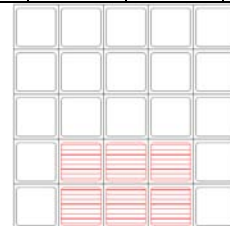


Tabela 5.26 Caso 02A Com e sem ventilação cruzada - Razão entre Velocidades.

| Frequência (Hz) | Razão entre as Velocidades | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | V2/V1 | | V3/V1 | | V4/V1 | | V5/V1 | | V6/V1 | |
| | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F | 2A A | 2A F |
| 3 | 0,65 | 0,47 | 0,60 | 0,47 | 0,48 | 0,46 | 0,76 | - | 0,78 | - |
| 5 | 0,48 | 0,26 | 0,52 | 0,26 | 0,30 | 0,25 | 0,77 | - | 0,76 | - |
| 7 | 0,36 | 0,16 | 0,53 | 0,16 | 0,29 | 0,15 | 0,72 | - | 0,72 | - |
| 9 | 0,26 | 0,12 | 0,52 | 0,12 | 0,31 | 0,11 | 0,67 | - | 0,67 | - |
| 11 | 0,26 | 0,10 | 0,54 | 0,10 | 0,30 | 0,10 | 0,67 | - | 0,68 | - |
| 13 | 0,25 | 0,09 | 0,53 | 0,09 | 0,31 | 0,08 | 0,68 | - | 0,69 | - |

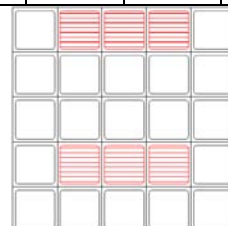
Caso 02A: Fachada com 6 módulos de ventilação (tipo peitoril ventilado) com elementos da grelha posicionados na horizontal;
 2A A= Caso 02A com ventilação cruzada;
 2A F= Caso 02A sem ventilação cruzada.



**Tabela 5.27** Caso 02B Com e sem ventilação cruzada - Razão entre Velocidades.

| Frequência (Hz) | Razão entre as Velocidades | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | V2/V1 | | V3/V1 | | V4/V1 | | V5/V1 | | V6/V1 | |
| | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F | 2B A | 2B F |
| 3 | 0,59 | 0,46 | 0,53 | 0,46 | 0,47 | 0,44 | 0,70 | - | 0,78 | - |
| 5 | 0,45 | 0,26 | 0,41 | 0,26 | 0,28 | 0,25 | 0,72 | - | 0,78 | - |
| 7 | 0,26 | 0,15 | 0,46 | 0,15 | 0,21 | 0,15 | 0,69 | - | 0,74 | - |
| 9 | 0,23 | 0,13 | 0,46 | 0,13 | 0,18 | 0,12 | 0,69 | - | 0,73 | - |
| 11 | 0,23 | 0,11 | 0,44 | 0,12 | 0,18 | 0,11 | 0,68 | - | 0,71 | - |
| 13 | 0,25 | 0,09 | 0,41 | 0,10 | 0,18 | 0,08 | 0,69 | - | 0,74 | - |

Caso 02B: Fachada com 3 módulos de ventilação posicionados na parte superior e inferior; com elementos da grelha posicionados na horizontal.
2B A= Caso 02B com ventilação Cruzada;
2B F= Caso 02B sem ventilação cruzada.



Para melhor análise dos dados foram elaborados também, gráficos que apresentam a razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade à 6m da fachada e altura de 1.55m (V_1) em função de V_1 , para os casos com ventilação cruzada (**Figuras 5.113 a 5.116**).

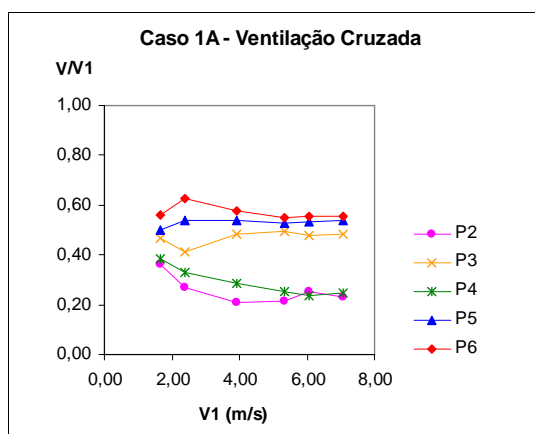


Figura 5.113 Caso 1A com ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade na fachada (V_1).

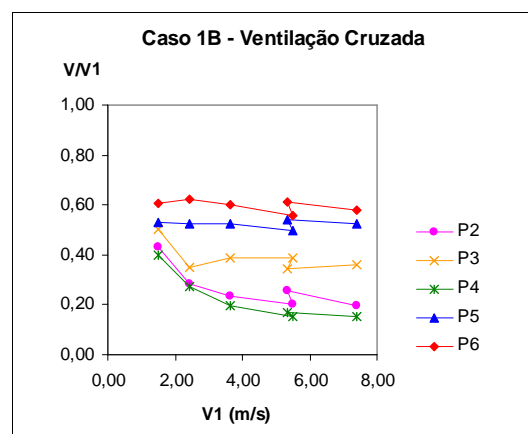


Figura 5.114 Caso 1B com ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade na fachada (V_1).

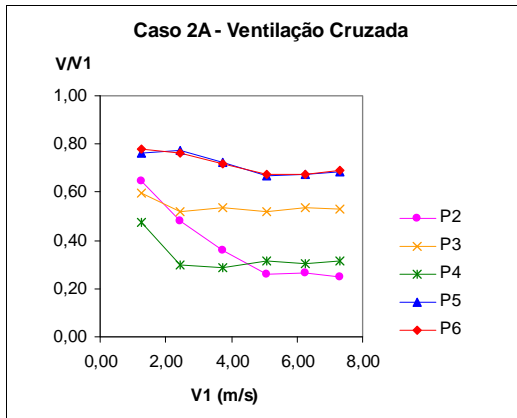


Figura 5.115 Caso 2A com ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade na fachada (V1).

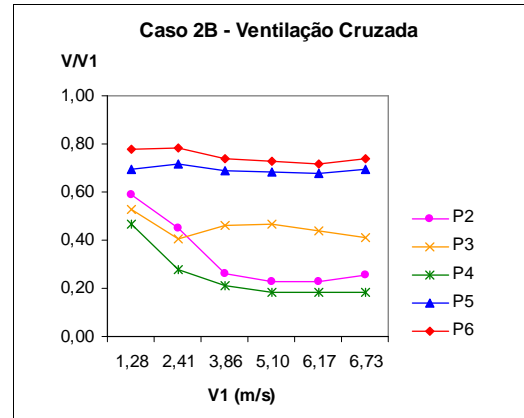


Figura 5.116 Caso 2B com ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade na fachada (V1).

De forma geral, com exceção do ponto central da maquete (P3), observa-se que o aumento da velocidade no ponto próximo da fachada (V1) provoca uma queda nos valores da razão. Isso provavelmente ocorre devido à interferência da maquete no escoamento, que aumenta a turbulência e provoca perda de energia. Isso faz com que o aumento da velocidade próximo da fachada não seja totalmente transformado em ganho de velocidade no interior da maquete.

Foram elaborados também gráficos que apresentam a razão entre as velocidades nos pontos internos e externos (V) e a velocidade a 6m da fachada e altura de 1.55m (V1) em função de V1 para os casos sem ventilação cruzada (**Figuras 5.117 a 5.120**).

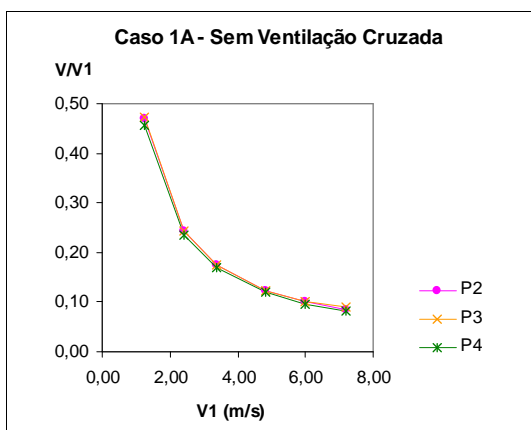


Figura 5.117 Caso 1A sem ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e a velocidade na fachada (V1).

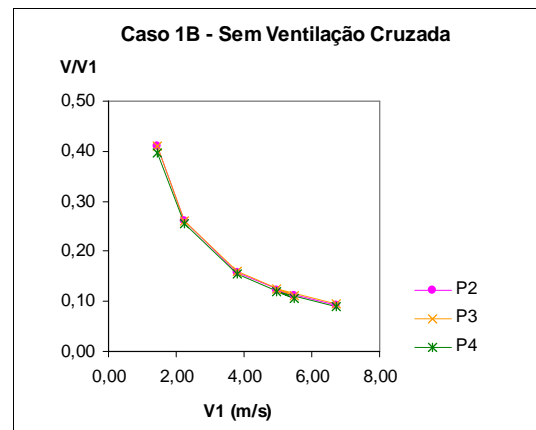


Figura 5.118 Caso 1B sem ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e a velocidade na fachada (V1).

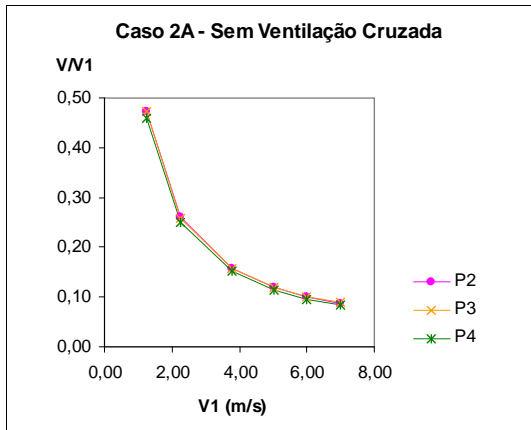


Figura 5.119 Caso 2A sem ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e a velocidade na fachada (V1).

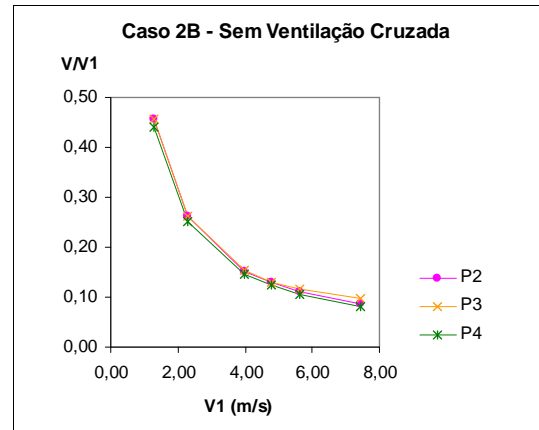


Figura 5.120 Caso 2B sem ventilação cruzada: Razão entre as velocidades nos pontos internos e a velocidade na fachada (V1).

Para os casos sem ventilação cruzada, observou-se que novamente o aumento da velocidade no ponto próximo da fachada (V1), provoca uma queda nos valores da razão entre velocidades. Praticamente, para os quatro casos, a velocidade nos pontos interiores são as mesmas. Isso novamente indica que para uma melhor circulação de ar são necessárias soluções que favoreçam a ventilação cruzada. Com a ausência de aberturas em paredes opostas ou adjacentes, a ventilação natural não é favorecida.

5.8.2 Taxa de Renovação de Ar por Hora

As **Figuras 5.121 a 5.125** abaixo, apresentam os gráficos da taxa de renovação de ar por hora em função da velocidade média na abertura de saída de ar.

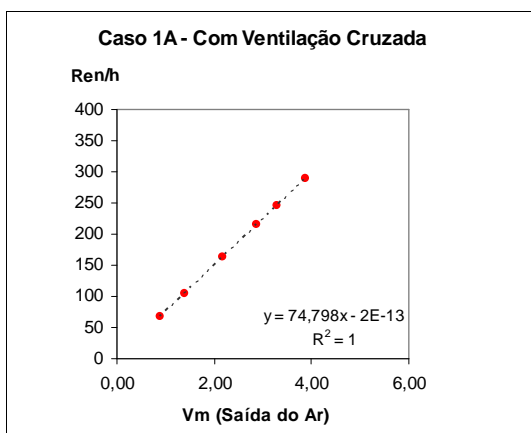


Figura 5.121 Caso 1A com ventilação cruzada: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar.

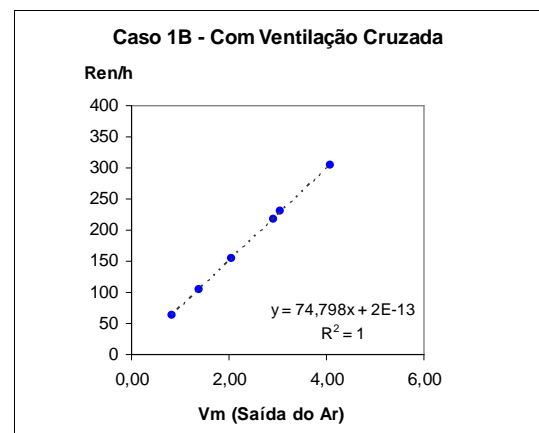


Figura 5.122 Caso 1B com ventilação cruzada: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar.

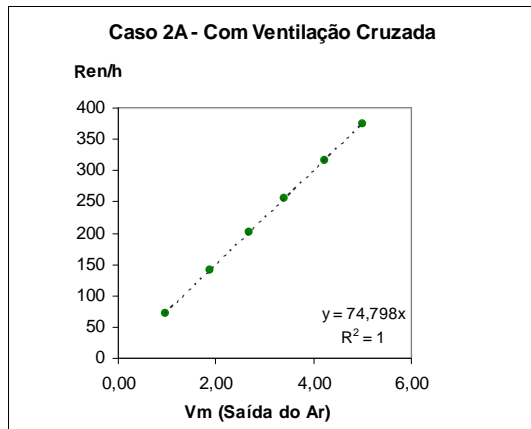


Figura 5.123 Caso 2A com ventilação cruzada: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar.

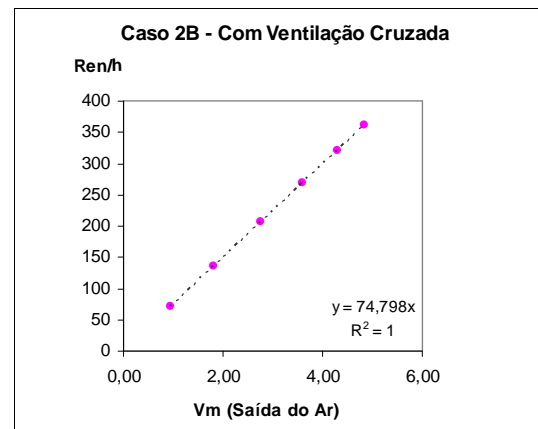


Figura 5.124 Caso 2B com ventilação cruzada: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar.

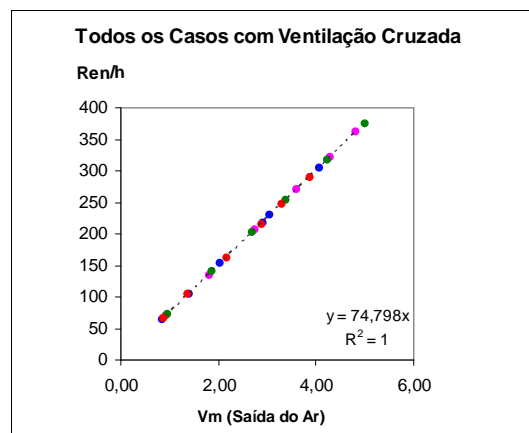


Figura 5.125 Todos os casos com ventilação cruzada: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar.

Por meio dos gráficos apresentados anteriormente, observa-se que a taxa de renovação do ar atinge valores elevados, no caso da simulação em túnel de vento. Os valores de velocidade utilizados (1 até 6m/s) também são considerados elevados quando se trata de ventilação de ambientes internos. Mesmo a velocidade mais baixa ensaiada, que foi em torno de 1m/s, é relativamente elevada quando se trata de conforto térmico.

O fato dos valores numéricos apresentados serem elevados e fora do real explica-se devido às velocidades necessárias para realização dos ensaios em túnel de vento serem bem superiores ao normal. Salieta-se que a principal finalidade dos ensaios em túnel de vento não é reproduzir fielmente valores numéricos reais, bem como tal representação é praticamente impossível, pois existem limitações. A colocação, por exemplo, de anteparos



(telas, pequenas grelhas) anteriores à maquete poderiam diminuir as velocidades na entrada de ar, porém fenômenos importantes ligados às condições de ventilação que ocorrem durante os ensaios poderiam ser encobertos.

O ideal neste caso é a percepção do fenômeno e o estabelecimento de relações entre as velocidades de entrada e de saída de ar e não se ater a valores numéricos, bem como estabelecer também uma relação entre tais velocidades e a taxa de renovações por hora. Sendo assim, deve-se dar uma maior ênfase na equação que rege tais dados, pois através dela podem ser obtidos valores recomendados da taxa de renovação por hora para determinada velocidade de saída do ar, neste caso específico.

Observa-se pela **Figura 5.125**, apresentada anteriormente que para praticamente todos os ensaios a equação que representa a taxa de renovação/hora em relação à velocidade média é dada pela equação:

$$Tx = 74.80 Vm$$

Onde: Tx é a taxa de renovações por hora (ren/h) e Vm é a velocidade média medida para os pontos P5 e P6 (m/s). Portanto, para determinar nesse caso para este tipo de solução qual velocidade corresponde a taxa de renovação de 0,6, determinada pela normalização Portuguesa, tem-se pela equação que será a uma velocidade de 0,008m/s de saída de ar, ou seja, com uma velocidade quase impercetível seria possível chegar à taxa de 0,6 ren/h, para os casos analisados em túnel de vento.

Abaixo, como informação adicional são apresentados valores de taxa de renovação por hora baseados na norma NP 1037 (2001) (**Tabela 5.28**). Tais valores são indicados para aplicação prática, proporcionando a obtenção de resultados satisfatórios em termos de ventilação segundo informações de empresa especializada (LVLG, 2011).

Tabela 5.28 Taxa de Renovações por hora recomendados para ambientes de habitações unifamiliares.

| Ambiente | Taxa de Ren/hora |
|----------------|------------------|
| Casas de banho | 5 - 8 |
| Cozinhas | 10 - 15 |
| Garagens | 4 - 6 |
| Quartos | 1 - 3 |
| Salas | 3 - 6 |

Fonte: LVLG (2011).

Segundo o RCCTE (2006) um espaço fortemente ventilado é um local que dispõe de aberturas que permitem a renovação do ar com uma taxa média de pelo menos 6 renovações por hora; espaço fracamente ventilado é um local que dispõe de aberturas que permitem uma renovação do ar com uma taxa média entre 0,5 e 6 renovações por hora; e



espaço não ventilado é um local que não dispõe de aberturas permanentes e em que a renovação do ar tem uma taxa média inferior a 0,5 renovações por hora (**Tabela 5.29**).

Tabela 5.29 Espaço ventilado de acordo com a taxa de renovações por hora

| Espaço Ventilado | Taxa Média de Ren/hora |
|-----------------------------|------------------------|
| Espaço fortemente ventilado | 6 |
| Espaço fracamente ventilado | 0,5 - 6 |
| Espaço não ventilado | Inferior a 0,5 |

Fonte: RCCTE (2006).

Com base nas informações apresentadas anteriormente de valores recomendados para a taxa de renovação por hora diferente de 0,6 que são recomendadas, elaborou-se o gráfico abaixo (**Figura 5.126**) com um intervalo desses valores adaptados à realidade, em função da velocidade média de saída do ar. Como exemplo, pode-se observar que para uma taxa de 10ren/h tem-se uma velocidade em torno de 0,13m/s que é próximo do que ocorre na realidade. A finalidade deste gráfico é apresentar a importância em destacar as relações entre velocidades de saída do ar (no caso analisado) e a taxa de renovação ao invés de analisar os valores numéricos.

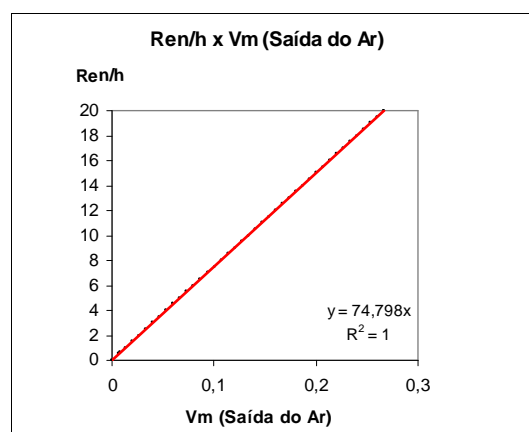


Figura 5.126 Gráfico: Taxa de renovação por hora em função da velocidade média de saída do ar para um intervalo de taxas de renovação usual.



5.8.3 Análise Geral dos Resultados dos Ensaios em Túnel de Vento

Na **Tabela 5.30** é apresentada uma síntese dos valores das razões médias para os pontos medidos (calculada com base na velocidade para todas as frequências medidas), e a partir dessa média calcula-se uma nova razão média⁷⁰, que vai indicar a melhor solução em termos de ventilação natural. Os maiores valores das razões médias encontram-se em negrito.

Tabela 5.30 Razões Médias para os Pontos Medidos em Todos os Casos.

| Casos Analisados | Razões Médias para Pontos Medidos | | | | | Razão Média por Caso | % em Relação ao Menor Valor |
|------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-----------------------------|
| | V2/V1 | V3/V1 | V4/V1 | V5/V1 | V6/V1 | V/V1 Média | |
| Caso 1A A | 0,26 | 0,47 | 0,29 | 0,53 | 0,57 | 0,42 | 122,84 |
| Caso 1A F | 0,20 | 0,20 | 0,19 | - | - | 0,20 | - |
| Caso 1B A | 0,27 | 0,39 | 0,22 | 0,52 | 0,60 | 0,40 | 110,52 |
| Caso 1B F | 0,19 | 0,19 | 0,19 | - | - | 0,19 | - |
| Caso 2A A | 0,38 | 0,54 | 0,33 | 0,71 | 0,72 | 0,54 | 181,97 |
| Caso 2A F | 0,20 | 0,20 | 0,19 | - | - | 0,20 | - |
| Caso 2B A | 0,34 | 0,45 | 0,25 | 0,69 | 0,75 | 0,50 | 160,93 |
| Caso 2B F | 0,20 | 0,20 | 0,19 | - | - | 0,20 | - |

Ao fazer uma classificação das melhores soluções de ventilação natural (**Tabela 5.31**), tendo por base os casos com ventilação cruzada, observa-se que a melhor solução é a configuração 2A, que corresponde à configuração de fachada do tipo “peitoril ventilado” com elementos da grelha posicionados na horizontal. Em segundo lugar, está o caso 2B que corresponde à configuração de fachada com módulos superiores e inferiores e elementos da grelha posicionados na horizontal. Isso comprova a grande importância dos elementos da grelha nos resultados, sendo que com as menores espessuras de tais elementos e o posicionamento na horizontal foram obtidas melhores condições de ventilação natural, pois estes proporcionam um aumento da área efetiva de ventilação, além de favorecerem o escoamento.

Tabela 5.31 Classificação das melhores soluções de ventilação natural dentre os casos analisados.

| Casos Analisados | Razão Média por Caso | Ordem das Soluções |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| | V/V1 Média | 1º. Melhor → 4º. Pior |
| Caso 1A A | 0,42 | 3ª. |
| Caso 1B A | 0,40 | 4ª. |
| Caso 2A A | 0,54 | 1ª. |
| Caso 2B A | 0,50 | 2ª. |

⁷⁰ Essa nova razão média corresponde à razão média por caso analisado.

O trabalho de investigação na área de ventilação de Sobin (1981) conduziu a um estudo sobre a influência de três formas de aberturas: horizontal, quadrada e vertical no movimento de ar interior dos ambientes. Deste estudo foi concluído que para uma mesma área de abertura, entradas de ar horizontais apresentam maior rendimento médio para todos os ângulos de incidência do vento. Isso também foi observado no presente trabalho de investigação, pois o uso nos módulos de grelhas posicionadas na horizontal fez com que as pequenas entradas de ar fossem predominantemente horizontais e apresentassem melhor rendimento em termos de ventilação natural.

Em termos gerais, observou-se que a ventilação cruzada fornece velocidades interiores mais elevadas e um melhor padrão de distribuição global do ar no interior. Para os casos com aberturas somente em uma das fachadas, a ventilação é fraca, praticamente a mesma independente do tipo de solução, sendo que provavelmente a velocidade média do vento interno não irá mudar significativamente com o aumento do tamanho da abertura de entrada de ar.

Com base nos resultados obtidos pelos ensaios em túnel de vento observou-se que a melhor configuração de fachada em termos de ventilação natural foi a **2A**, que corresponde ao uso de “peitoril ventilado”, com elementos da grelha posicionados na horizontal. Em segundo lugar, esteve o caso 2B que corresponde à configuração de fachada com módulos superiores e inferiores e elementos da grelha posicionados também na horizontal (**Figura 5.127**).

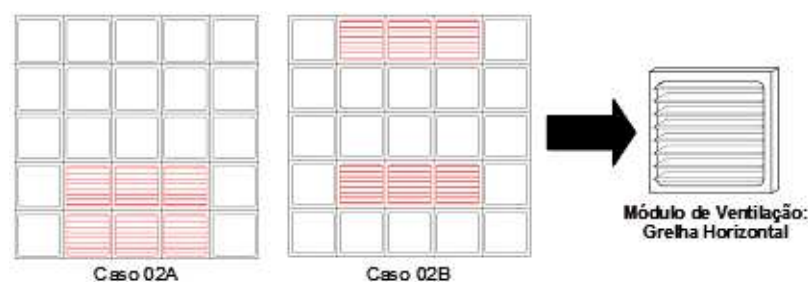


Figura 5.127 Caso 02A e 02B: Melhores Soluções em Termos de Ventilação Natural

Isso comprova que nesse caso os elementos da grelha tiveram maior influência nos resultados do que o posicionamento dos módulos na fachada, sendo que com as menores espessuras de tais elementos e o posicionamento na horizontal foram obtidas melhores condições de ventilação natural, pois estes proporcionam um aumento da área efetiva de ventilação, além de favorecerem o escoamento.

Casos como **02B** poderiam ser mais favoráveis à ventilação natural se a distância vertical entre os dois conjuntos de módulos fosse mais elevada. Essa distância entre as



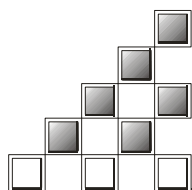
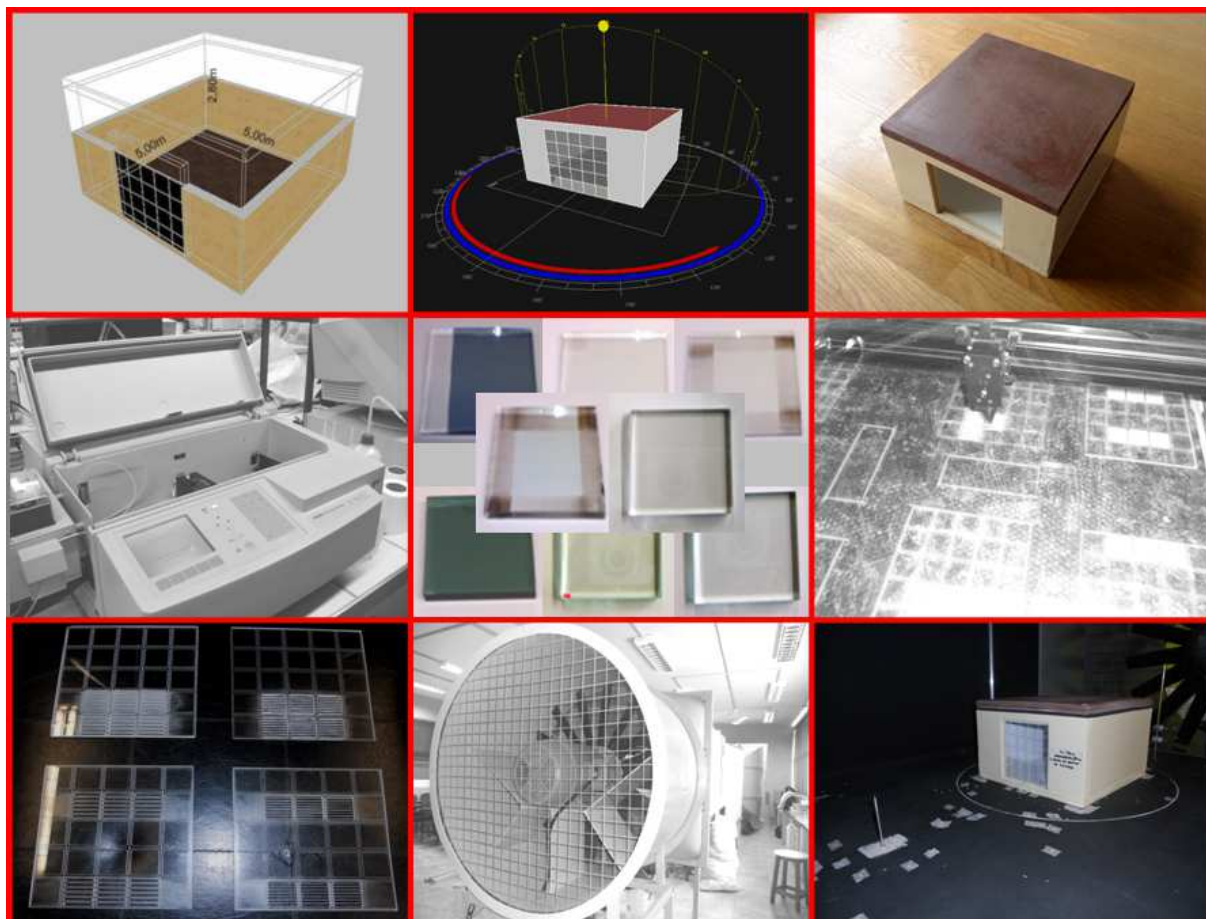
aberturas de entrada e saídas de ar é um importante fator que determina a existência do movimento de ar por diferença de temperatura. Uma maior altura entre as aberturas é satisfatória para que ocorra um gradiente de temperatura e conseqüentemente a ventilação por efeito chaminé. Com base nos resultados dos ensaios em túnel de vento comprova-se também que, além do estudo do tipo de grelha de ventilação e do posicionamento dos módulos em relação a fachada, sem a existência de ventilação cruzada não é possível obter uma ventilação natural satisfatória.

O presente capítulo apresentou parte dos resultados necessários para o desenvolvimento do sistema de fachadas proposto. Foram apresentados os resultados das simulações computacionais de desempenho térmico, lumínico e de geração energética do módulo fotovoltaico. Na parte referente à caracterização dos componentes foram discutidos os resultados dos ensaios espectrofotométricos dos mesmos tipos de vidros utilizados nas simulações computacionais e dos ensaios em túnel de vento, realizados para o módulo de ventilação.

Estes resultados foram fundamentais para a escolha dos tipos de soluções passivas de aquecimento e arrefecimento a serem inseridas no sistema de fachadas modular e para a escolha final dos materiais a empregar nos módulos. Os resultados experimentais serviram de base para validar parte das simulações executadas. A partir dessa fase, será apresentada no próximo capítulo a proposta final deste trabalho de investigação, através da definição de todos os componentes do sistema, considerando desde a etapa inicial de conceção. Será apresentada também a pormenorização do sistema de fachadas e o estudo do seu potencial de aplicação com base nos resultados de uma análise económica simplificada.

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro”.

Fernando Sabino



CAPÍTULO 6. Pormenorização e Potencial de Aplicação do Sistema Modular de Fachadas



No presente capítulo serão apresentados os elementos do sistema de fachadas desde a proposta inicial de conceção até à versão final de cada módulo, bem como a justificativa para a opção por um sistema de pequenos módulos. Serão apresentados também todos os componentes do sistema de fachadas modular proposto e seus pormenores, sendo eles: grelha estrutural para montagem do sistema; módulo padrão (fixo e móvel-projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”. Ao final dos estudos de desempenho foi elaborada uma síntese para cada clima estudado, com as recomendações em termos de envidraçados e soluções passivas de aquecimento e arrefecimento, tendo por base o período de duração do inverno.

Apresenta-se também uma análise económica simplificada dos componentes do sistema de fachadas modular, executada através do sistema “Gerador de preços para construção civil” da CYPE Ingenieros, S.A. (CYPE, 2011) disponível on-line. O período de retorno de investimento das soluções foi determinado tendo por base as soluções de melhor desempenho em termos de diminuição do consumo energético para aquecimento e arrefecimento.

Numa última secção serão apresentadas informações referentes à construção e reabilitação de edifícios em Portugal, de forma a fornecer um panorama da atual situação do país, na qual a reabilitação de edifícios assume um papel cada vez mais importante na atividade de construção, indicando assim a viabilidade da utilização de um sistema de fachadas como o proposto neste trabalho de investigação que possa atender essa área.



6.1 Sistema Modular de Fachadas

Existem alguns fatores que justificam a opção de propor que o sistema de fachada desenvolvido neste trabalho de investigação fosse modular, composto por pequenos elementos. A seguir são apresentadas algumas definições, um histórico sobre a utilização de módulos e argumentos que justificam tal opção.

A palavra “módulo” tem origem no latim *modulu* e significa uma medida reguladora das proporções de uma obra arquitetónica; ou quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. Historicamente, o uso de um módulo aparece na arquitetura em uma interpretação clássica dos gregos, sob um caráter estético; dos romanos, sob um caráter estético-funcional; e dos japoneses, sob um caráter funcional (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Considera-se como primeira aplicação da coordenação modular o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres. Neste caso, o elemento condicionador da escolha do módulo foi o vidro, aplicado em grandes placas, cuja medida máxima de fabricação era de 8 pés (cerca de 240 cm) (**Figura 6.1**) (GREVEN; BALDAUF, 2007). Outro exemplo foi o uso da coordenação modular pelo arquiteto Le Corbusier que passa a estudar, a partir de 1942, um sistema de proporcionalidade que adequasse as medidas antropomórficas aquelas necessárias à produção industrial. Para atingir tal objetivo, Le Corbusier fundamentou “*Le Modulor*”, publicado em 1948, na matemática, utilizando as dimensões estéticas da secção áurea⁷¹ e da série de Fibonacci⁷²; e nas proporções do corpo humano, através das dimensões funcionais (**Figura 6.2**) (CHING, 1998).

⁷¹ A secção áurea, observada e estudada pela escola grega de Pitágoras, algebricamente se expressa segundo a equação $a/b = b/a+b$. O valor numérico dessa razão é \varnothing : 1,618..., chamado número de ouro. Ele aparece em muitas relações do corpo humano, como a razão entre a altura de uma pessoa e a distância do umbigo aos pés, por exemplo, e foi amplamente utilizado na arquitetura (GREVEN; BALDAUF, 2007).

⁷² Leonardo Fibonacci, matemático italiano, escreveu, em 1202, *Liber Abacci*, no qual estuda o então denominado “problema dos pares de coelhos”, para saber quantos coelhos poderiam ser gerados de um par de coelhos em um ano. Esse estudo chegou a uma sequência numérica chamada série de Fibonacci: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ..., em que, somando-se o 1º com o 2º números, obtém-se o 3º; somando-se o 2º com o 3º, obtém-se o 4º, e assim por diante (GREVEN; BALDAUF, 2007).



Figura 6.1 Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851.
Fonte: GREVEN; BALDAUF, 2007

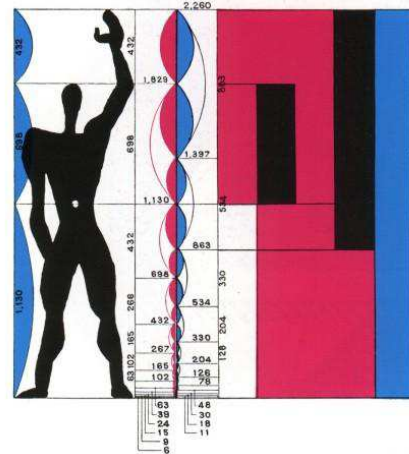


Figura 6.2 *Le Modulor*, publicado em 1948, utilizando as dimensões estéticas da seção áurea e da série de Fibonacci.
Fonte: GREVEN; BALDAUF, 2007

Porquê a proposta de um sistema de fachadas composto por pequenos módulos e não grandes painéis? A coordenação modular adotada para o desenvolvimento desse sistema de fachadas é “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes” (MASCARÓ, 1976).

As vantagens de utilização da coordenação modular são: a racionalização da construção; a padronização dimensional; a produção de componentes seriada (e não sob medida); a intercambialidade entre elementos; a simplificação do projeto (os pormenores construtivos mais comuns já são solucionados); a construtividade (forma simplificada, facilitar a etapa de execução); a facilidade de montagem (utilização de componentes padronizados e intercambiáveis) e a redução do desperdício. As **Figuras 6.3** e **6.4** apresentam uma síntese da proposta do sistema de fachadas.

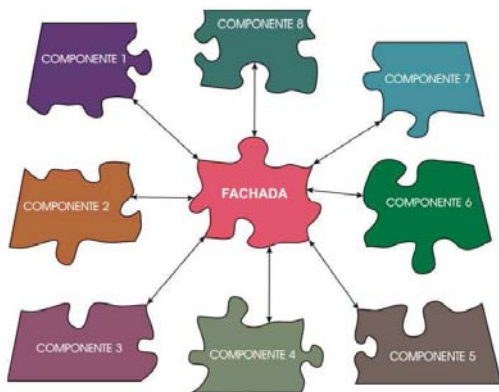


Figura 6.3 Esquema: Possibilidades de montagem de acordo com as necessidades.



Figura 6.4 Esquema: Fachada Montada.



A seguir é apresentada uma descrição do sistema de fachadas desenvolvido, desde a proposta inicial de conceção até a versão final desenvolvida.

6.2 Definição do Sistema Modular de Fachadas

Neste trabalho de investigação foi desenvolvido um sistema de fachadas modular, cujos elementos principais são envidraçados de elevado desempenho. Além disso, o sistema é composto pelos seguintes componentes: grelha estrutural para montagem dos módulos; módulo padrão (fixo e móvel - projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”.

Os módulos solares passivos propostos foram ao nível de sistemas de ganho direto, através dos envidraçados, e indireto através da utilização de sistemas como a parede de Trombe e ganho isolado através do módulo estufa. Nesta fase, considerou-se a componente térmica como a mais importante deste estudo, por se entender que nesta vertente se encontrava grande parte do potencial para atingir uma maior eficiência energética.

O sistema é composto pelos seguintes componentes: grelha estrutural para montagem dos módulos; módulo padrão (fixo e móvel - projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”.

Nesta fase foram determinadas as características em termos de forma inicial do sistema de fachada e avaliadas as potencialidades da integração das soluções solares passivas. Uma vez definidas como seriam os componentes a integrar o sistema procedeu-se a um estudo de otimização destas e testou-se o seu funcionamento em termos de economia de energia, com base na ferramenta de simulação *DesignBuilder*. As **Figuras 6.5 a 6.16** apresentam algumas propostas sobre o esboço inicial do sistema modular de fachada, além de um exemplo de configuração do sistema:

- Módulo Padrão Fixo e Móvel (Projetante) (**Figuras 6.5 e 6.6**);
- Módulos de proteção solar (**Figuras 6.7 a 6.9**);
- Módulo de Ventilação (**Figura 6.10**);
- Módulo Parede de Trombe (**Figura 6.11**);
- Módulo Estufa (**Figura 6.12**);
- Módulo Fotovoltaico “Girassol” (**Figuras 6.13 a 6.15**);

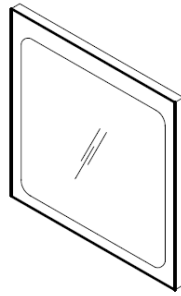


Figura 6.5 Módulo padrão inicial.



Figura 6.6 Módulo padrão múltiplo inicial.



Figura 6.7 Dispositivo de proteção solar vertical e sua instalação no módulo padrão.

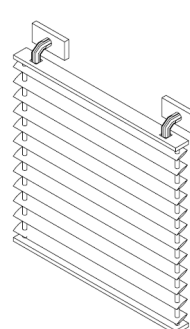
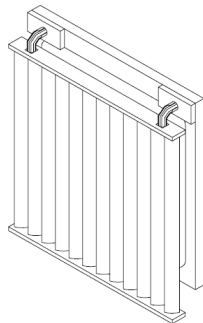


Figura 6.8 Dispositivo de proteção solar horizontal e sua instalação no módulo padrão.

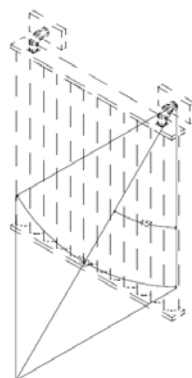
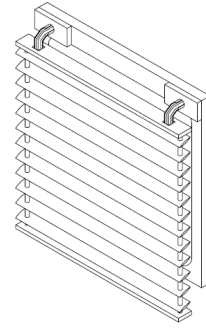


Figura 6.9 Dispositivo de proteção solar: proposta de variação da angulação.

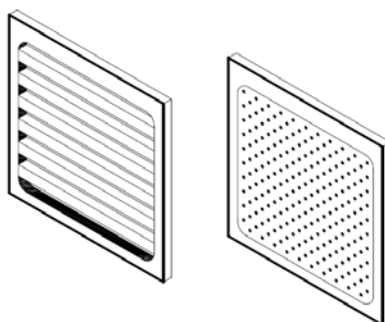


Figura 6.10 Módulo de ventilação inicial.

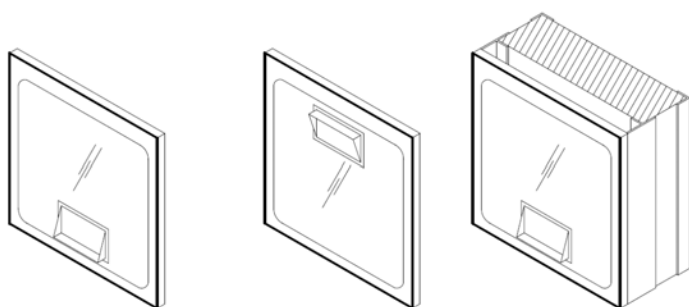


Figura 6.11 Módulo parede de Trombe inicial.

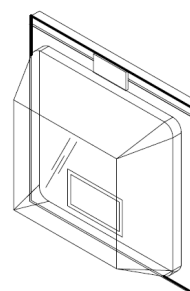


Figura 6.12 Módulo estufa inicial.

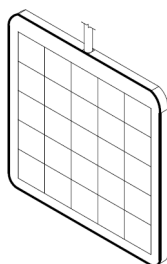


Figura 6.13 Módulo fotovoltaico inicial.



Figura 6.14 Módulo fotovoltaico-Proposta para a peça de ligação.

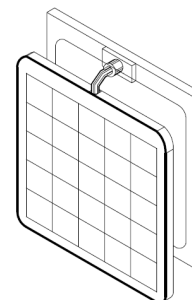


Figura 6.15 Módulo fotovoltaico acoplado sobre módulo padrão.

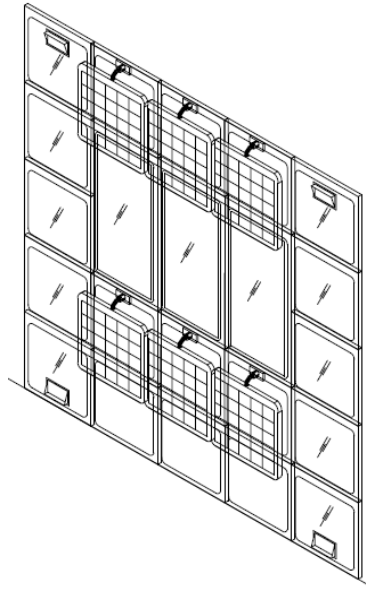


Figura 6.16 Proposta inicial do sistema, com uso dos módulos padrão envidraçado, módulo parede de Trombe e módulo fotovoltaico.

A seguir é apresentada resumidamente a versão final dos componentes do sistema. A grelha estrutural na qual o sistema é montado está baseada em grelhas normalmente utilizadas para fachadas cortina.

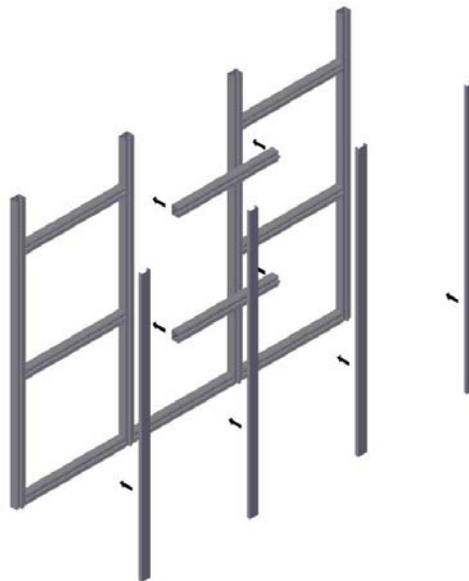
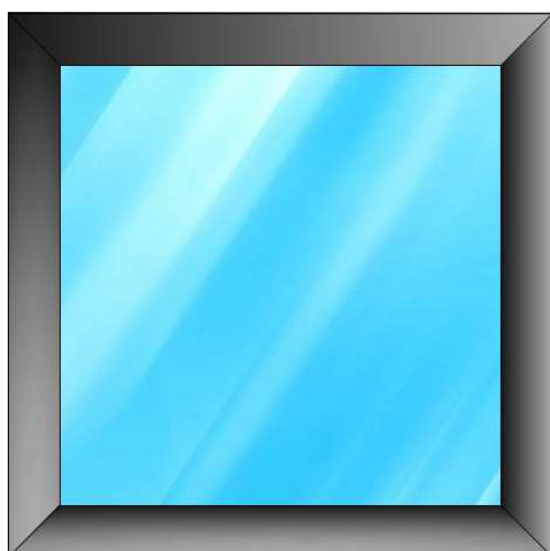
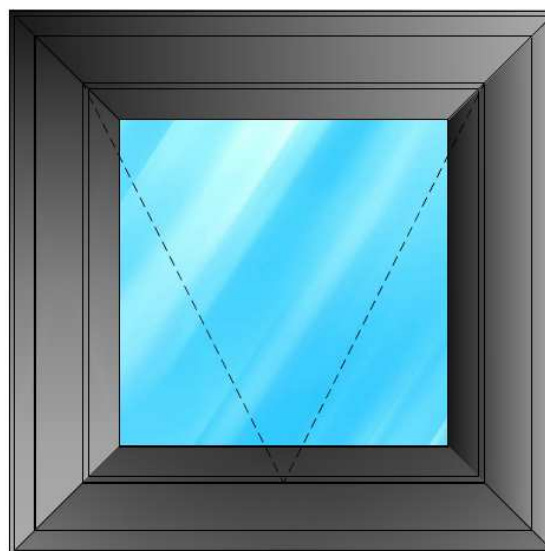


Figura 6.17 Grelha Estrutural.

O módulo padrão proposto para o sistema de fachadas é composto por perfis de alumínio e envidraçado duplo. Possui duas variações de envidraçado duplo, destinadas a invernos menos e mais rigorosos; e duas variações de tipo de abertura podendo ser fixo ou móvel (projetante) (**Figuras 6.18 e 6.19**).



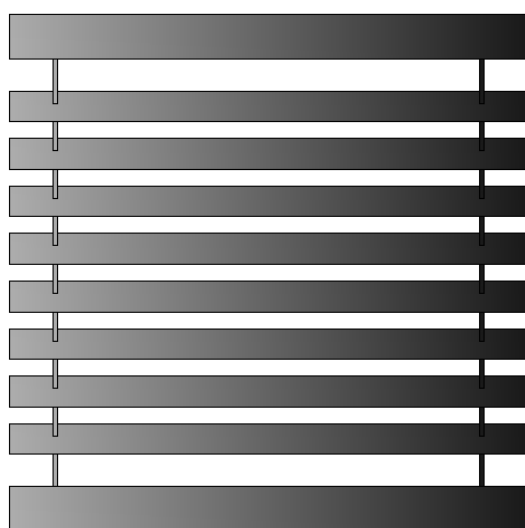
Vista Frontal: Módulo Padrão Fixo

**Figura 6.18** Módulo Padrão Fixo.

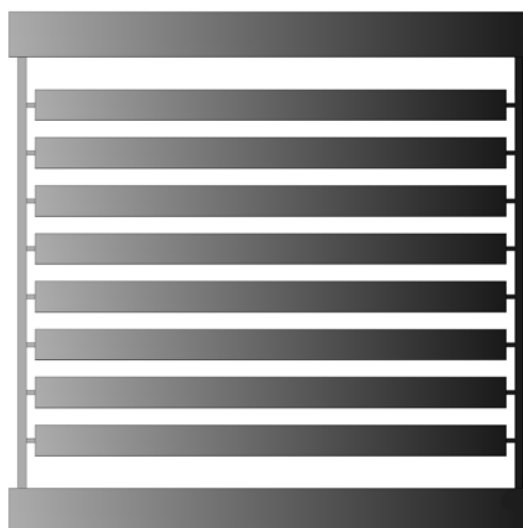
Vista Frontal: Módulo Padrão Projectante

**Figura 6.19** Módulo Padrão Projectante.

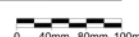
Para o módulo de proteção solar, a proposta inicial foi desenvolver um dispositivo de proteção solar ajustável, que possa ser acoplado na parte superior dos módulos envidraçados, composto por um conjunto de estores venezianos horizontais em perfis de alumínio. Esses dispositivos possuem um ajuste de inclinação de 0° , 45° e 90° (a inclinação é do dispositivo e não das lâminas de alumínio) em relação ao plano do módulo de fachada, aumentando assim a eficiência da proteção solar. Estes dispositivos foram estudados na fase de otimização do sistema, a partir dos resultados obtidos das fachadas com melhor desempenho térmico por orientação solar e clima (**Figuras 6.20 e 6.21**).



Vista Frontal Opção 01: Dispositivo de Protecção Solar Fixo

**Figura 6.20** Módulo de Proteção Solar Opção 01.

Vista Frontal Opção 02: Dispositivo de Protecção Solar Móvel

**Figura 6.21** Módulo de Proteção Solar Opção 02.



O módulo de ventilação é composto de perfis de alumínio e uma grelha também em alumínio, determinada com base em ensaios de protótipos em túnel de vento, a princípio também composta por alumínio (**Figura 6.22**)

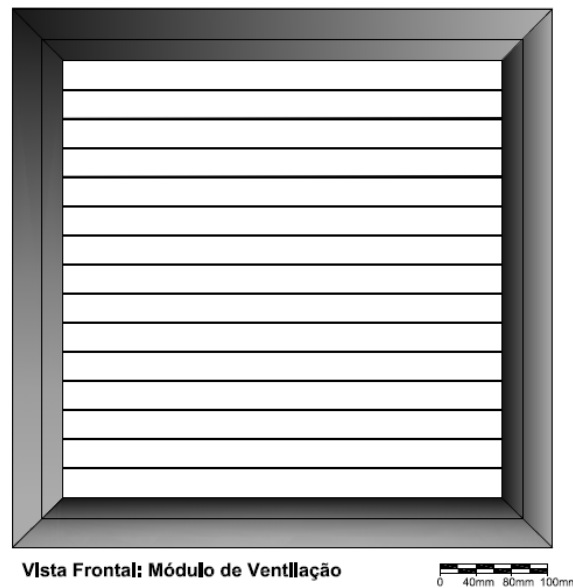


Figura 6.22 Módulo de Ventilação.

O módulo parede de Trombe possui o mesmo tipo de perfis de alumínio que o módulo padrão fixo. O que o que difere do módulo padrão fixo é o uso de um envidraçado duplo com coeficiente de sombreamento superior, o que significa que tal envidraçado permite o máximo de penetração de radiação solar⁷³.

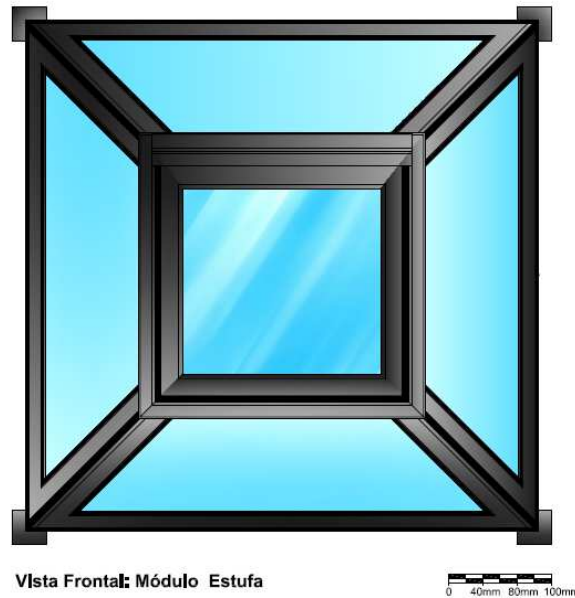
⁷³ O coeficiente de sombreamento é relação entre o ganho de calor solar através de um determinado vidro, sob condições ambientais específicas, e o ganho de calor solar através do vidro de referência nas mesmas condições. O vidro de referência para as normas americanas (ASHRAE) é o DSA (*double strenght sheet glass*), vidro estirado incolor de 1/8" e resistência mecânica duas vezes maior do que o vidro comum. ($h_e=22,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $h_i=8,3\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). As características óticas do DSA são: transmissividade direta de 0,86; refletividade de 0,08 e absorvidade de 0,06. O coeficiente de sombreamento pode ser definido também como $CS = (\text{transmissividade total do vidro}) / (\text{transmissividade total do DSA} = 0,87)$ (BANCO DE DADOS DE VIDROS, 2010).



Figura 6.23 Módulo Parede de Trombe.

Devido à dificuldade de acesso às aberturas de ventilação, caso fossem propostas no módulo envidraçado e a possibilidade de rutura do vidro ao fazer uma abertura, optou-se por determinar que tais aberturas inferiores e superiores da parede de Trombe fossem posicionadas na parede acumuladora de betão considerada no sistema. Esses pormenores serão apresentados posteriormente e incluem um suporte para construção da parede acumuladora.

Para o módulo estufa, igualmente aos anteriores, foram utilizados perfis de alumínio, porém mais leves e um envidraçado simples, com coeficiente de sombreamento elevado. Os perfis leves foram propostos especificamente para os módulos de estufa e as mesmas diretrizes de funcionamento indicadas para o módulo parede de Trombe serão utilizadas no módulo estufa (**Figura 6.24**).



Vista Frontal: Módulo Estufa

Figura 6.24 Módulo Estufa.

O módulo fotovoltaico “girassol” foi desenvolvido de forma a otimizar os ganhos solares e ser viável sua instalação em diferentes orientações solares, buscando a radiação solar. Por meio dessa mobilidade, o módulo possibilita a movimentação, tanto em torno de um eixo vertical quanto horizontal. Em termos de tecnologia fotovoltaica, foram estudados vários tipos de células por meio de simulação computacional e seu desempenho na microgeração energética, de forma a sugerir as tecnologias mais vantajosas (**Figura 6.25**).



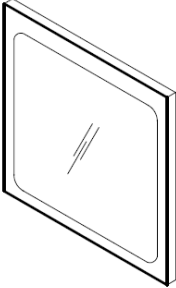
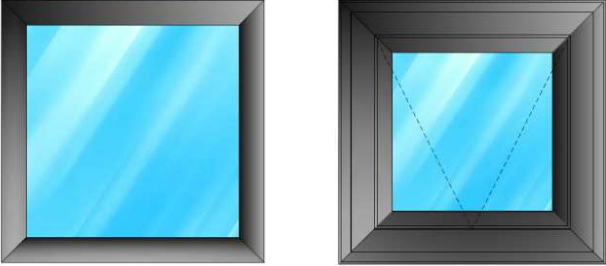
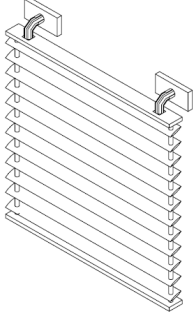
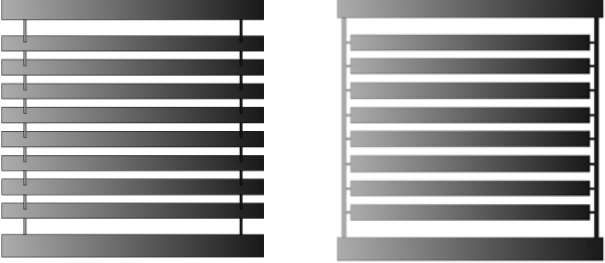
Vista Frontal: Módulo Fotovoltaico

Figura 6.25 Módulo Fotovoltaico.



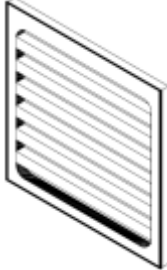
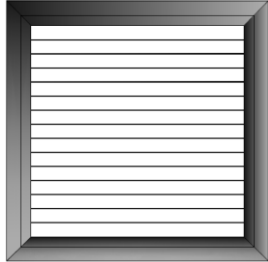


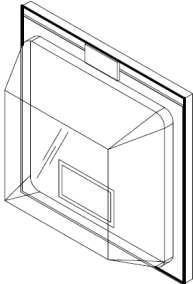

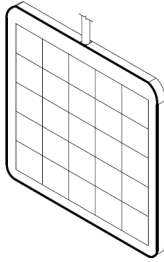

O **Quadro 6.1** apresenta a proposta inicial de conceção dos módulos e a versão final. Maiores pormenores sobre os componentes serão apresentados na próxima secção “6.3 Pormenorização do Sistema Modular de Fachadas”.

Quadro 6.1a Solução inicial e final dos módulos componentes do sistema de fachada.

| Solução Inicial | Solução Final |
|--|--|
|  <p data-bbox="295 826 539 857">Módulo padrão inicial.</p> |  <p data-bbox="820 826 1187 857">Módulo padrão fixo e móvel final.</p> |
|  <p data-bbox="225 1200 612 1256">Dispositivo de proteção solar horizontal</p> |  <p data-bbox="639 1200 1374 1256">Dispositivo de proteção solar horizontal, opções finais: fixo e móvel.</p> |



Quadro 6.1b Solução inicial e final dos módulos componentes do sistema de fachada.

| Solução Inicial | Solução Final |
|---|--|
|  <p>Módulo de ventilação inicial.</p> |  <p>Módulo de ventilação final.</p> |
|  <p>Módulo parede de Trombe inicial.</p> |  <p>Módulo parede de Trombe Final.</p> |
|  <p>Módulo estufa inicial.</p> |  <p>Módulo estufa final.</p> |
|  <p>Módulo fotovoltaico inicial.</p> |  <p>Módulo fotovoltaico final.</p> |



6.3 Pormenorização do Sistema Modular de Fachadas

Nesta secção serão apresentados todos os componentes do sistema de fachadas modular proposto e seus pormenores. A pormenorização do sistema incluiu o projeto do sistema; a integração arquitetónica a definição das condições de montagem. Serão detalhados a seguir os seguintes elementos que compõem o sistema de fachadas, sendo eles: grelha estrutural para montagem do sistema; módulo padrão (fixo e móvel-projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”. Todos os pormenores dos módulos e demais elementos foram elaborados por meio do software AutoCad 2010 2D e 3D e algumas imagens receberam tratamento no software gráfico Corel Draw X4. As dimensões indicadas nas imagens serão apresentadas em milímetros, quando for o caso, além de conter escalas gráficas.

6.3.1 Grelha Estrutural

A grelha sobre a qual o sistema é montado está baseada em grelhas normalmente utilizadas para fachadas cortina, porém com perfis de alumínio de menores dimensões, devido ao dimensionamento dos módulos propostos para este sistema de fachadas que serão de 60 x 60cm. Isso com base nas características apresentadas anteriormente na secção “6.1 Sistema Modular de Fachada” (racionalização da construção; padronização dimensional; produção de componentes seriada; intercambialidade entre elementos; simplificação do projeto; construtividade; facilidade de montagem e redução do desperdício) que justificam a opção por desenvolver um sistema de fachadas modular de pequenos módulos. No início do desenvolvimento a proposta eram pequenos módulos pela facilidade de transporte, montagem e facilidade de manutenção, além das possibilidade de configurações variadas por não ser um painel único de fachada.

A estrutura é composta por perfis verticais e horizontais com 52mm e reforço em aço (standard) da empresa Technal. A montagem é feita com conectores fixos e peças de junção específicas de acordo com o lado de montagem. A estanqueidade da estrutura externa é assegurada por placas de pressão de alumínio equipada com juntas EPDM⁷⁴ e *plugues*. O isolamento térmico é assegurado por uma junta horizontal e vertical com espaçador de PVC instalados entre a estrutura e as placas de pressão externa (**Figura 6.26 e 6.27**).

⁷⁴ Junta EPDM é o nome de um dos desenvolvimentos de borrachas sintéticas, cuja denominação é Etileno-Propileno-Dieno-Monómero (EPDM), ou Aetileno-Propileno-Termopolímero (APTK), sendo altamente resistente aos raios UVA, salitre, ozono, e poluição ambiental. A utilização deste material, para juntas de estanqueidade e de envidraçamento, vem sendo cada vez mais frequente pelas suas excelentes características, sobretudo de elasticidade e recuperação.



No esquema de montagem da grelha estrutural da **Figura 6.26**, os números **1, 2 e 3** indicam a ordem de montagem dos elementos, os elementos FM166 e FM088 são os perfis de alumínio de 52mm que compõem a grelha estrutural.

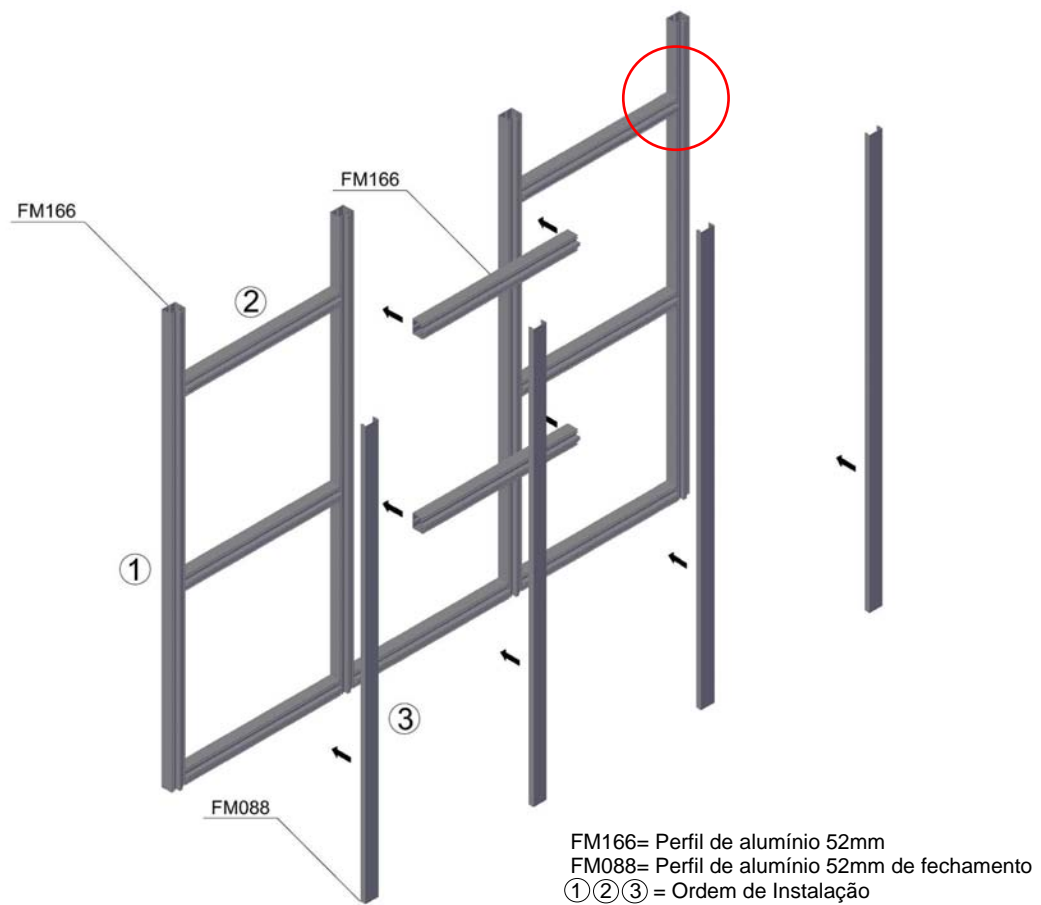


Figura 6.26 Esquema de montagem da grelha estrutural.
A ligação circulada em vermelho será detalhada na Figura 6.27.

Na **Figura 6.27**, os perfis de alumínio dos elementos FM166 são os perfis de alumínio de 52mm. Os elementos EM008 e CM014 são conectores para montagem lateral.

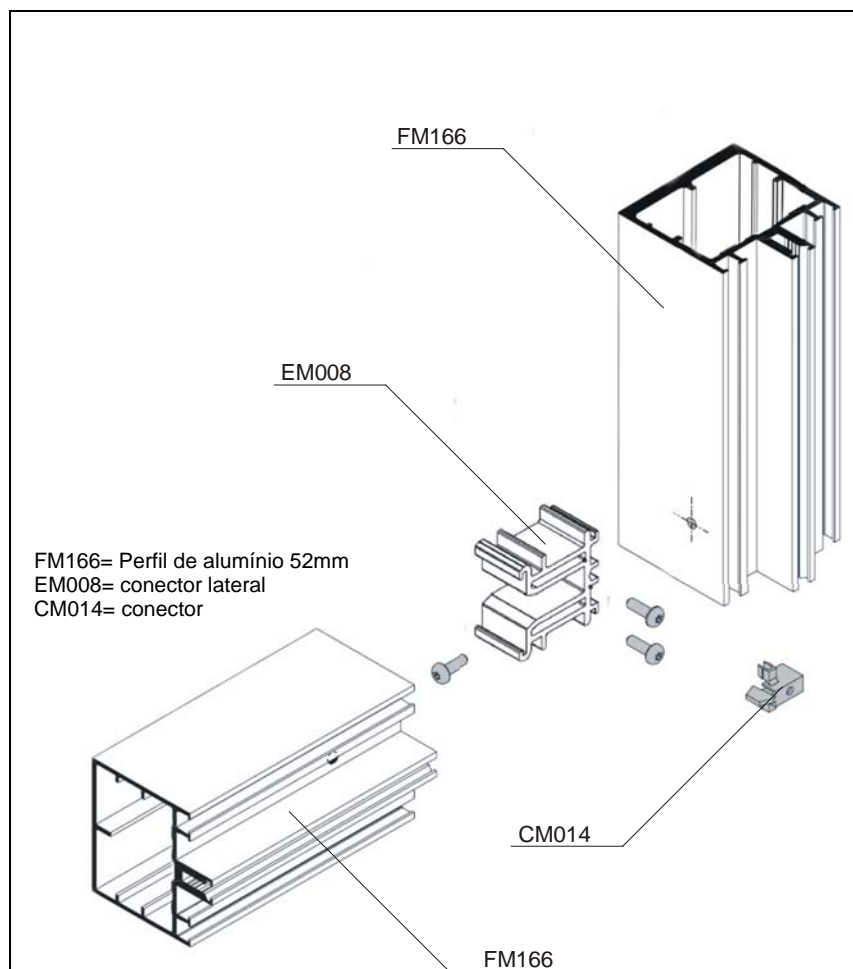


Figura 6.27 Esquema dos pormenores das ligações.

6.3.2 Módulo Padrão Fixo e Projetante

O módulo padrão fixo e móvel (projetante) são compostos basicamente por perfis de alumínio e envidraçado duplo. Possui duas variações de envidraçado duplo, destinadas a invernos menos e mais rigorosos; e duas variações de tipo de abertura podendo ser fixo ou móvel (projetante). A escolha do tipo de envidraçado ideal foi baseada nos resultados de simulações iniciais de desempenho térmico executadas no software *DesignBuilder* e nos ensaios de caracterização espectrofotométricas dos vidros.

Sua composição foi determinada com base em elementos existentes no mercado, sendo composto por perfis de alumínio e vidro. Para a escolha da configuração do módulo padrão envidraçado, optou-se por tomar como base uma janela projetante, devido ao tamanho dos módulos e outros fatores, tais como: a janela projetante possibilita uma boa ventilação, nas áreas inferiores, mesmo em dias de chuva; possuir uma boa estanqueidade ao ar e à água e facilidade de limpeza do interior.



Dentre quatro gamas de janelas da empresa Technal (FB, FB⁷⁵, FX e FX⁷⁶) optou-se por selecionar para utilização nestes módulos os perfis empregados para a janela do tipo FXi da empresa Technal.

O **Quadro 6.2** apresenta a comparação entre algumas características das gamas de janelas FBi e FXi, ambas com rutura da ponte térmica. Após a análise de tais características foi determinado para uso nos módulos da gama **Fxi** devido ao seu melhor e mais completo desempenho.

Quadro 6.2 Perfis para Janelas FXi e FBi: Características.

| Comparação entre Janelas FXi e FBi | | |
|------------------------------------|---|---|
| Desempenho | FXi | FBi |
| Articulação | Dobradiças reguláveis, corpo de alumínio. Camisas de poliamida e eixos em aço inox. | Dobradiças reguláveis por contraplacas em alumínio. Camisa poliamida e eixo inox. |
| Estanqueidade | Juntas EPDM (Qualidade Marítima), contornando os ângulos e de expressão reduzida. Drenagem por rasgos ovalizados não aparente. Enchimento que pode atingir 48 mm na versão 65 mm. | Enchimento de 3 a 33mm, altura do bite de 20 mm para aro e folha. A estanquidade é assegurada por dupla barreira de junta periférica EPDM. Nos aros, a drenagem é feita por rasgos ovalizados na parte do batente integrado. Na folha, a drenagem é feita por rasgos ovalizados e equilibragem de pressão com o exterior. |
| Corte Térmico | A rutura da ponte térmica é assegurada por "barretes" duplas em poliamida armadas com fibra de vidro, cravadas nos dois perfis de alumínio. Estas "barretes" são complanares e evitam a retenção de água. Separação não metálica de 9 mm. No caso de FXi 65 mm, a separação não metálica é de 13 mm e as "barretes" têm uma configuração que retarda a transmissão | Rutura da ponte térmica assegurada por dupla "barrette" em poliamida (intercalar de 9 mm). A conceção das "barretes" é do tipo complanar, reconstituindo a ranhura porta-acessórios e evitando a retenção de água. Série homologada CSTB, perfis conforme a norma XP-P24.400 NF perfis RPT. |
| Drenagem | Uma peça de drenagem invisível é montada após mecanização das travessas (sistema com brevet). Drenagem através de rasgos ovalizados e equipados com defletores antirrefluxo. | - |
| Integração e Ligação | Prumos permitindo a criação de todas as composições, simples ou complexas. Compatibilidade total com as portas e com as caixilharias de correr. Drenagem invisível das travessas (sistema com brevet). | - |
| Conformidade com as Normas | Label NF para os perfis de rutura da ponte térmica. Rutura da ponte térmica homologada pelo CSTB. Isolamento térmico: conforme RT2000, valores calculados de acordo com as normas Th-bât 2001, validadas pelo CSTB. Estanquidade ao ar, à água e ao vento de acordo com as normas Europeias. | |
| | 52 mm: Acústica 35 - 38 dB (RA, tr); 65 mm: Acústica 38 - 41 dB (RA, tr) | Acústica até 35 dB (RA, tr). |

Fonte: TECHNAL, 2008.

⁷⁵ A gama FB possui bom desempenho, sendo a mais económica. A vertente FBi possui rutura de ponte térmica.

⁷⁶ A gama FX apresenta melhor desempenho térmico e acústico, além de preocupações com drenagem e ligações, sendo que a versão FXi também apresenta rutura de ponte térmica.



A gama FXi é uma versão com rutura da ponte térmica além de maior isolamento térmico e acústico, possui as seguintes características: Perfis folha e batente central “Design”; drenagem dissimulada numa ranhura exterior; *bouchon* de batente superior e inferior em alumínio e com o acabamento do caixilho; junta de vidros discreta e de expressão reduzida; possibilidade de escolha entre perfis a direito ou curvos; enchimento até 35 mm (módulo 52 mm) e enchimento até 48mm (módulo 65mm) (TECHNAL, 2008). Além disso, os perfis FXi possibilitam montagem sobre estrutura de alumínio na forma de grelha, o que se pretende fazer no caso deste sistema de fachadas proposto.

A **Figura 6.28** apresenta os cortes e vista do módulo padrão fixo.

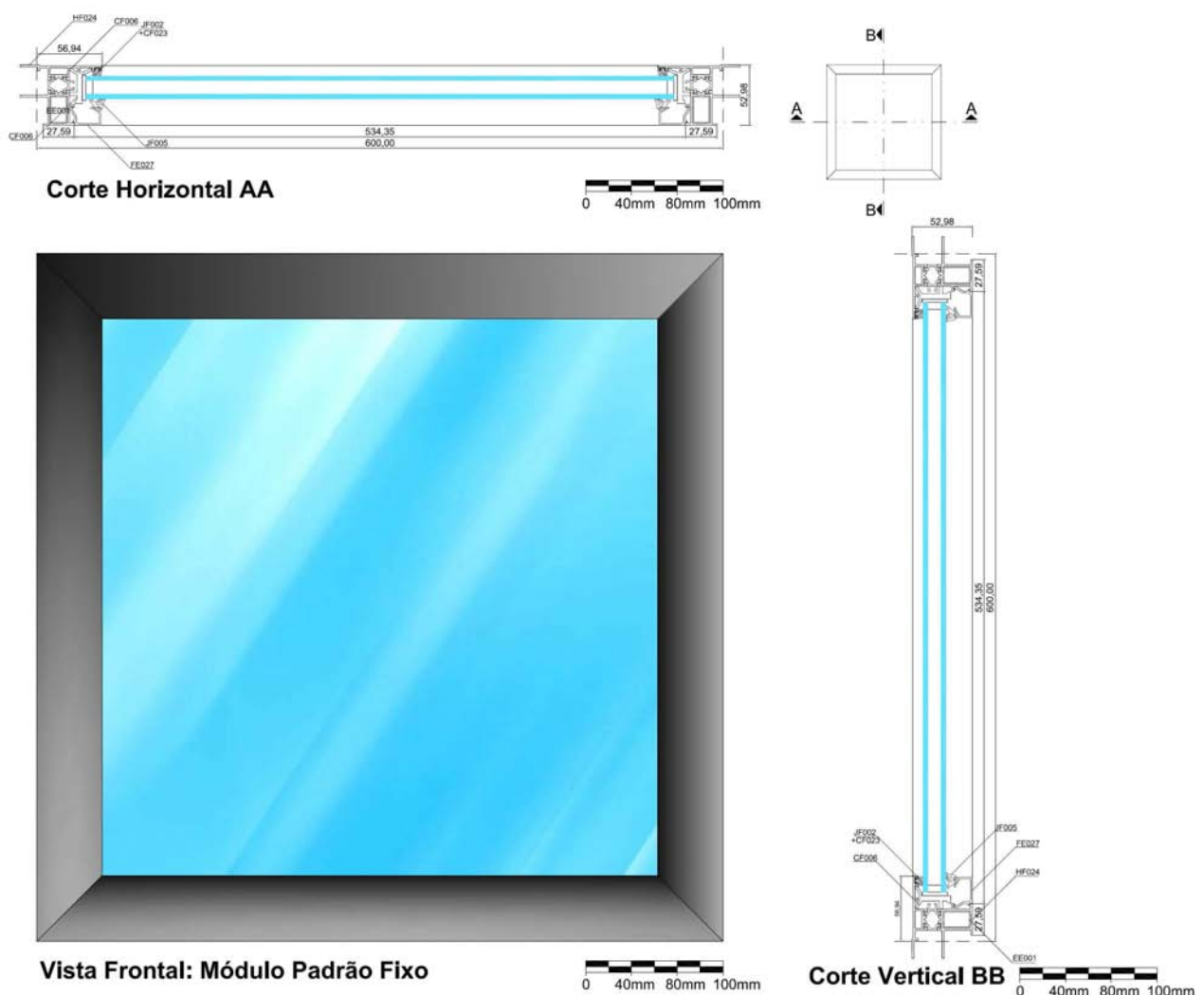


Figura 6.28 Cortes e vista do módulo padrão fixo composto por perfis FXi.

As **Figura 6.29** e **6.30** apresentam os cortes indicando as ligações entre os perfis da grelha estrutural, apresentada anteriormente e o módulo padrão fixo.

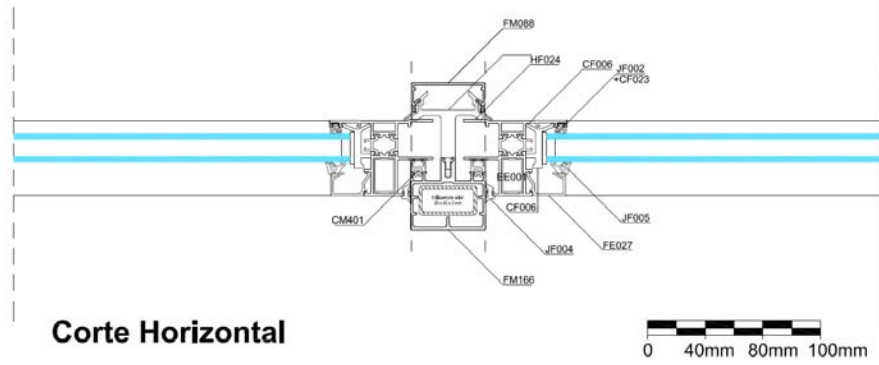


Figura 6.29 Corte horizontal: Ligações entre os perfis da grelha estrutural e o módulo padrão fixo.

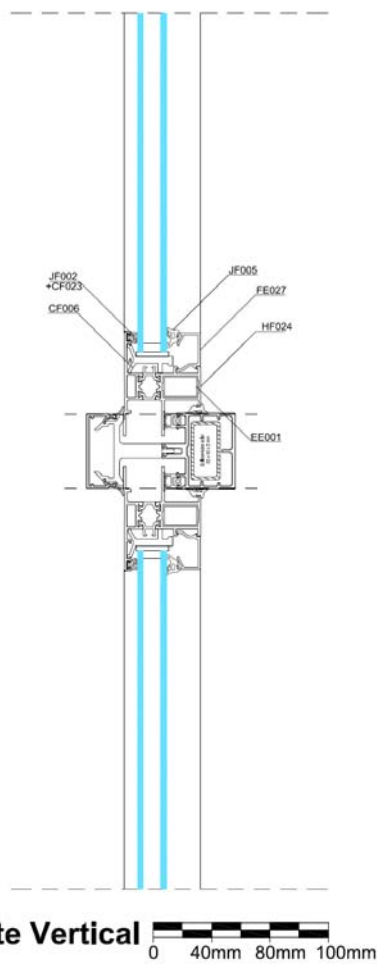


Figura 6.30 Corte vertical (b): Ligações entre os perfis da grelha estrutural e o módulo padrão fixo.

A **Figura 6.31** apresenta os cortes e vista do módulo padrão projetante.

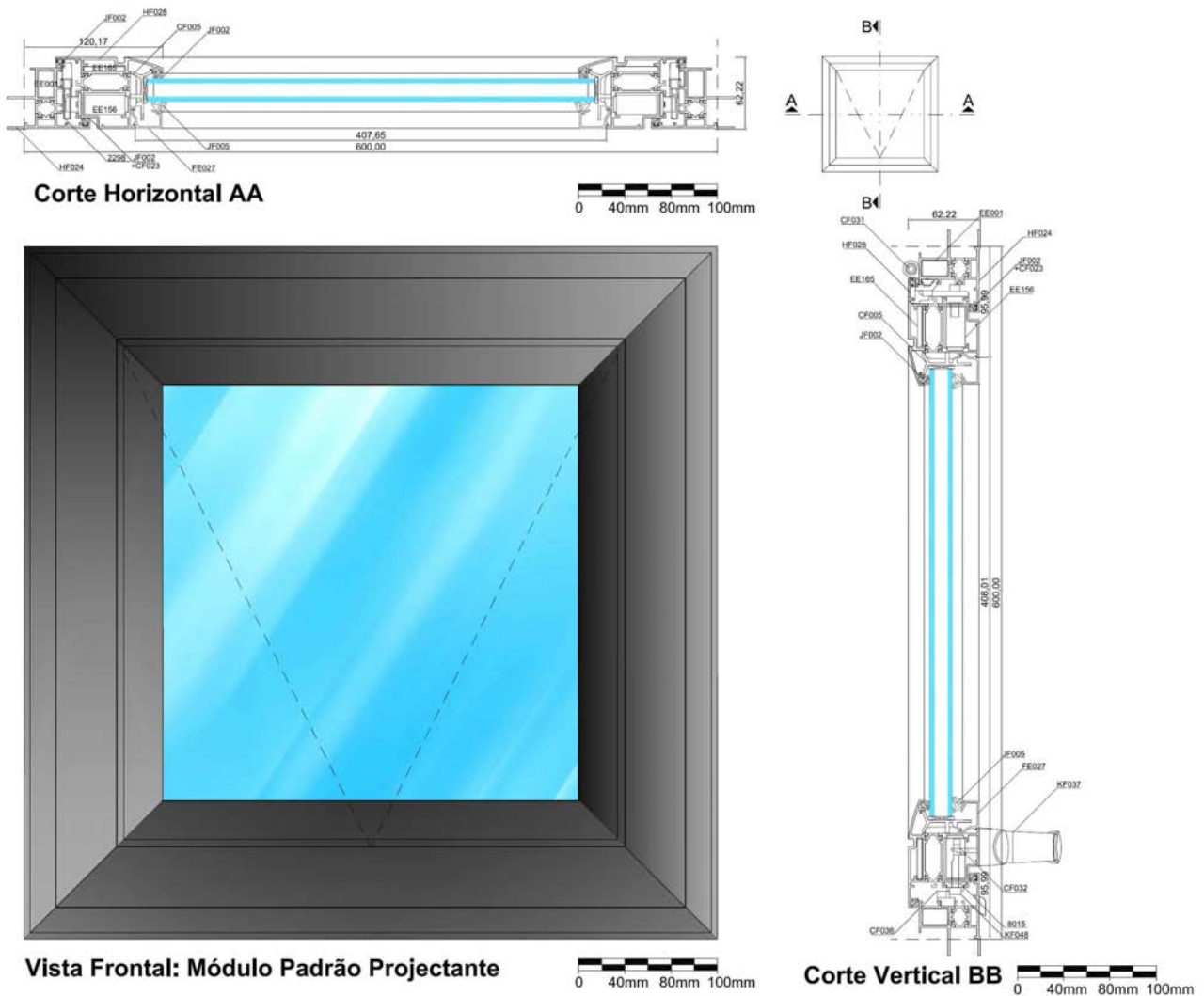


Figura 6.31 Cortes e vista do módulo padrão projetante composto por perfis FXi.

São apresentados também, como exemplo, uma imagem real de um caixilho FXi 52mm com linhas direitas (semelhante ao módulo padrão fixo) e com linhas curvas (semelhante ao módulo padrão projetante) (**Figura 6.32**).

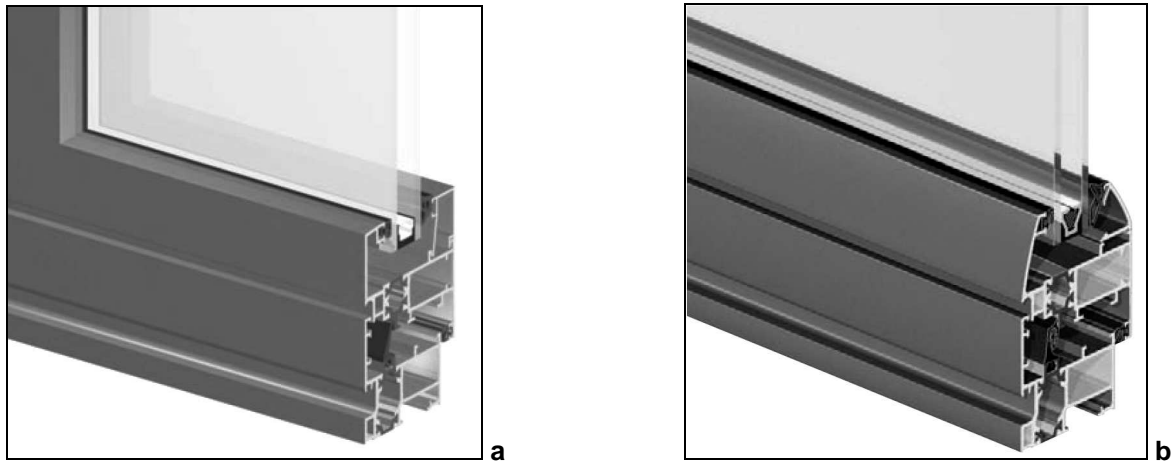
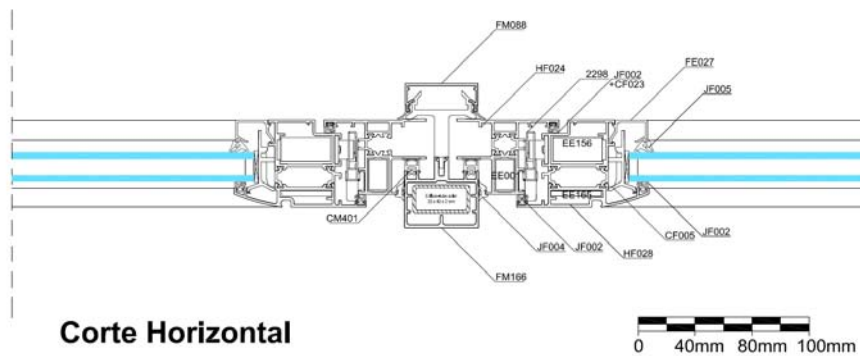


Figura 6.32 Pormenor de um caixilho FXi 52mm com linhas direitas (semelhante ao módulo padrão fixo) (a) e com linhas curvas (semelhante ao módulo padrão projetante) (b).

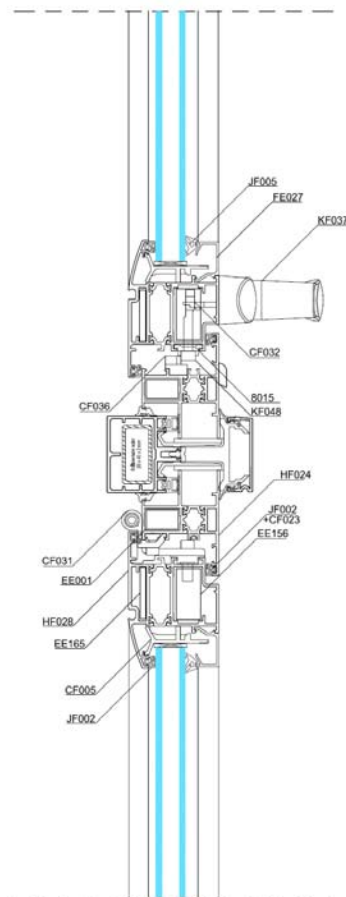
Fonte: TECHNAL, 2008.

As **Figuras 6.33** e **6.34** apresentam os cortes indicando as ligações entre os perfis da grelha estrutural apresentada anteriormente e o módulo padrão projetante.



Corte Horizontal

Figura 6.33 Corte horizontal: Ligações entre os perfis da grelha estrutural e o módulo padrão projetante.



Corte Vertical 0 40mm 80mm 100mm

Figura 6.34 Corte vertical (b): Ligações entre os perfis da grelha estrutural e o módulo padrão projetante.

6.3.3 Módulo Parede de Trombe

Estudos previamente realizados por Cardoso (2008) indicam o material mais adequado para o elemento acumulador da parede de Trombe e a sua espessura ótima, efetuada através da determinação das necessidades de aquecimento. Tal estudo constatou que materiais como betão, granito, alvenaria de adobe, cerâmica e barro vermelho e xisto conduziram a desempenho térmico semelhante e que não há diferenças significativas entre as situações consideradas, sendo que a escolha de um material tradicional como o betão proporcionaria economia energética.

Desta forma foi considerado neste estudo o uso de betão, com pintura de cor escura, espessura de 15cm na parede de Trombe, cujo material e demais características são apresentadas de acordo com a **Tabela 6.1**.

**Tabela 6.1** Características do material utilizado no elemento acumulador da parede de Trombe

| Características | | | |
|------------------------|---|---|--|
| Material | Condutividade λ (W/m.K) | Calor Específico Cp (J/kg.K) | Massa Específica ρ (kg/m³) |
| Betão | 1.40 | 840 | 2100 |
| | Emissividade | Coefficiente de transmissão térmica U (W/m²K) | Absortância Solar e Visível |
| | 0.90 | 4.04 | 0,60 |
| | Espessura | 15cm | |

A proposta para aplicação deste módulo é aproveitar paredes existentes, mas caso não seja possível, pode-se montar a parede com betão moldado *in situ* ou ainda montá-la com tijolos de pequenas dimensões (com juntas de dilatação de 1,5cm e revestimentos de 1,5cm, por exemplo).

Para o caso de necessidade de construção da parede, tem-se como base de montagem um suporte metálico proposto, cujos pormenores serão indicados posteriormente. Prever aberturas no módulo envidraçado seria difícil devido ao difícil acesso para mantê-las abertas e também pela dificuldade de manutenção pelo exterior, portanto a proposta é posicionar aberturas na parte inferior e superior da parede massiva construída ou existente. Com as aberturas posicionadas na parede massiva ocorre um maior aquecimento no período de inverno e para um melhor funcionamento do sistema é necessário que essas aberturas estejam abertas durante o dia para que o calor existente na caixa-de-ar se transmita ao interior do ambiente, não só por condução como também por convecção

A **Figura 6.35** apresenta os pormenores do módulo parede de Trombe. Salienta-se que as aberturas de ventilação estarão na parede acumuladora e não na superfície envidraçada, devido às dificuldades de manutenção caso o módulo esteja no exterior.

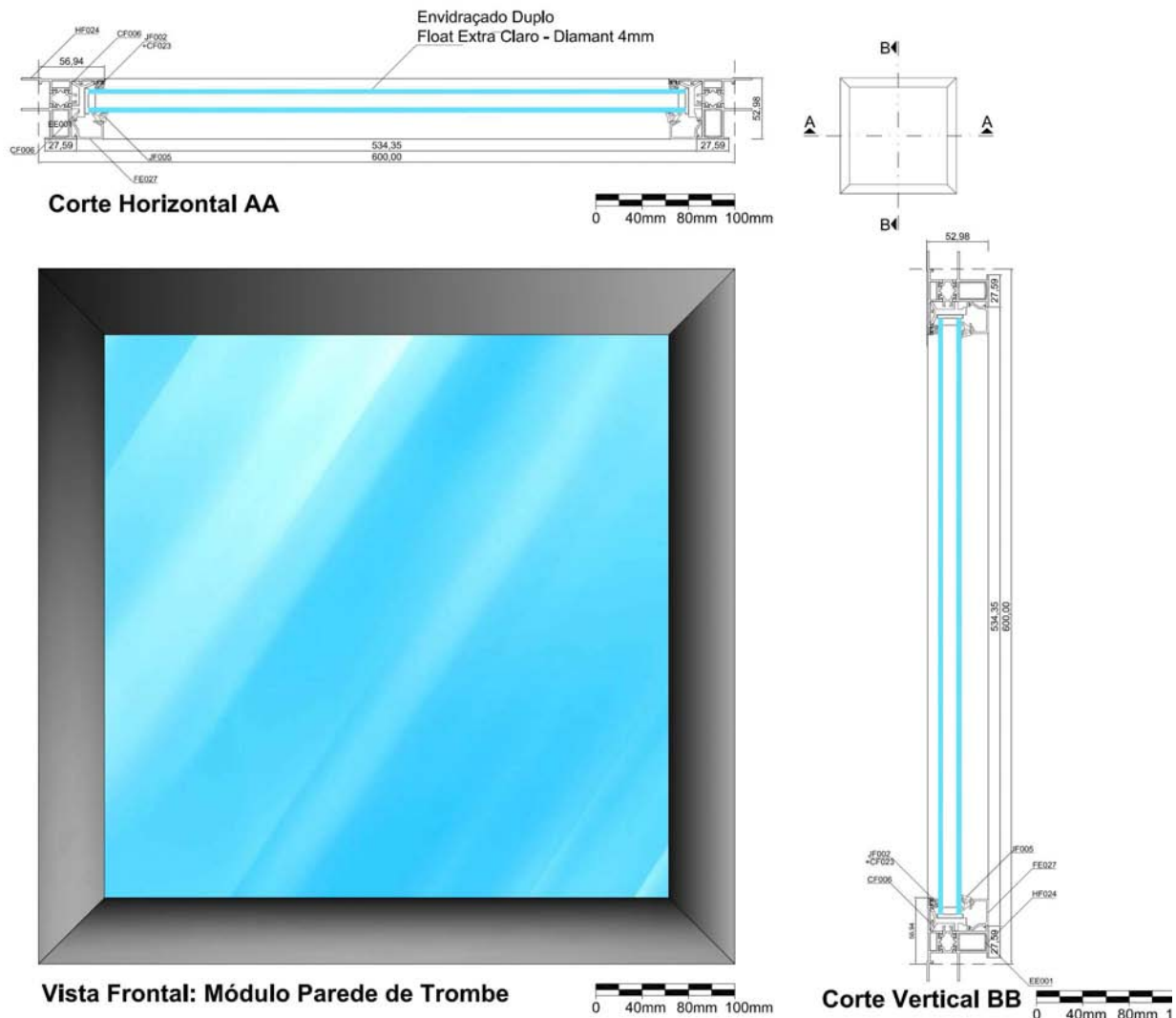


Figura 6.35 Cortes e vista do módulo parede de Trombe, também composto por perfis FXi como o módulo padrão fixo.

As **Figuras 6.36 a 6.38** apresentam os pormenores da peça de encaixe para o caso de necessidade de construir uma parede para ser ligada ao módulo parede de Trombe. Os pormenores são explicados nas figuras.

Outros estudos realizados anteriormente conduziram à informação de que a relação entre a secção desta abertura de ventilação e a área de parede de trombe está na ordem de 1/44 a 1/29 da área de parede de Trombe. Com esses valores se verificam menores necessidades de aquecimento (CARDOSO, 2008). Como a área final de cada módulo individual é de 0,60 x 0,60m (0,36m²). Um conjunto de 4 módulos parede de Trombe (2,40m, quase a altura de um pé-direito usual de 2,80m) dará origem a uma “parede de Trombe” completa, ou seja, a área de uma parede de Trombe composta pelos 4 módulos será 0,6 x 2,40m (1,44m²). Considerando uma relação de 1/30 entre o canal de ventilação e a área da parede de trombe, a área de ventilação deverá ser de 0,05m², dividida em duas aberturas



(12x20cm²), uma inferior e outra superior (**Figura 6.37**). No inverno o período de funcionamento dessas aberturas deverá ser das 9:00 as 18:00h; e no verão deverão permanecer fechadas durante o dia e abertas durante a noite.

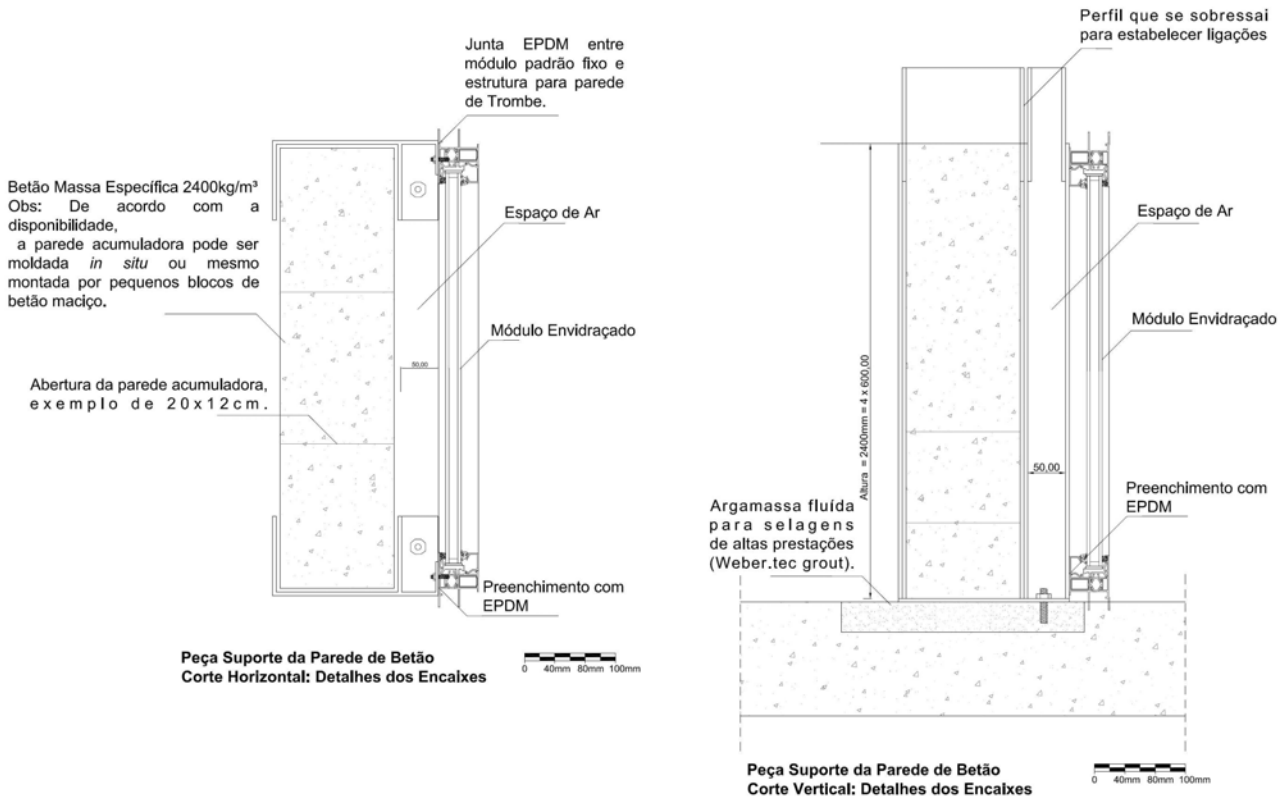


Figura 6.36 Pormenores da peça suporte para a parede de Trombe, no caso de se ter que construir uma parede de elevada massa específica.

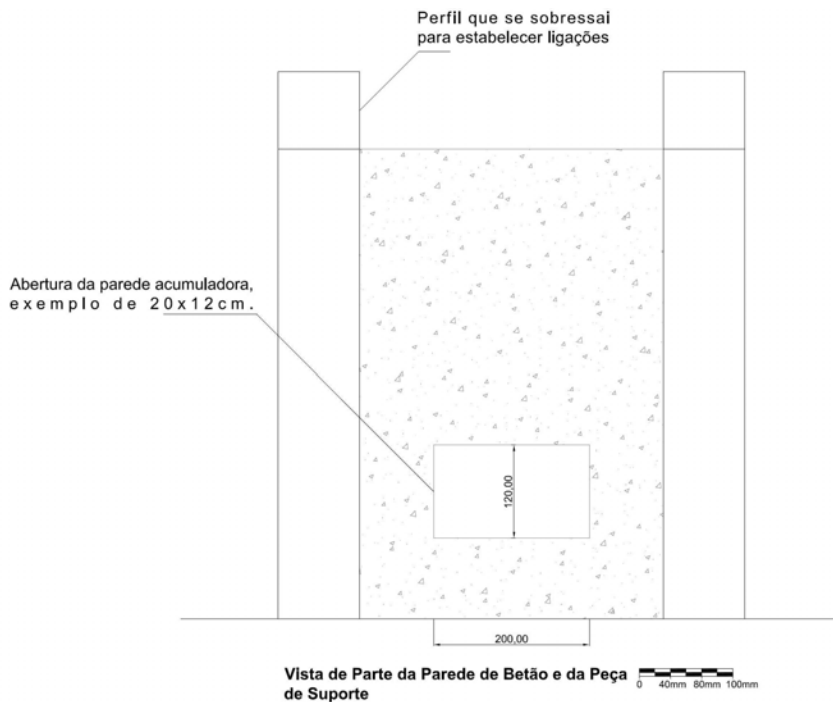


Figura 6.37 Vista de parte da parede de elevada massa específica (base), da abertura inferior e parte dos perfis.

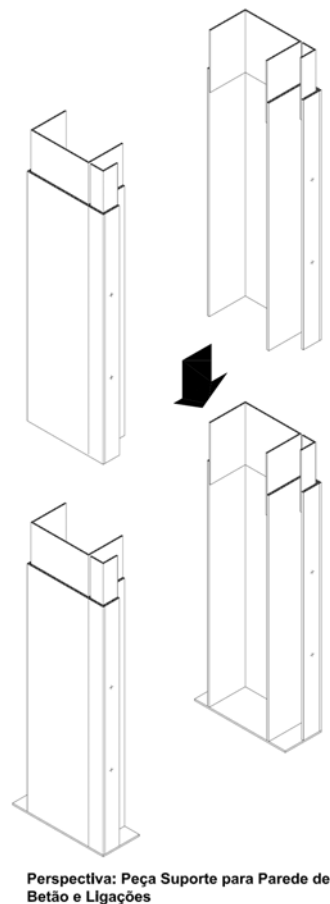


Figura 6.38 Perspetiva da peça suporte para a parede de Trombe.

6.3.4 Módulo Estufa

O módulo estufa considerado nos resultados das simulações de desempenho térmico não ocasionou grande economia energética. Porém, sua pormenorização será apresentada. No caso das estufas, quanto mais arrojado o design, por exemplo, dar formas ao vidro, mais elevado é seu custo. Sendo assim, de forma a minimizar tais custos foi proposto um módulo composto por uma estrutura de perfis de alumínio simples e leve, com espessuras próximas das utilizadas nos perfis dos demais módulos. Porém, as peças foram criadas especificamente para este caso, não sendo do acervo de nenhum fabricante específico, como nos módulos anteriores.

A estanqueidade entre o módulo padrão e a estufa quando instalada será assegurada por pequenas placas compostas por EPDM⁷⁷, o mesmo material utilizado nas juntas dos demais módulos. O módulo estufa prevê a existência de uma calha para

⁷⁷ Junta EPDM é o nome de um dos desenvolvimentos de borrachas sintéticas, cuja denominação é Etileno-Propileno-Dieno-Monómero (EPDM), ou Aetileno-Propileno-Termopolímero (APTK), sendo altamente resistente aos raios UVA, salitre, ozono, e poluição ambiental. A utilização deste material, para juntas de estanqueidade e de envidraçamento, vem sendo cada vez mais frequente pelas suas excelentes características, sobretudo de elasticidade e recuperação.



escoamento das águas pluviais, cuja inclinação deve ser cerca de 2% e será obtida pela diferença de espessura do perfil de alumínio que compõe sua base.

O espaço interior da estufa poderá abrigar pequenas espécies de vegetação, de acordo com a possibilidade de abertura do módulo sobre o qual a estufa estará instalada. Em relação ao módulo base para fixação da estufa, recomenda-se que seja o módulo padrão projetante, pois dessa forma haverá uma abertura entre a estufa e o envidraçado, contribuindo assim para maior eficiência de funcionamento do sistema. Salienta-se que o módulo estufa foi dimensionado de forma que não obstruísse a abertura do módulo padrão projetante.

Futuramente pode-se também prever a abertura das faces laterais do módulo estufa, fazendo com que o funcionamento do sistema fosse interrompido nos períodos nos quais não é necessário o aquecimento do ambiente interior.

As Figuras 6.39 e 6.40 apresentam os pormenores do módulo estufa.

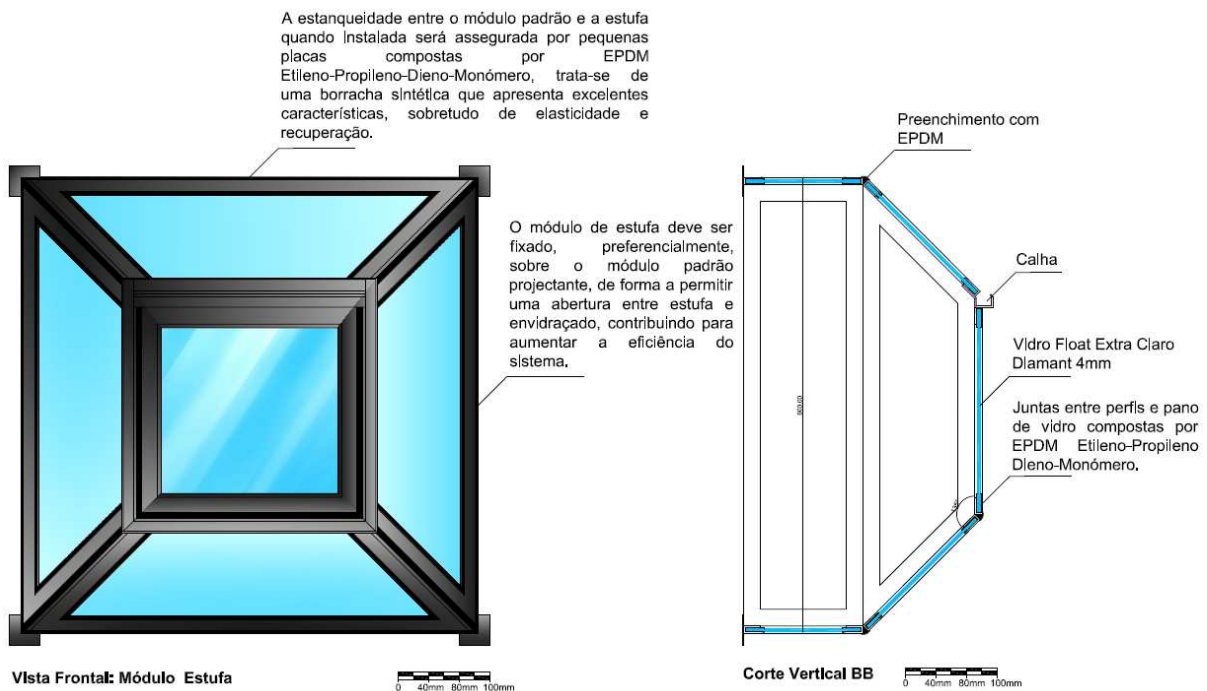


Figura 6.39 Corte BB e vista do módulo estufa.

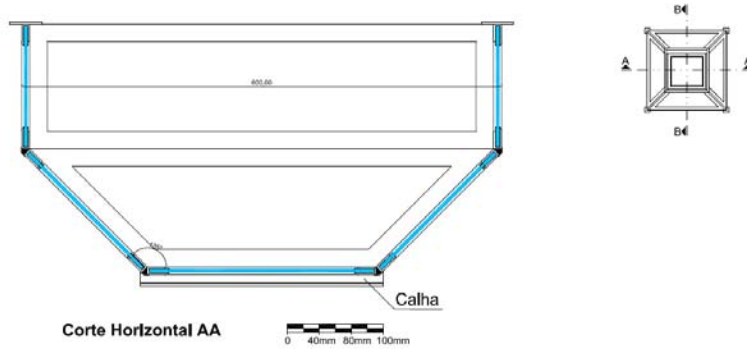


Figura 6.40 Corte AA do módulo estufa.

6.3.5 Módulo de Ventilação

Com base nos resultados dos ensaios em túnel vento foi determinada a forma e características ideais para o módulo de ventilação. Neste estudo anterior observou-se que para uma mesma área de abertura, entradas de ar horizontais apresentam maior rendimento em termos de ventilação natural. Especificamente, o uso de grelhas posicionadas na horizontal nos módulos de ventilação fez com que as pequenas entradas de ar fossem predominantemente horizontais e apresentassem melhor rendimento em termos de ventilação natural. Sendo assim, tal módulo foi detalhado considerando a utilização de elementos formando uma grelha horizontal de pequena espessura.

As Figuras 6.41 a 6.43 apresentam cortes e vista do módulo de ventilação e uma proposta para o dispositivo de vedação deste módulo, quando não for necessário o mesmo permanecer aberto.

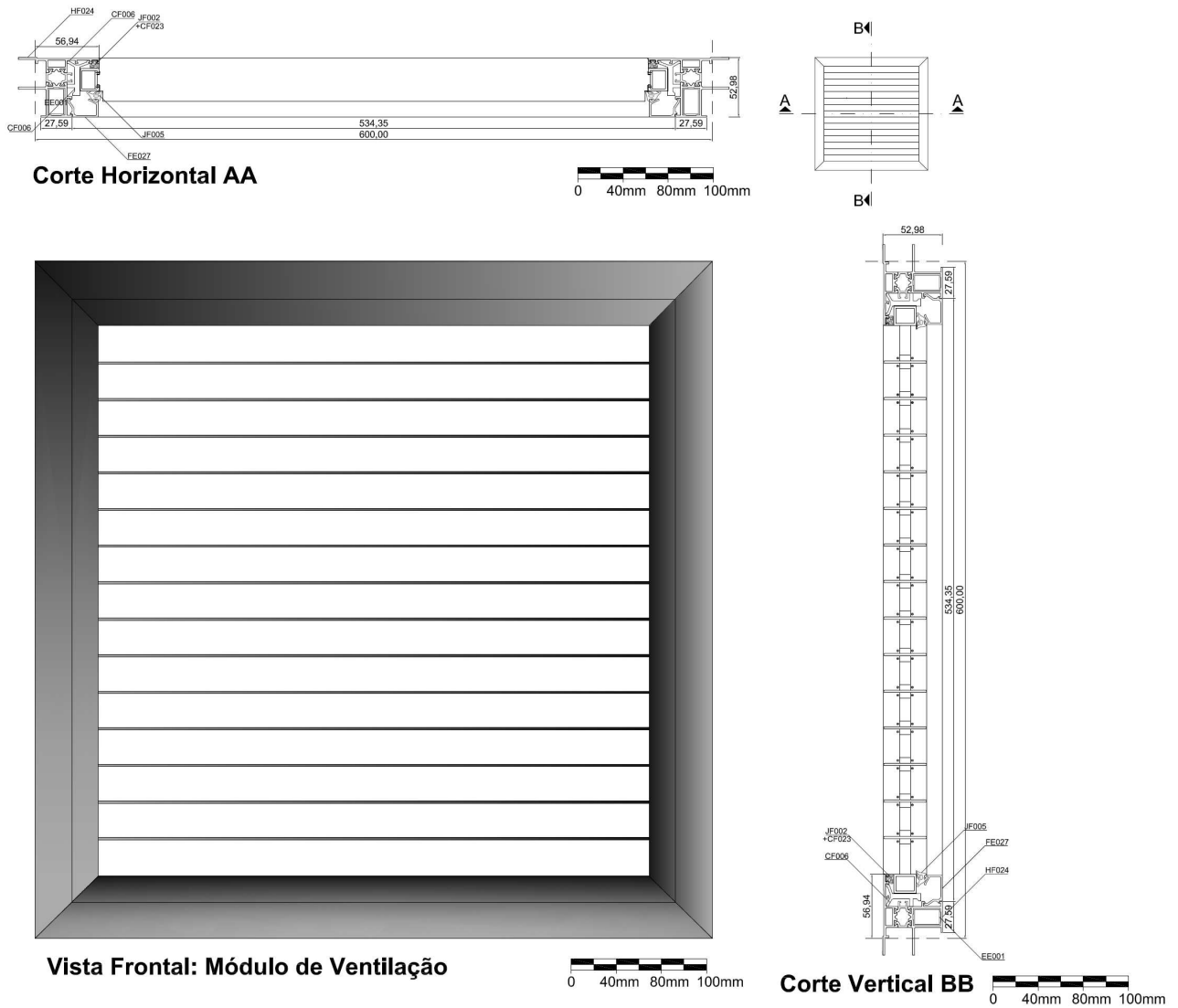
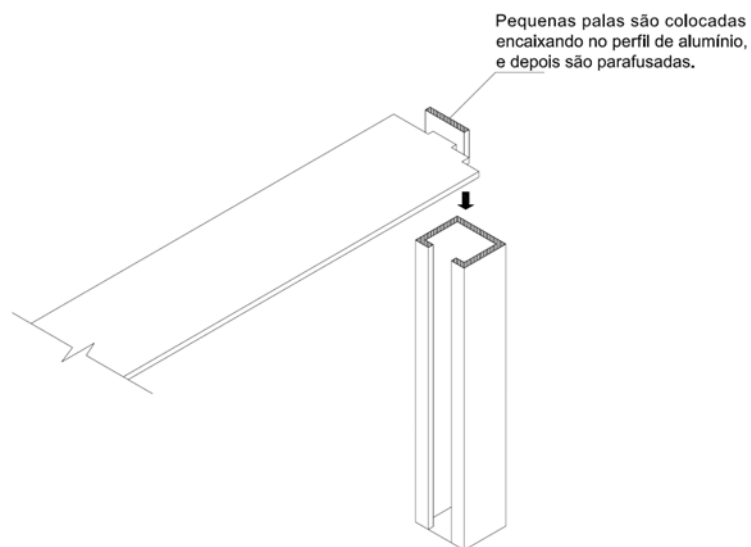


Figura 6.41 Cortes e vista do módulo de ventilação.



Perspectiva: Montagem da Grelha de Ventilação

Figura 6.42 Perspectiva: Pormenores da montagem da grelha do módulo de ventilação.

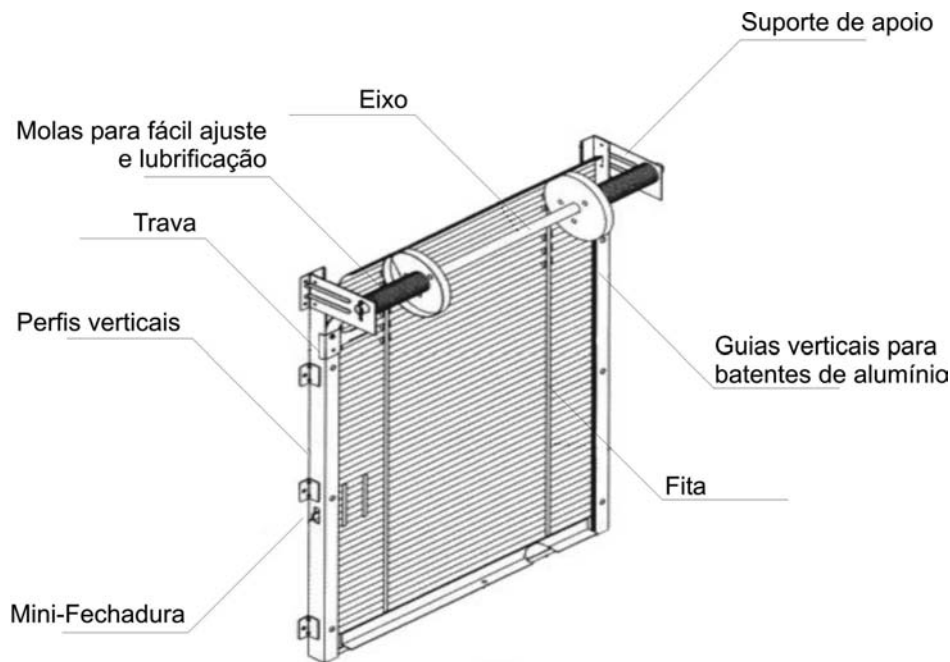


Figura 6.43 Proposta para o sistema de vedação do módulo de ventilação, com base numa “porta” de edifício comercial, com componentes e escala adaptada aos módulos.

6.3.6 Módulo Proteção Solar

Existem várias configurações de proteções solares, função de diversos fatores, sendo que quanto maior for o elemento de proteção e menor for o espaçamento entre elementos, maior será a sua eficiência no bloqueio dos raios solares. Para edifícios situados no hemisfério norte, como é o caso de Portugal observa-se que durante o inverno a altura do sol é menor e uma superfície vertical virada a sul, por exemplo, recebe os raios solares durante mais tempo que uma com qualquer outra orientação. No verão o tempo de insolação de uma superfície vertical orientada a sul é menor do que no inverno, pois o sol está a uma altura mais elevada.

Em termos de dispositivos de proteção solar é proposto para este sistema de fachadas o uso de um módulo composto por pequenos elementos horizontais (*brises*, tipo estores venezianos) inclinados, sendo todo o conjunto passível de movimentação a 45° e 90°, como ilustrado na **Figura 6.44**. Esse tipo de dispositivo, pivotante com três posições, abrange uma elevada quantidade de ângulos de entrada, garantindo desta forma uma boa eficiência.

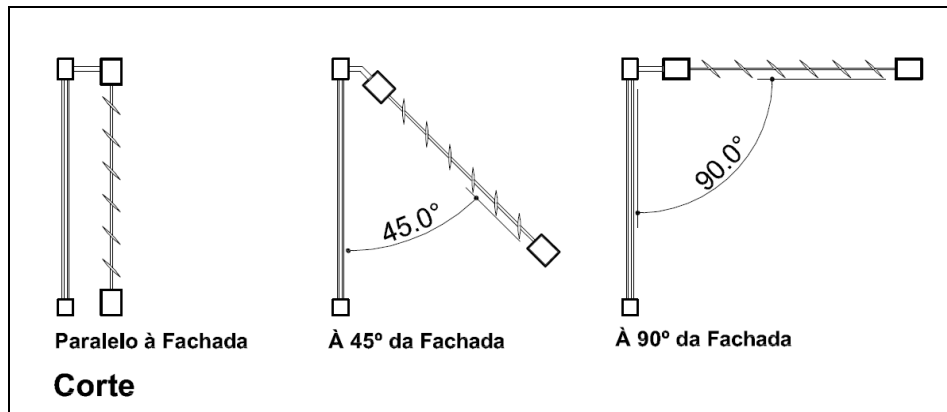


Figura 6.44 Desenhos iniciais apresentando as possibilidades do componente.

Os pequenos elementos presentes no dispositivo, ou seja, as placas horizontais possuem uma vantagem, pois à medida que o sol está em posições mais elevadas, as placas vão-se sombreando umas às outras, diferentemente do que ocorre com uso de uma pala única horizontal.

A projeção da trajetória aparente do Sol no plano horizontal do lugar chama-se diagrama de trajetória solar. Quando as trajetórias são representadas para vários dias do ano, numa dada latitude obtém-se uma carta solar. Como Portugal está localizado entre as latitudes 37° a 42° foi utilizada uma carta solar equivalente a Latitude 40° Norte para analisar a eficiência do dispositivo inicial proposto, pois uma diferença de até 3° é tolerável para análise. Com esse tipo de análise é possível definir quais os meses do ano e horário ao longo do dia em que será sombreado. Esta demarcação pode ser feita recorrendo às zonas de desconforto atribuídas para algumas cidades; A partir daí é possível verificar a eficiência do módulo sombreador (eficiência total, parcial e nula) com a ajuda de um transferidor de ângulos de sombra e dos ângulos obtidos anteriormente pelas características geométricas do módulo.

Para o módulo analisado foram estudadas as três posições em relação à fachada, sendo o dispositivo paralelo à fachada, inclinado a 45° da fachada e perpendicular à fachada (90°), de forma a verificar a eficiência nessas posições e nas orientações Este, Oeste e Sul, por serem as que recebem maior incidência solar. É suposto que os pequenos elementos sombreadores deixem passar o mínimo possível dos raios solares. O dispositivo proposto no primeiro caso fica posicionado exatamente em frente ao módulo envidraçado, paralelo à fachada, o que faz com que a eficiência total seja expressa por uma linha apenas (**Figuras 6.45 a 6.49**).

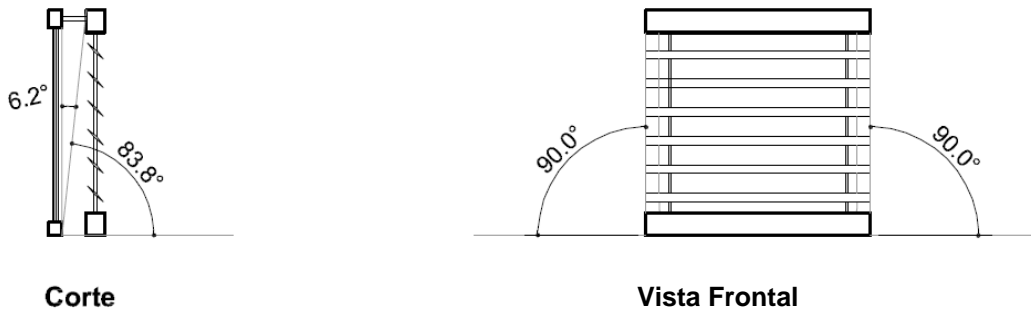


Figura 6.45 Dispositivo de Proteção Solar Paralelo à Fachada.

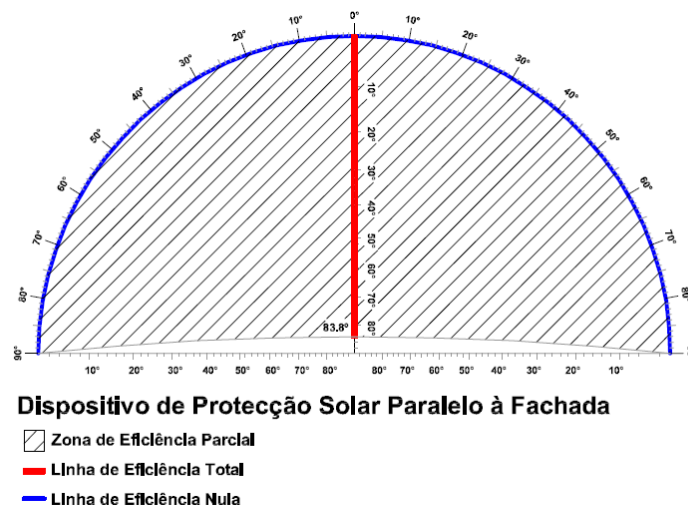


Figura 6.46 Dispositivo de Proteção Solar Paralelo a Fachada: Máscara de Sombra.

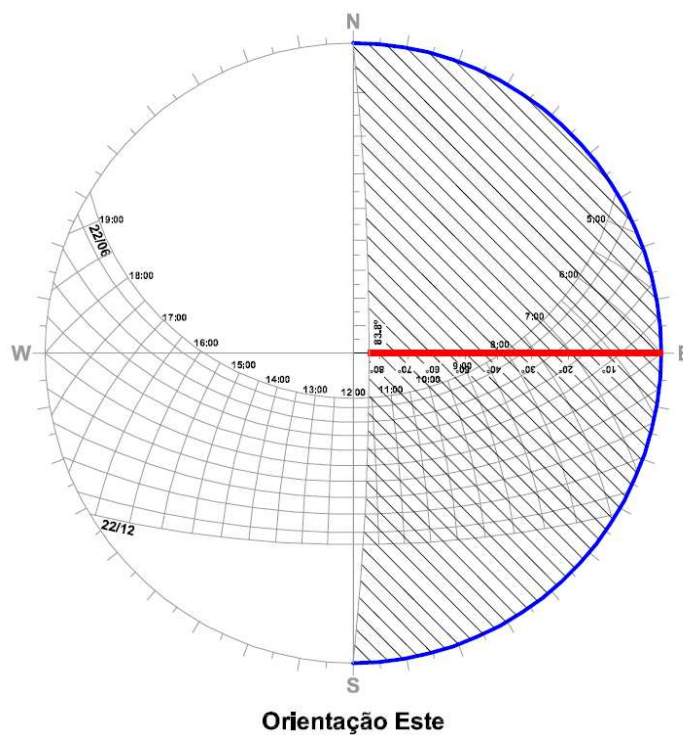


Figura 6.47 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Este.

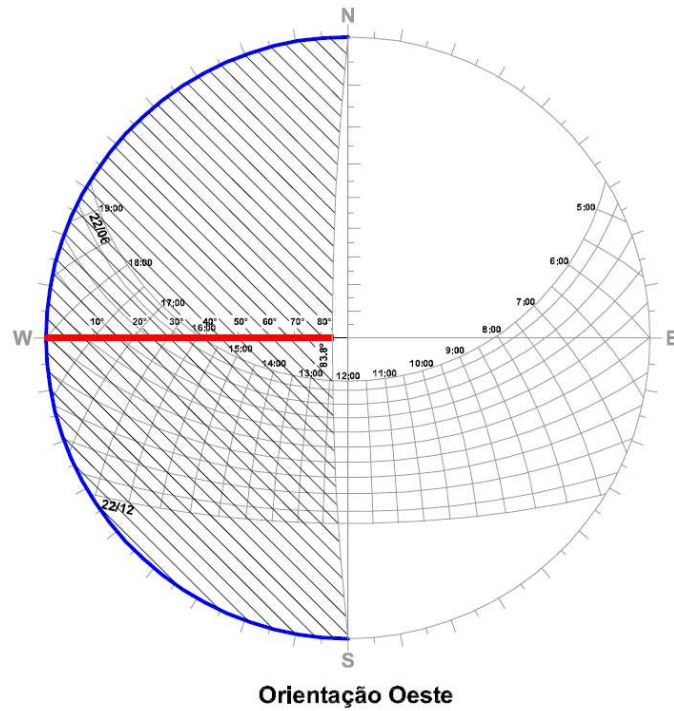


Figura 6.48 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Oeste.

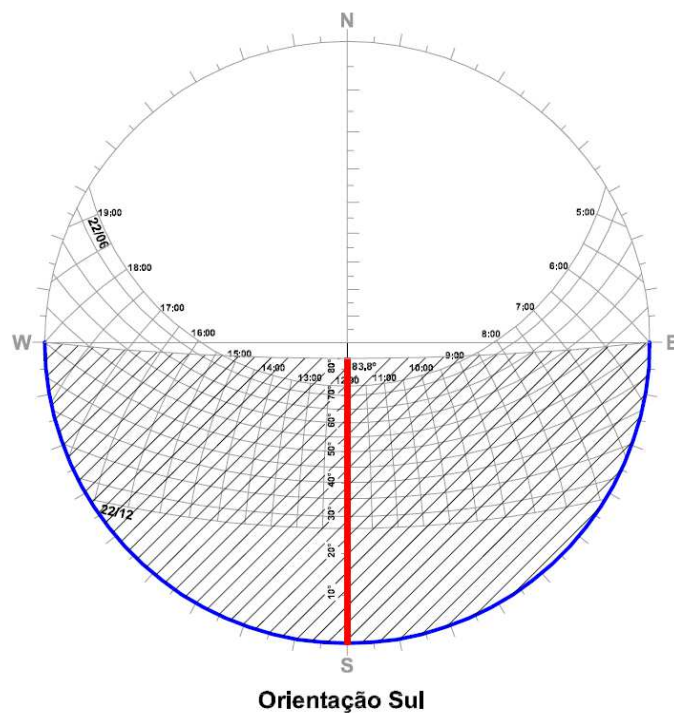


Figura 6.49 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Sul.

No segundo caso, o dispositivo fica posicionado a 45° em relação ao módulo envidraçado, ou seja, inclinado em relação à fachada. O dispositivo possui a mesma largura do módulo envidraçado, o que faz com que novamente a eficiência total seja expressa por uma linha apenas (Figuras 6.50 a 6.54).

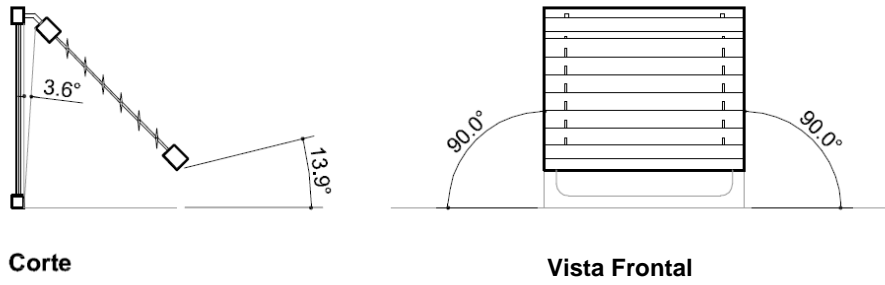


Figura 6.50 Dispositivo de Proteção Solar a 45° da Fachada.

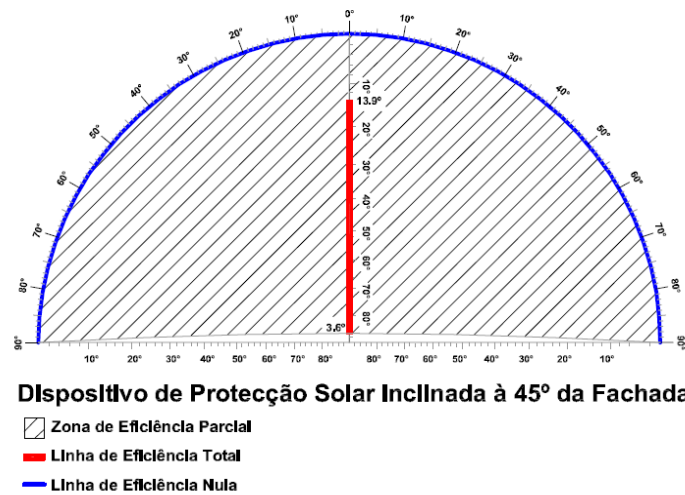


Figura 6.51 Dispositivo de Proteção Solar a 45° da Fachada: Máscara de Sombra.

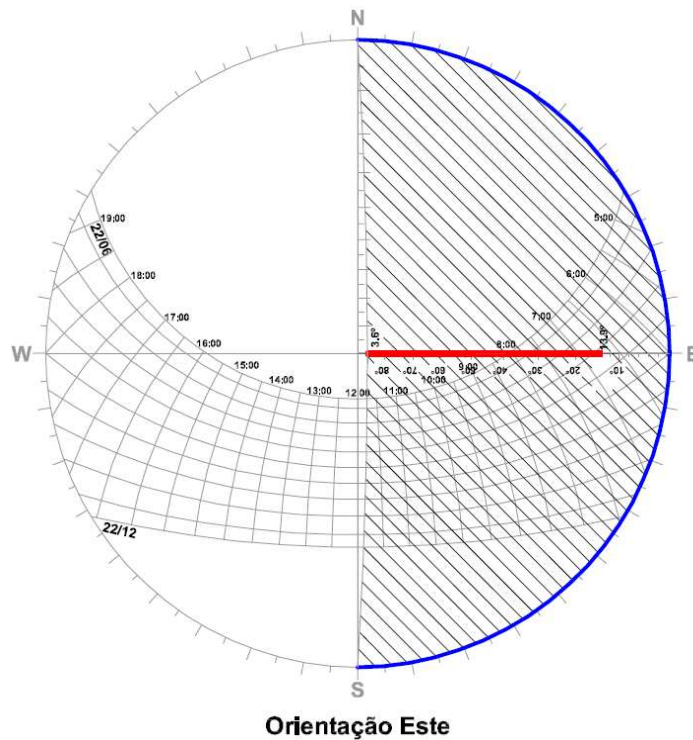


Figura 6.52 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Este.

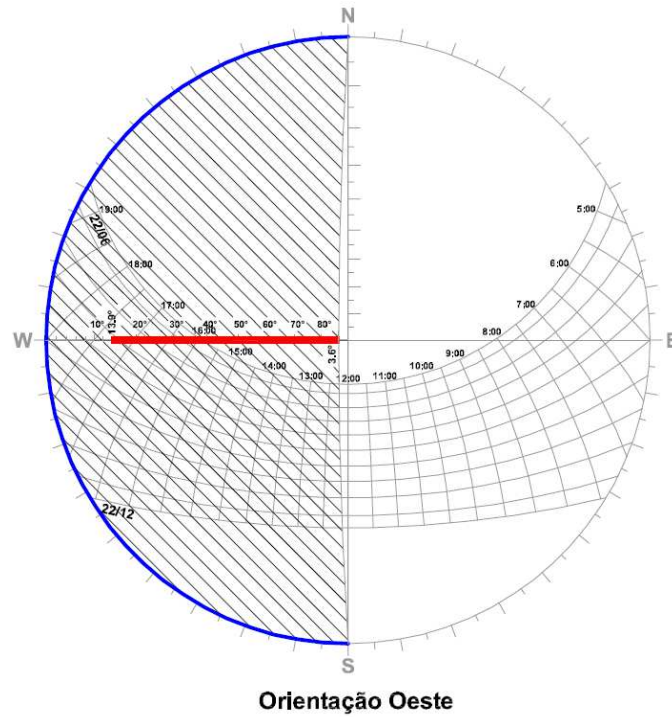


Figura 6.53 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Oeste.

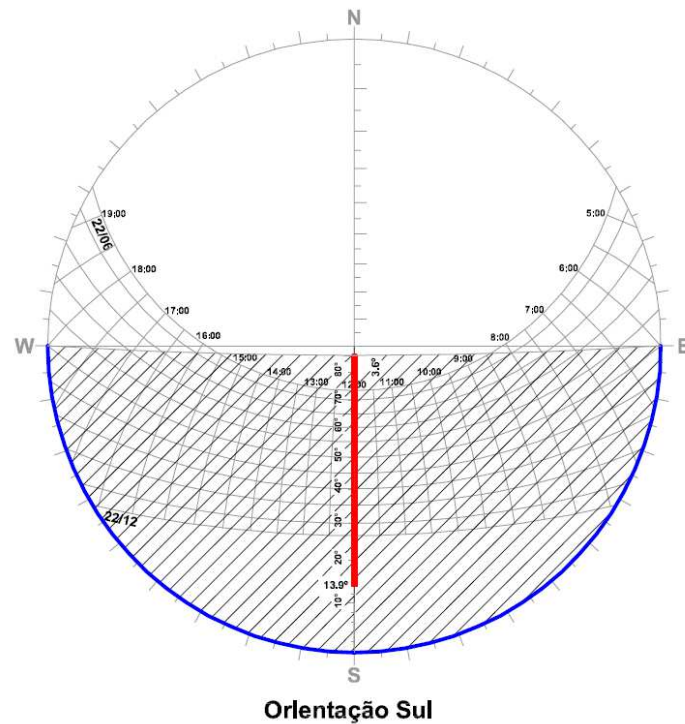
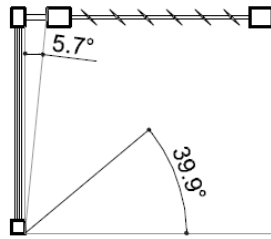
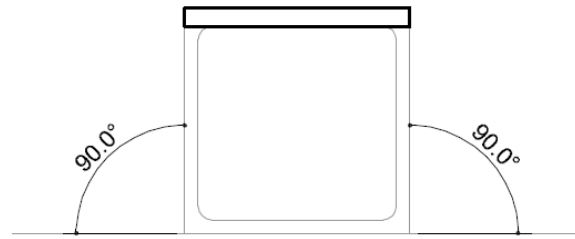


Figura 6.54 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Sul.

No terceiro caso, o dispositivo fica posicionado a 90° em relação ao módulo envidraçado. Como o dispositivo possui a mesma largura do módulo envidraçado, novamente a eficiência total é expressa por uma linha apenas (**Figuras 6.55 a 6.59**).

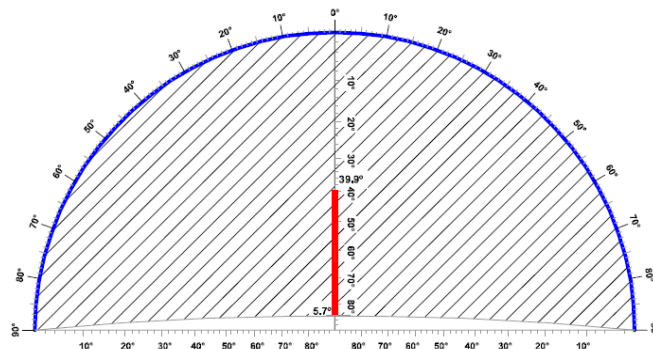


Corte



Vista Frontal

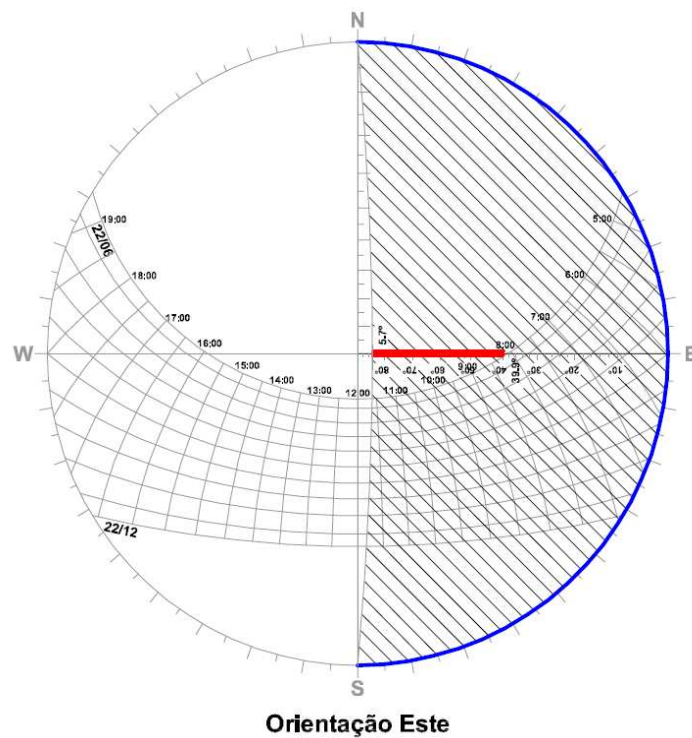
Figura 6.55 Dispositivo de Proteção Solar a 90° da Fachada.



Dispositivo de Proteção Solar Perpendicular à Fachada

- Zona de Eficiência Parcial
- Linha de Eficiência Total
- Linha de Eficiência Nula

Figura 6.56 Dispositivo de Proteção Solar a 90° da Fachada: Máscara de Sombra.



Orientação Este

Figura 6.57 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Este.

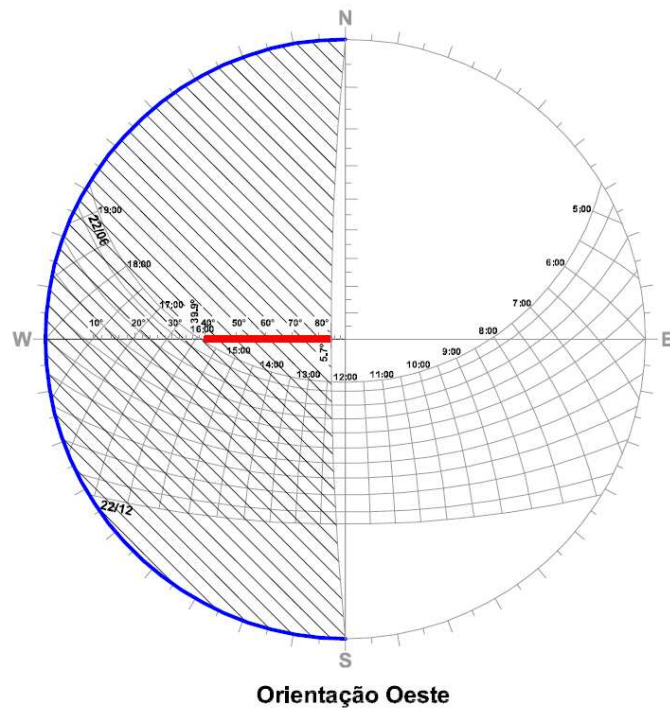


Figura 6.58 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Oeste.

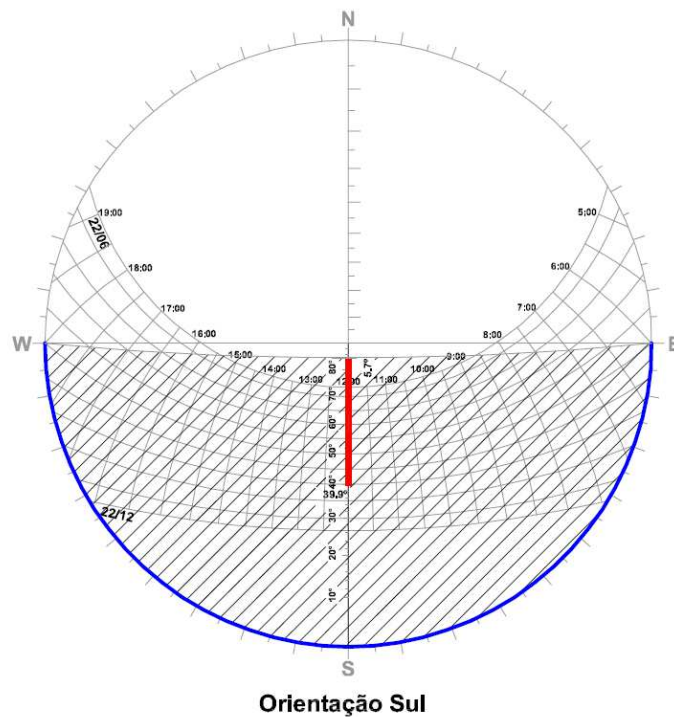


Figura 6.59 Máscara de Sombra para a Orientação Solar Sul.

Esse estudo com a carta solar indica uma boa eficiência do módulo de proteção solar nas suas três possibilidades de posicionamento em relação à fachada e que a possibilidade de ser móvel aumenta a eficiência de proteção. A seguir é apresentada a pormenorização do dispositivo de proteção solar proposto para o sistema modular de fachadas, objeto de



estudo deste trabalho de investigação. Tal módulo é dimensionado em milímetros como nos demais apresentados anteriormente (**Figuras 6.60**).

A **Figura 6.60** apresenta o corte e vistas do módulo de proteção solar.

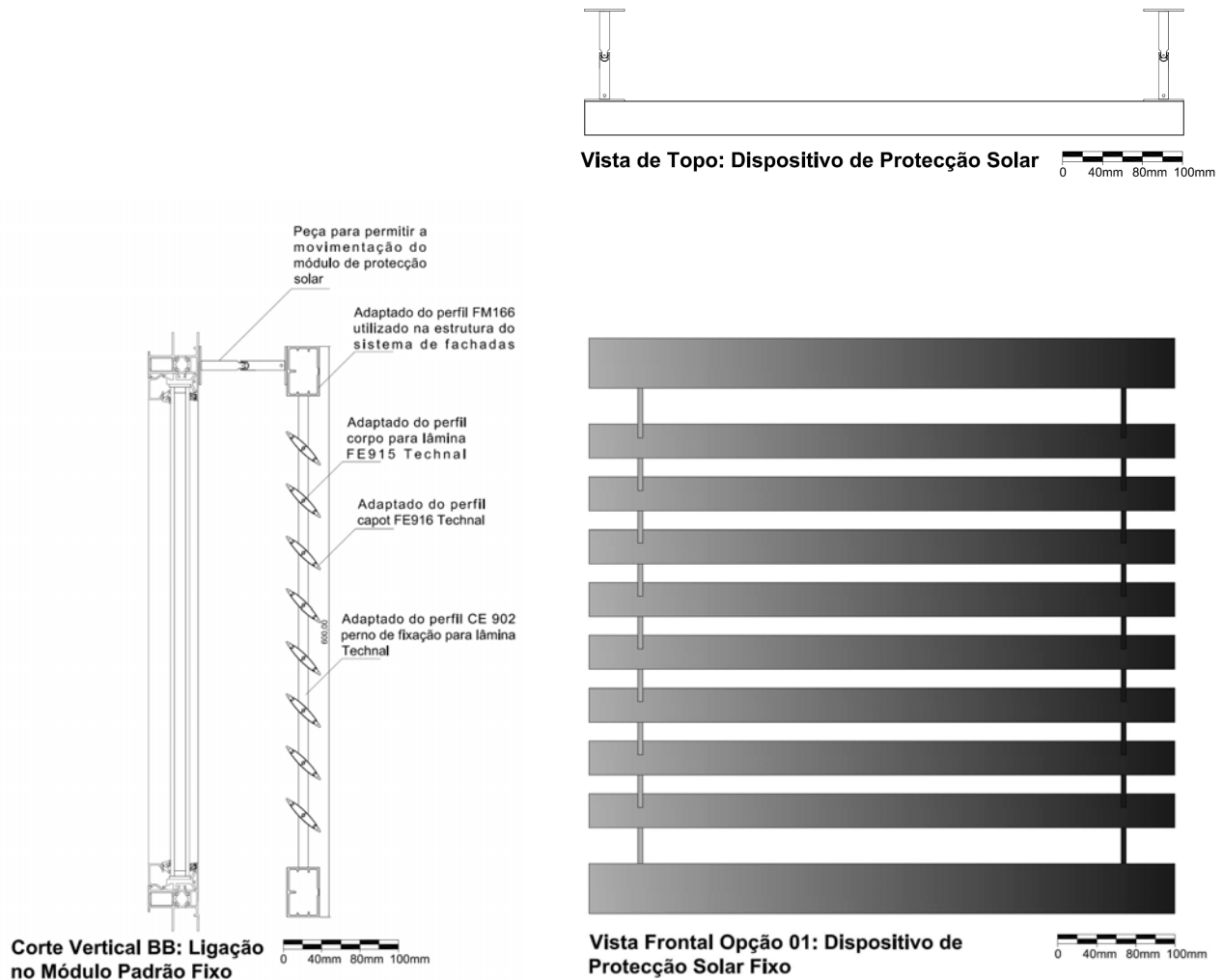


Figura 6.60 Corte e vistas do dispositivo de proteção solar.

A **Figuras 6.61** e **6.62** apresentam as possibilidades de posicionamento do módulo de proteção solar de acordo com o estudado anteriormente: paralelo à fachada, a 45° em relação a fachada e a 90° em relação a fachada.

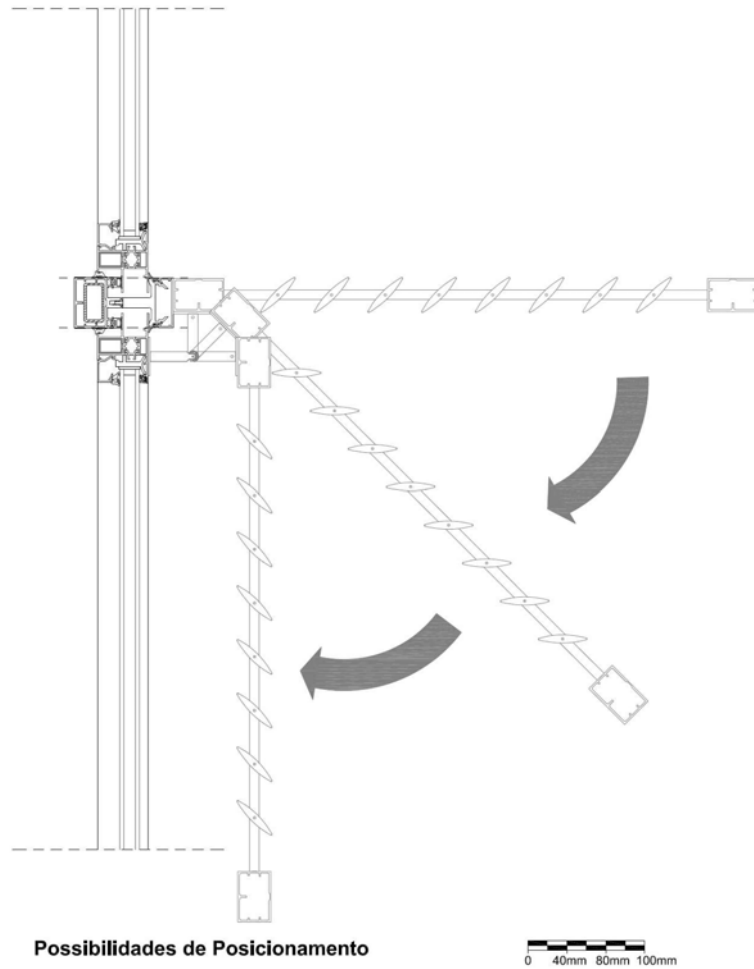


Figura 6.61 Possibilidades de Posicionamento.

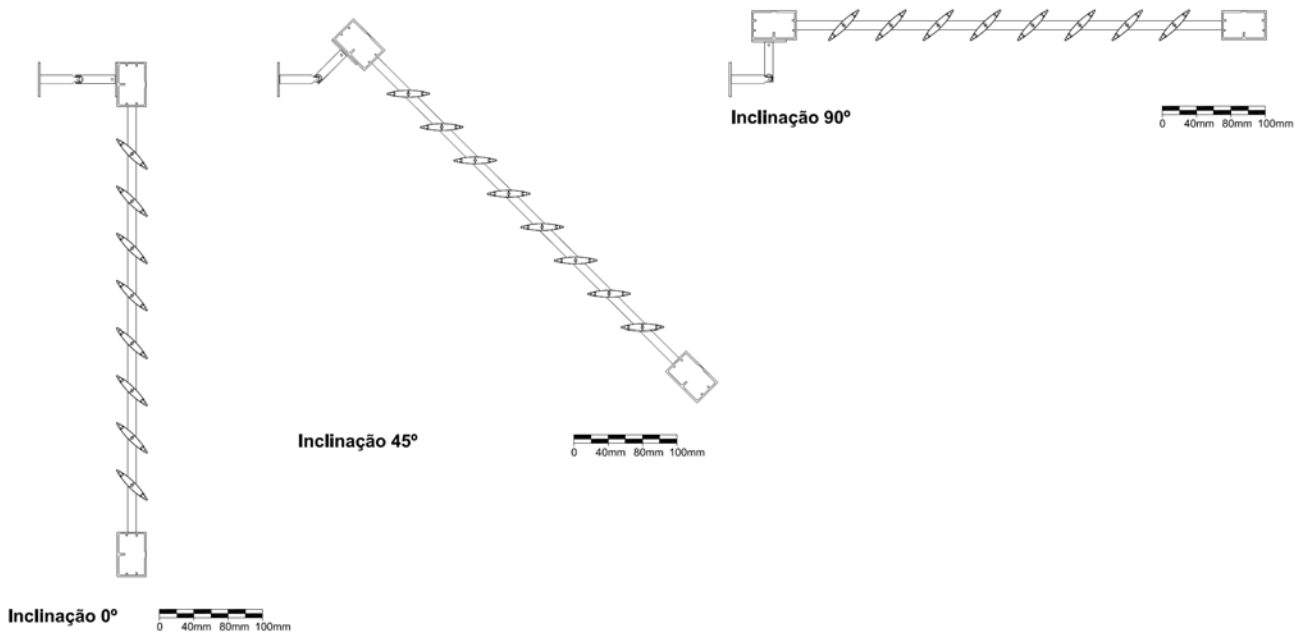


Figura 6.62 Possibilidades de inclinação do dispositivo de proteção solar ativadas.



A **Figura 6.63** apresenta a vista de uma segunda opção considerando que o módulo tenha os pequenos elementos (lâminas) móveis. Nesse caso, a vantagem seria uma proteção solar mais eficiente, uma vez que os elementos poderiam ser ativados ou desativados de acordo com a necessidade de radiação solar.



Figura 6.63 Vista de uma segunda opção considerando pequenas palas móveis.

As **Figuras 6.64** e **6.65** apresentam os pormenores dos componentes do módulo de proteção solar, sendo eles as lâminas compostas pelos perfis FE915 e o perno de fixação para as lâminas.

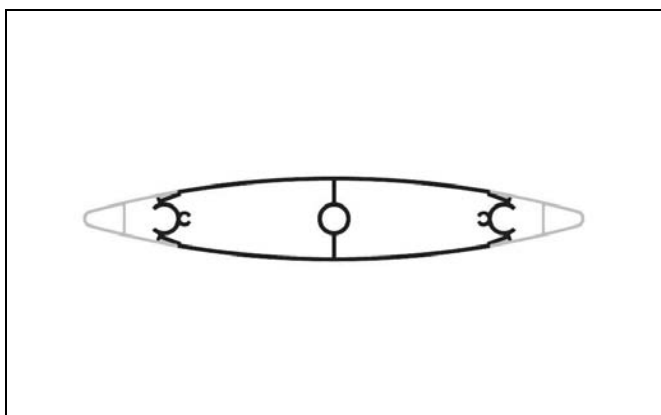


Figura 6.64 Pormenor do perfil FE915, inicialmente para lâmina de 300mm que foi adaptado para utilização.

Fonte: TECHNICAL, 2008.

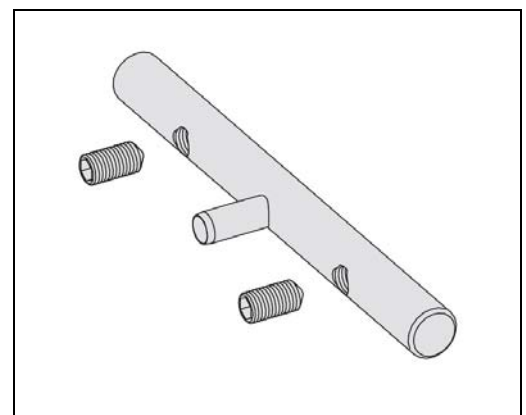


Figura 6.65 CE902 Perno de fixação para as lâminas FE915.

Fonte: TECHNICAL, 2008.

6.3.7 Módulo Fotovoltaico

Na definição do módulo fotovoltaico, a proposta era partir de informações sobre componentes e possibilidades existentes de uso. Com base nisso, a definição dos componentes do módulo fotovoltaico para o sistema de fachadas foi baseado numa proposta indicada para ser utilizada inicialmente sobre claraboias, ou seja, para ser instalada em elementos envidraçados de coberturas (KISS; KINKEAD, 1995) (**Figura 6.66**). Porém, no caso deste sistema em questão a utilização seria sobre fachadas. Apesar da composição do módulo ser recorrente, a sua forma, dimensões e o seu conceito de funcionamento como um “girassol” pode ser considerado inovador, pois a proposta é que através desse módulo seja possível buscar a orientação solar sul, de modo a ser mais eficiente em termos de geração energética.

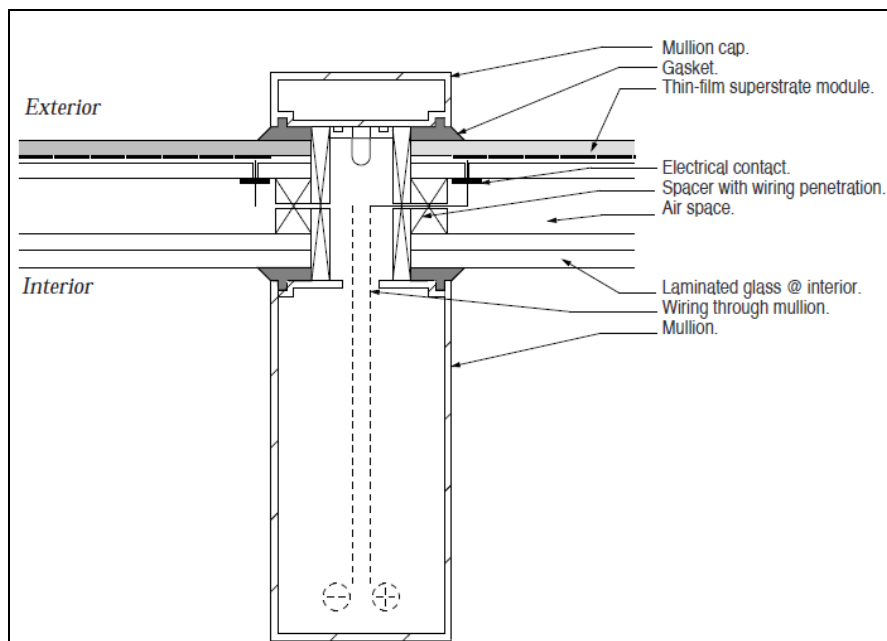


Figura 6.66 Pormenores em planta da unidade de isolamento exterior de um sistema fotovoltaico.

Fonte: KISS; KINKEAD, 1995.

O exemplo de detalhamento de um módulo fotovoltaico apresentado na **Figura 6.66** é composto por perfis verticais estruturais, juntas; módulo em silício amorfo (*thin-film*); contato elétrico; espaçador para passagem de fiação; espaço de ar; vidro laminado interior; fiação através do perfil de maior dimensão. Tal exemplo foi adaptado às características necessárias para o módulo fotovoltaico do sistema em questão.

As **Figuras 6.67 a 6.70** apresentam os pormenores do módulo fotovoltaico “girassol”. O módulo em questão foi desenvolvido com a possibilidade de buscar a direção do sol. Para tal, possibilita o movimento de rotação e inclinação em relação ao eixo horizontal do módulo



para cima e para baixo, por meio de uma peça única fixada a um módulo padrão, semelhante a um eixo cardã (cardan) de automóvel (**Figura 6.69**). O *design* do módulo com extremidades arredondadas se explica para evitar acidentes, caso seja instalado em fachadas com acesso a varandas, por exemplo (**Figura 6.68**).

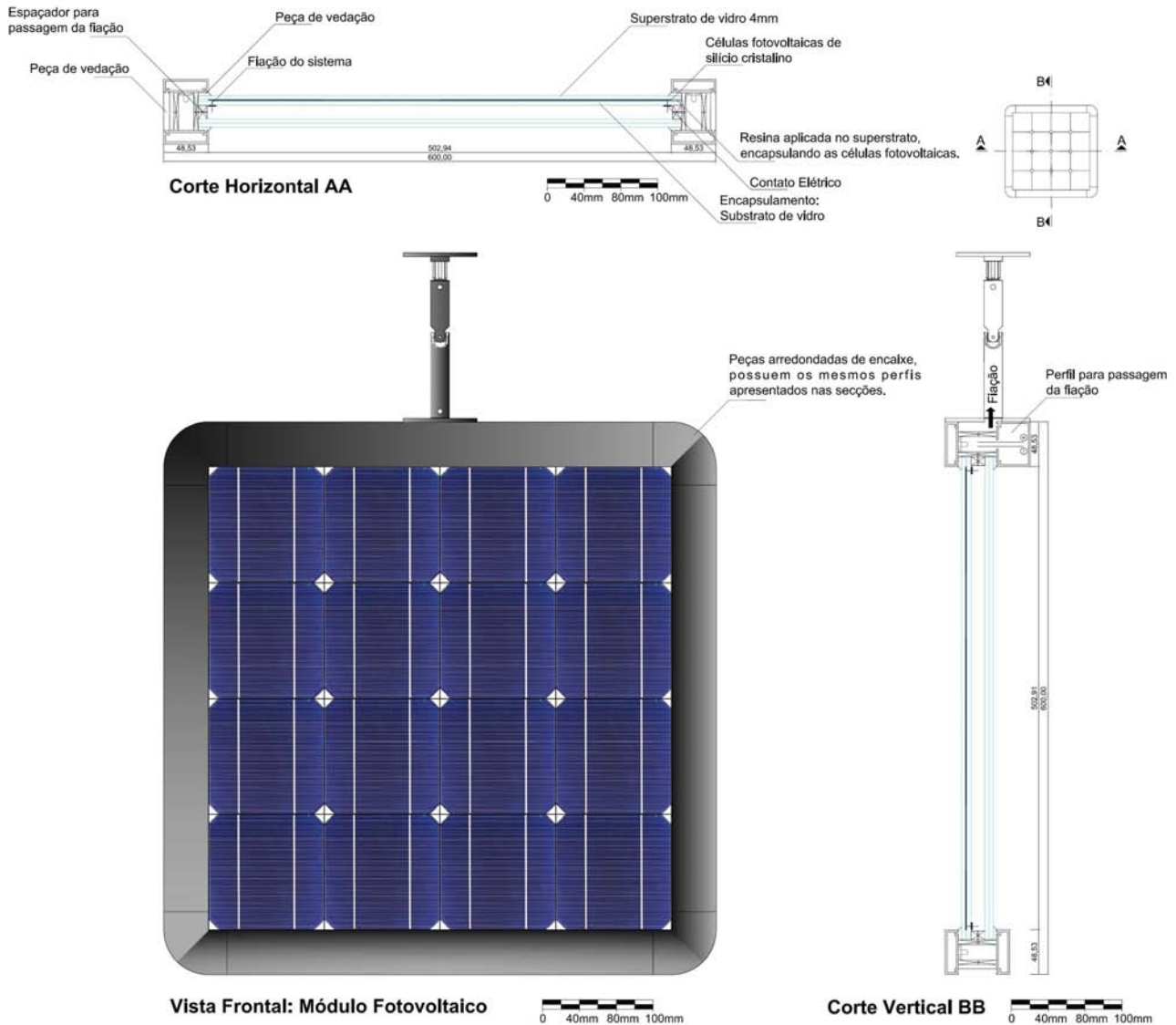


Figura 6.67 Cortes e vista do módulo fotovoltaico “girassol”.

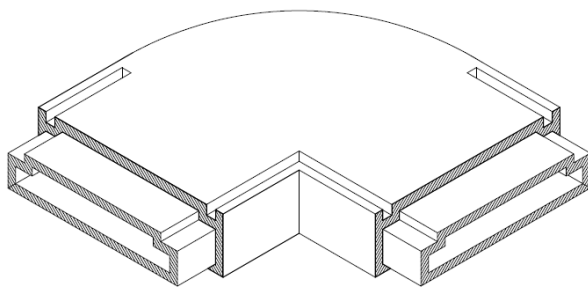


Figura 6.68 Perspetiva: Pormenor do elemento de ligação dos perfis horizontais e verticais.

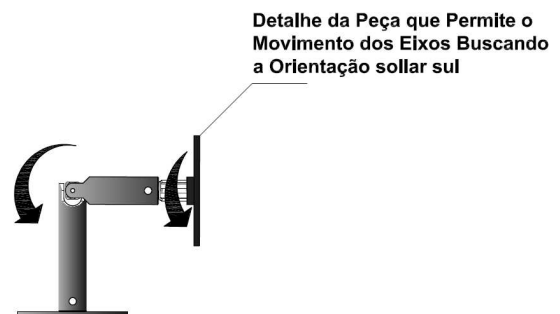


Figura 6.69 Pormenor da peça que permite a movimentação de rotação e em torno do eixo horizontal.

A **Figura 6.70** ilustra a possibilidade de buscar a orientação solar sul, que é a melhor em termos de captação de radiação solar para Portugal, através do movimento de rotação e inclinação da peça de encaixe em relação ao eixo horizontal do módulo para cima e para baixo.

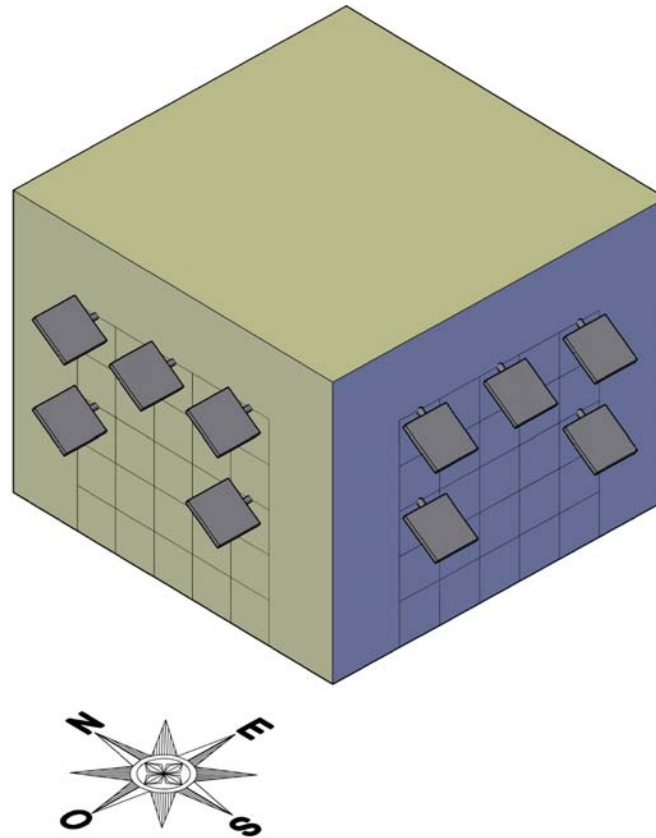


Figura 6.70 Utilização dos módulos na busca pela orientação solar sul.

6.3.8 Opções de Configuração do Sistema de Fachada

As **Figuras 6.71 a 6.79** indicam algumas configurações de fachada semelhantes às que obtiveram melhor desempenho no decorrer dos estudos de desenvolvimento deste trabalho de investigação e outras configurações possíveis para este sistema de fachadas.

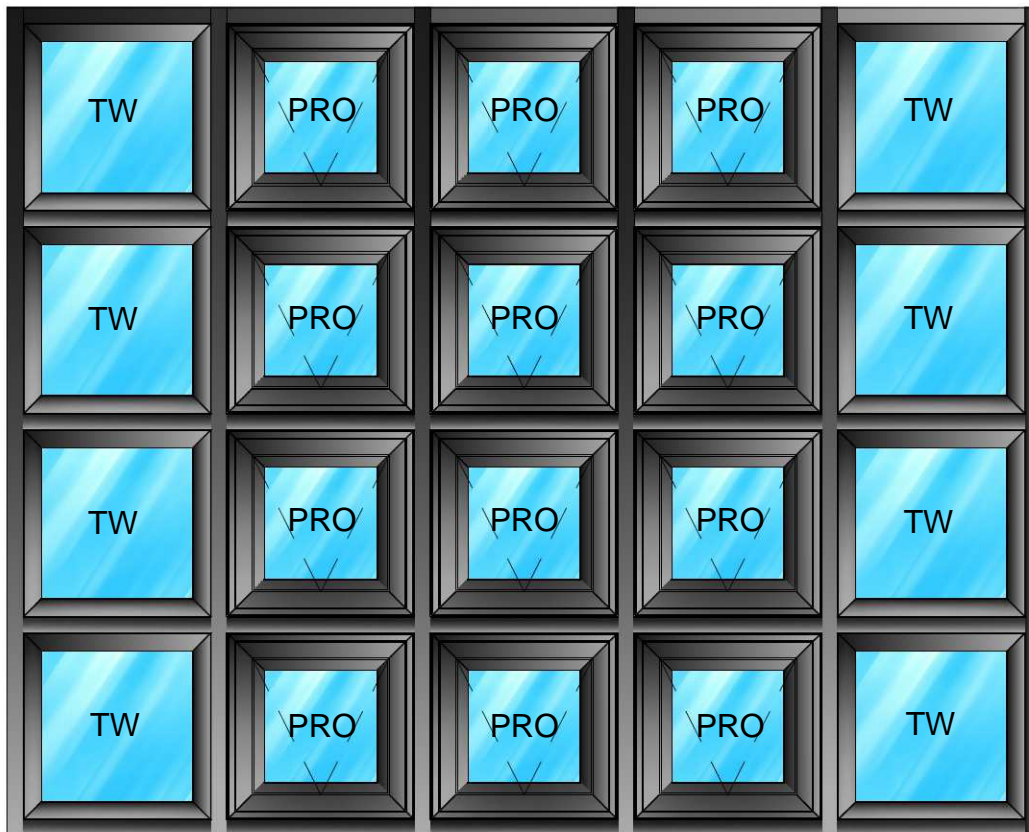


Figura 6.71 Módulo padrão projetante (PRO) e oito módulos parede de Trombe (TW) (1 parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe).



Figura 6.72 Módulo padrão projetante (PRO) e módulos parede de Trombe (TW).

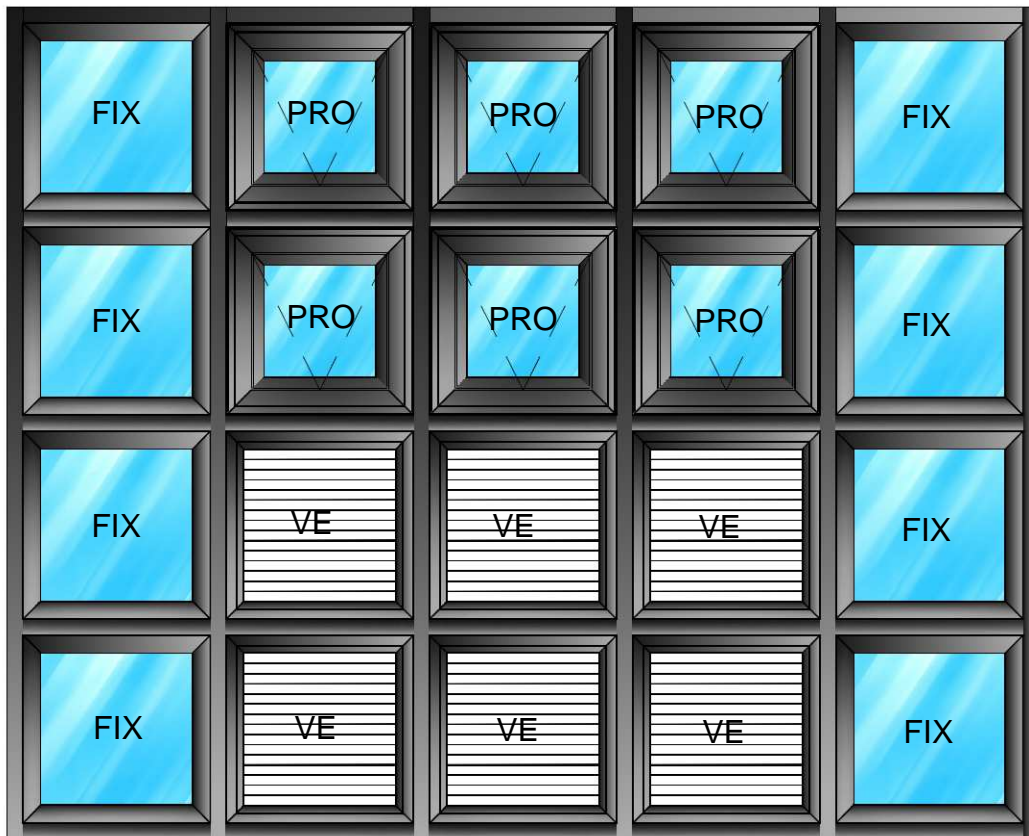


Figura 6.73 Módulo padrão fixo (FIX), projetante (PRO) e módulo de ventilação (VE).

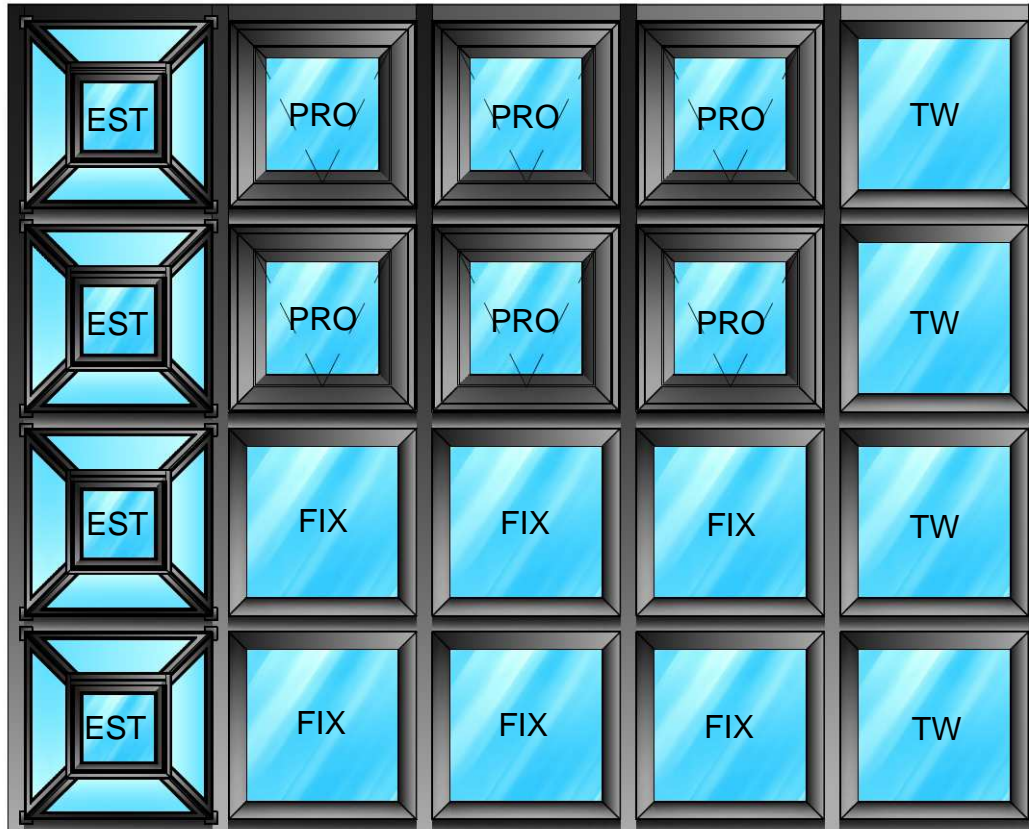


Figura 6.74 Módulo padrão fixo (FIX), projetante (PRO), módulo estufa (EST) e parede de Trombe (TW).

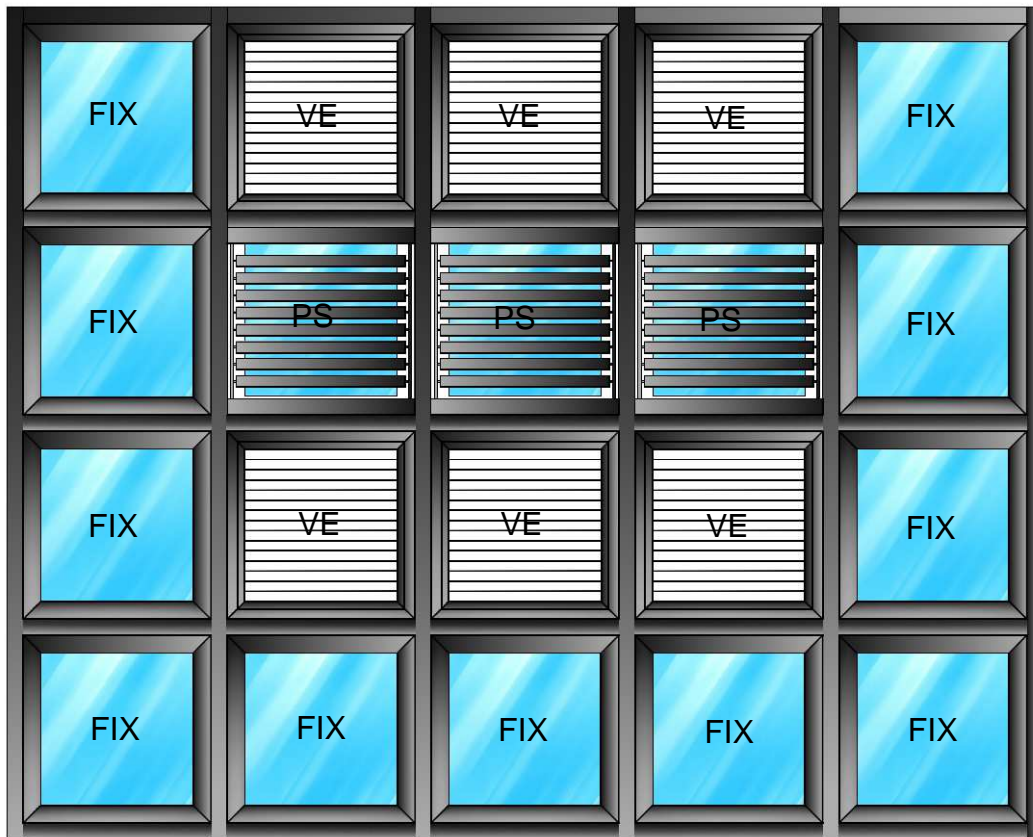


Figura 6.75 Módulo padrão fixo (FIX), módulo de ventilação (VE) e de proteção solar (PS).

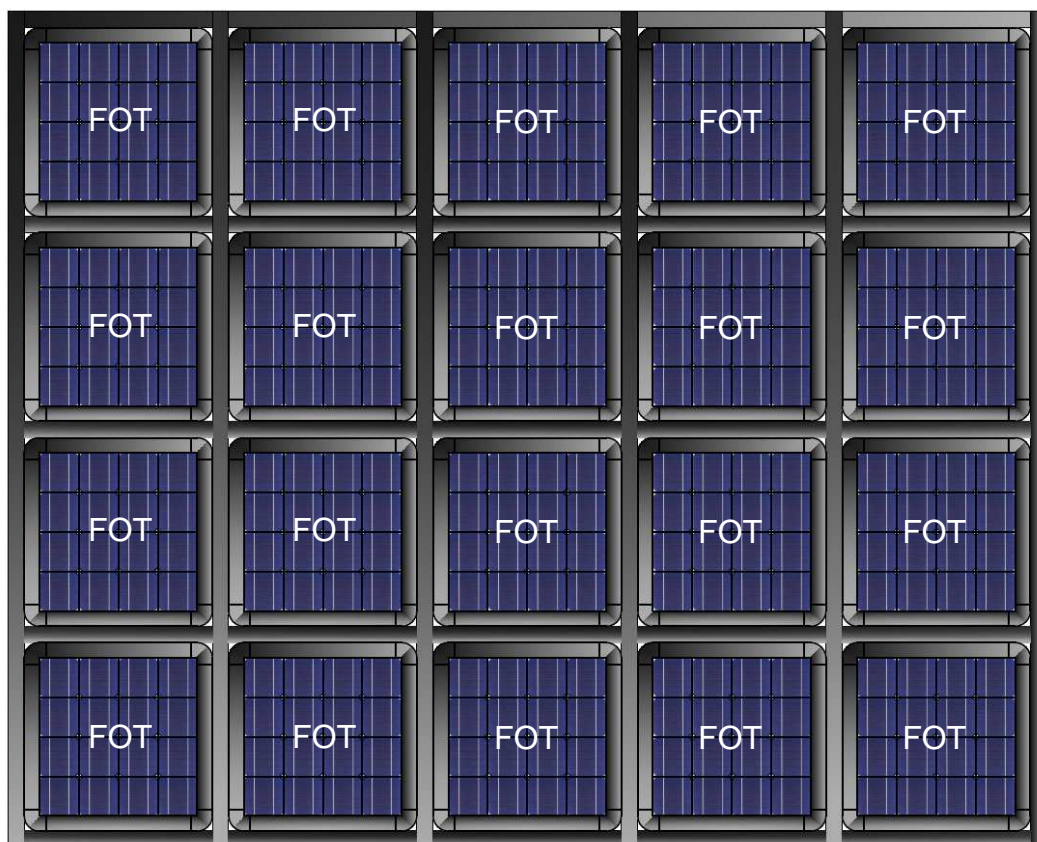


Figura 6.76 Módulo Fotovoltaico (FOT).

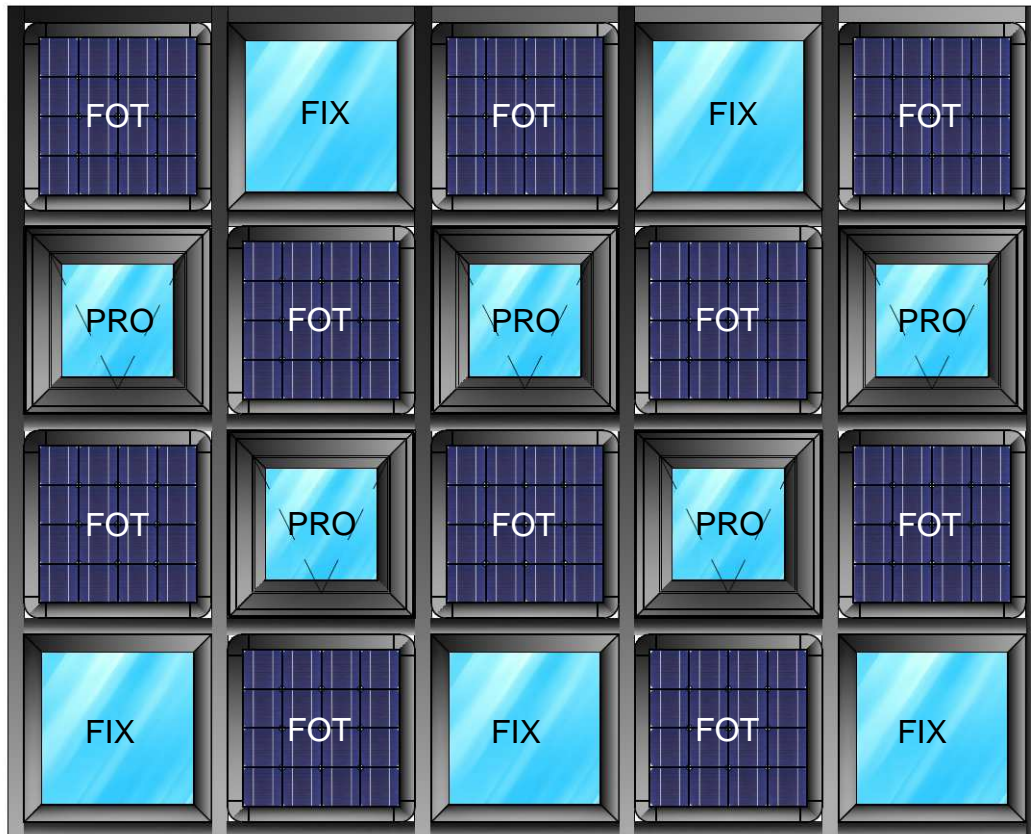


Figura 6.77 Possibilidades: módulo fotovoltaico (FOT), módulo padrão fixo (FIX) e projetante (PRO).

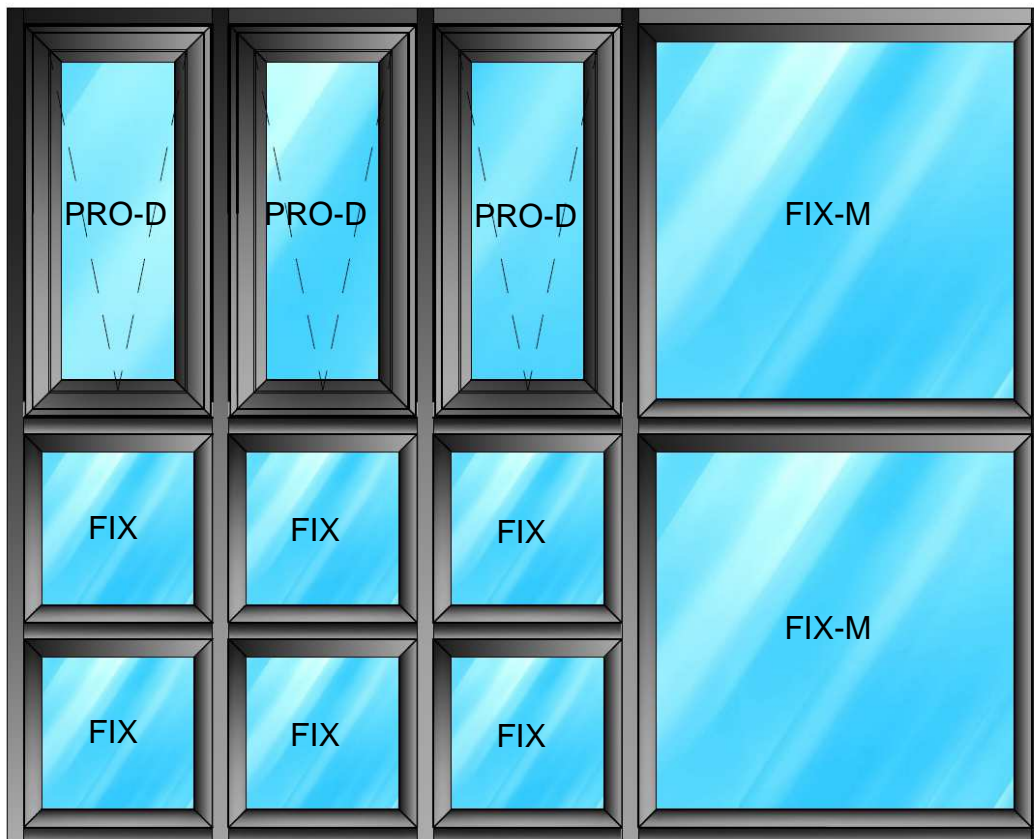


Figura 6.78 Possibilidades de desenvolvimento de módulos múltiplos a partir do módulo padrão fixo (FIX), módulo projetante duplo (PRO-D) e módulo fixo múltiplo (FIX-M).

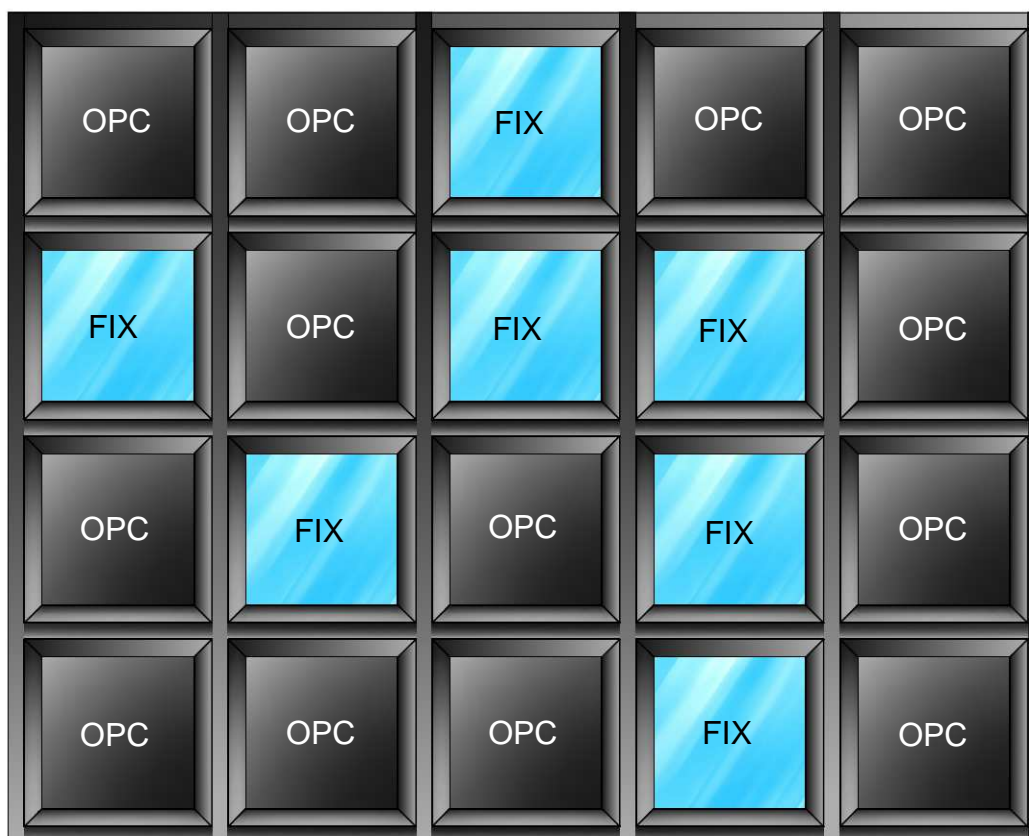


Figura 6.79 Módulo padrão fixo e possibilidade de criação e estudo de um módulo opaco (OPC).

O módulo opaco, bem como as opções de módulos múltiplos citados apenas como exemplo de configuração poderão ser estudados no desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados a este sistema de fachadas modular, pois não foram desenvolvidos neste trabalho de investigação.

6.4 Síntese das Recomendações para o Sistema de Fachadas

Em síntese, a **Tabela 6.2a-b** apresenta para cada clima estudado, as recomendações gerais em termos de envidraçados e soluções passivas de aquecimento e arrefecimento. Posteriormente essas recomendações serão melhor detalhadas. Salienta-se que o critério de determinação da solução ideal baseia-se no período de duração do inverno como apresentado anteriormente nos resultados.

Observa-se que para seis dos nove climas analisados é recomendado o uso de um envidraçado que auxilia na diminuição das necessidades energéticas de aquecimento, no caso, o vidro duplo composto por bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07). Em termos de solução passiva de aquecimento é indicado também, para seis dos nove climas analisados, o uso de uma ou duas paredes de Trombe. Para os climas restantes, uma



parede de Trombe apenas ou o uso de estufas já seria suficiente para diminuir o consumo energético no inverno. Em relação à orientação solar, recomenda-se que os envidraçados e soluções passivas de aquecimento sejam posicionadas na fachada sul, por ser a orientação solar que levou a uma maior diminuição de consumo energético (quando adicionadas soluções passivas e envidraçados), seguida pelas orientações este e oeste, que em grande parte dos resultados conduziram a valores próximos de consumo energético. Porém, durante o inverno, a quantidade de radiação incidente nas fachadas este e oeste é menor, limitando desta forma o ganho de calor solar.

Tabela 6.2a Recomendações para Fachadas por Clima.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Solução Passiva de Aquecimento | Solução Passiva de Arrefecimento |
|-------------------|----------------------------|---|--------------------------------|---|
| Bragança | 8,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Todas as soluções de ventilação analisadas e a adição de dispositivos de proteção solar foram suficientes para diminuir o consumo energético para arrefecimento em Bragança. Portanto, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar. Não se recomenda para Bragança as melhores soluções para ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |
| Coimbra | 6,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Évora | 5,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Faro | 4,3 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | 1 parede de Trombe ou estufas. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Funchal - Madeira | 3,89 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | 1 parede de Trombe ou estufas. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |

**Tabela 6.2b** Recomendações para Fachadas por Clima.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Solução Passiva de Aquecimento | Solução Passiva de Arrefecimento |
|----------------|----------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Guimarães | 7,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Como no caso de Bragança, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar durante o verão. Não se recomenda para Guimarães as melhores soluções de ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |
| Lajes - Açores | 4,0 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | 1 parede de Trombe ou estufas. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Lisboa | 5,3 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. |
| Porto | 6,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | 1 ou 2 paredes de Trombe. | Como no caso de Bragança, pode ser indicado o uso de módulos na parte superior ou inferior da fachada e dispositivos de proteção solar durante o verão. Não se recomenda para Porto as melhores soluções de ventilação, pois podem ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. |



















Para seis dos climas analisados (Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Lajes-Açores e Lisboa) recomenda-se em termos de soluções passivas de arrefecimento o uso de módulos de ventilação tanto na parte superior quanto na inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. Já para climas com duração de inverno acima de 6 meses como Bragança, Guimarães e Porto, recomenda-se o uso de módulos de ventilação na parte superior ou na parte inferior da fachada somente e dispositivos de proteção solar durante o verão. Isso porque ao indicar as soluções com as melhores condições de ventilação pode ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. Recomenda-se o posicionamento dos módulos de ventilação na direção dos ventos dominantes (se possível), para que a solução seja mais eficiente.

A **Tabela 6.3** apresenta de forma mais completa, os esquemas gráficos para as soluções de fachadas indicadas por clima. Nessa tabela são apresentados os climas, a duração do inverno para cada clima, os envidraçados, soluções passivas de aquecimento e arrefecimento recomendadas e as soluções finais indicadas. As soluções finais indicadas



serão posteriormente analisadas em termos de viabilidade económica o que indicará a escolha final da solução de fachada para cada clima.

Tabela 6.3-a Esquemas Gráficos das Recomendações para Fachadas.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Solução Passiva de Aquecimento | Solução Passiva de Arrefecimento | Solução Indicada | |
|----------|----------------------------|--|--|---|---|---|
| Bragança | 8,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe* (A) ou</p>  <p>2 Paredes de Trombe (B)</p> |  <p>Ventilação superior Proteção solar (C) ou</p>  <p>Ventilação inferior e proteção solar (D)</p> |  <p>(A) + (C) ou (A) +(D)</p>  <p>(B) +(D) ou (B) +(C)</p> | <p>- Envidraçado 07 - 1 ou 2 Paredes de Trombe; - Ventilação superior ou inferior; - Proteção solar.</p> |
| Coimbra | 6,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe (A)</p>  <p>2 Paredes de Trombe (B)</p> |  <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (C)</p>  <p>Peitoril ventilado e proteção solar (D)</p> |  <p>(A) + (C) ou (A) +(D)</p>  <p>(A) + (C) ou (A) +(D)</p> | <p>- Envidraçado 07 - 1 ou 2 Paredes de Trombe; - Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado; - Proteção solar.</p> |
| Évora | 5,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe (A)</p>  <p>2 Paredes de Trombe (B)</p> |  <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (C)</p>  <p>Peitoril ventilado e proteção solar (D)</p> |  <p>(A) + (C) ou (A) +(D)</p>  <p>(A) + (C) ou (A) +(D)</p> | <p>- Envidraçado 07 - 1 ou 2 Paredes de Trombe; - Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado; - Proteção solar.</p> |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas: Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).















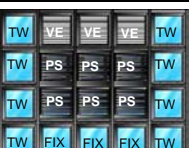

Observa-se que as soluções indicadas dão origem a três grupos formados pelos nove climas, ou seja, para cada três climas dentre os analisados são indicadas as mesmas soluções. Das nove soluções analisadas, as melhores soluções em termos de desempenho térmico foram as mesmas, ou seja, cada grupo é formado de acordo com o desempenho térmico obtido e a duração do inverno. Pode-se denominar tais grupos como: Grupo 1



(Bragança, Guimarães e Porto); Grupo 2 (Lisboa, Coimbra e Évora) e Grupo 3 (Lajes-Açores, Funchal-Madeira e Faro).

Para o Grupo 1 é indicado o uso do envidraçado 07; 1 ou 2 paredes de Trombe; ventilação superior ou inferior e dispositivos de proteção solar. Para o Grupo 2 é indicado o uso do envidraçado 07; 1 ou 2 paredes de Trombe; ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado e dispositivos de proteção solar. E para o Grupo 3 é indicado o uso do envidraçado 04, 1 parede de Trombe, estufas; ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado e dispositivos de proteção solar.

Tabela 6.3-b Esquemas Gráficos das Recomendações para Fachadas.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Solução Passiva de Aquecimento | Solução Passiva de Arrefecimento | Solução Indicada |
|-------------------|----------------------------|---|--|--|---|
| Faro | 4,3 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe e Estufas (A)</p> |  <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (B) ou</p>  <p>Peitoril ventilado e proteção solar (C)</p> |  <p>(A) + (B) ou</p>  <p>(A) + (C)</p> <p>- Envidraçado 04 - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado; - Proteção solar.</p> |
| Funchal - Madeira | 3,89 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe e Estufas (A)</p> |  <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (B) ou</p>  <p>Peitoril ventilado e proteção solar (C)</p> |  <p>(A) + (B) ou</p>  <p>(A) + (C)</p> <p>- Envidraçado 04 - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado; - Proteção solar.</p> |
| Guimarães | 7,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) |  <p>1 Parede de Trombe* (A) ou</p>  <p>2 Paredes de Trombe (B)</p> |  <p>Ventilação superior Proteção solar (C) ou</p>  <p>Ventilação inferior e proteção solar (D)</p> |  <p>(A) + (C) ou (A) + (D)</p>  <p>(B) + (D) ou (B) + (C)</p> <p>- Envidraçado 07 - 1 ou 2 Paredes de Trombe; - Ventilação superior ou inferior; - Proteção solar.</p> |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas: Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).



Tabela 6.3-c Esquemas Gráficos das Recomendações para Fachadas.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Solução Passiva de Aquecimento | Solução Passiva de Arrefecimento | Solução Indicada | |
|--------------|----------------------------|---|--|---|---|---|
| Lajes-Açores | 4,0 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | <p>1 Parede de Trombe e Estufas (A)</p> | <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (C)</p> <p>Peitoril ventilado e proteção solar (C)</p> | <p>(A) + (B) ou (A) + (C)</p> | <p>-Envidraçado 04</p> <p>- 1 Parede de Trombe;</p> <p>- Estufas;</p> <p>- Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado;</p> <p>- Proteção solar.</p> |
| Lisboa | 5,3 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | <p>1 Parede de Trombe (A)</p> <p>2 Paredes de Trombe (B)</p> | <p>Ventilação superior e inferior e proteção solar (D)</p> <p>Peitoril ventilado e proteção solar (D)</p> | <p>(A) + (C) ou (A) + (D)</p> <p>(A) + (C) ou (A) + (D)</p> | <p>- Envidraçado 07</p> <p>- 1 ou 2 Paredes de Trombe;</p> <p>- Ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado;</p> <p>- Proteção solar.</p> |
| Porto | 6,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | <p>1 Parede de Trombe* (A) ou 2 Paredes de Trombe (B)</p> | <p>Ventilação superior Proteção solar (C) ou Ventilação inferior e proteção solar (D)</p> | <p>(A) + (C) ou (A) + (D)</p> <p>(B) + (D) ou (B) + (C)</p> | <p>-Envidraçado 07</p> <p>- 1 ou 2 Paredes de Trombe;</p> <p>- Ventilação superior ou inferior;</p> <p>- Proteção solar.</p> |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas: Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).

A **Tabela 6.4** apresenta para cada clima estudado as recomendações em termos de sistemas fotovoltaicos, principalmente em relação ao tipo de tecnologia que se revelou ser mais eficiente. Neste caso, este tipo de módulo deverá ser instalado na orientação solar sul e ter a possibilidade de ser inclinado, tal como proposto no módulo fotovoltaico “girassol”, de forma a aumentar a eficiência em termos de captação da radiação e consequentemente maior geração de energia elétrica. Salienta-se que o módulo fotovoltaico “girassol” proposto possibilita a busca pela orientação solar a sul a partir das orientações solares oeste e este.

**Tabela 6.4** Recomendações para os Módulos Fotovoltaicos.

| Climas | Latitude* | Orientação Solar | Inclinação mais Eficiente | Tipo de Célula mais Eficiente | |
|-------------------|-----------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | | | | Solterm | Sunny Design |
| Bragança | N 41° 47' | Sul | 31 ou 36° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Coimbra | N 40° 12' | Sul | 35° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Évora | N 38° 34' | Sul | 33° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Faro | N 37° 1' | Sul | 32° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Funchal - Madeira | N 32° 39' | Sul | 27° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Guimarães | N 41 08' | Sul | 36° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Lajes - Açores | N 38° 46' | Sul | 28 ou 33° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Lisboa | N 38° 43' | Sul | 33° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |
| Porto | N 41° 13' | Sul | 31 ou 36° | Policristalina | Monocristalina Policristalina |

* Dados obtidos no ficheiro climático do EnergyPlus, utilizados nas simulações de desempenho térmico.

6.5 Análise Económica Simplificada

Nesta fase foi estimado o custo dos elementos componentes do sistema de fachadas, sendo eles: grelha estrutural para montagem do sistema; módulo padrão (fixo e móvel-projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”.

Tal estimativa foi executada através do sistema “Gerador de preços para construção civil” da CYPE Ingenieros, S.A. (CYPE, 2011), disponível on-line e inclui a composição de preços para a utilização em programas de medições, orçamentação, autos e controle financeiro da obra, instruções para a redação do manual de utilização e manutenção do edifício e informação comercial sobre produtos de fabricantes. Para melhor entendimento das tabelas da análise económica simplificada, salienta-se que:

- **Composição:** É a descrição dos unitários (materiais, maquinaria ou mão de obra);
- **Unidade:** É a unidade na qual é apresentado o unitário (material, maquinaria ou mão-de-obra) e o seu preço;
- **Rend:** É o rendimento de cada material, maquinaria ou mão-de-obra necessário para a execução do artigo em questão;



- **p.s.:** É o preço simples de cada material, maquinaria ou mão-de-obra;
- **Preço Artigo:** É a importância total para a execução do artigo em questão.

6.5.1 Grelha Estrutural

A grelha estrutural foi baseada no sistema grelha tradicional com rutura de ponte térmica, da "Technal", com estrutura de suporte calculada para uma sobrecarga máxima devida à ação do vento de 60kg/m². Foi possível obter neste caso uma estimativa de custo somente para o sistema composto por uma malha com uma separação entre montantes de 150cm e uma distância entre eixos da laje ou pontos de ancoragem de 280cm. Sendo que no caso do sistema em desenvolvimento neste trabalho de investigação a separação entre montantes será em torno de 60cm (**Tabela 6.5**).

Tabela 6.5 Custo por m²: Grelha Estrutural em Perfis de Alumínio.

| Grelha Estrutural em Alumínio | | | | | |
|--|---------|--------------|-------|---------------|--|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo | |
| Montante de alumínio, "TECHNAL", de 60x52 mm (Iy= 19,09 cm ⁴), acabamento anodizado prata mate, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização, inclusive junta central de estanquidade. | m | 1,071 | 19,67 | 21,07 | |
| Travessão de alumínio, "TECHNAL", de 60x52 mm (Iy= 19,09 cm ⁴), acabamento anodizado prata mate, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização, inclusive junta central de estanquidade. | m | 1,071 | 19,67 | 21,07 | |
| Peça de ancoragem pontual do vidro, de poliamida, para utilização com o sistema MX Contratapa Puntual grelha tradicional "TECHNAL". | m | 1,738 | 1,30 | 2,26 | |
| Tampa embelezadora de alumínio horizontal e vertical, para utilização com o sistema MX Contratapa Puntual grelha tradicional "TECHNAL", acabamento anodizado prata mate, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,810 | 7,56 | 21,24 | |
| Repercussão, por m ² , de acessórios de fachadas cortina para o sistema MX Contratapa Puntual grelha tradicional "TECHNAL", elementos de ancoragem e fixação e remates a obra. | Ud | 1,000 | 16,50 | 16,50 | |
| Cartucho de silicone sintético de cor Elastosil-605-S "SIKA", de 310 ml (rendimento aproximado em juntas de estanquidade de 2 m por cartucho). | Ud | 0,700 | 2,67 | 1,87 | |
| Oficial de 1ª serralheiro. | h | 0,713 | 16,34 | 11,65 | |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 95,66 | 2,87 | |
| Custo de manutenção decenal: 43,98€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 98,53€ | |



6.5.2 Módulo Padrão Fixo

O módulo fixo (60x60cm) inclui, como apresentado na pormenorização: caixilharia de alumínio, anodizado prata mate; sistema Saphir FXi "Technal", formada por uma folha fixa, com perfis providos de rutura de ponte térmica, e com pré-aro (**Tabela 6.6**).

Tabela 6.6 Custo por Unidade: Caixilharia para Módulo Padrão Fixo.

| Caixilharia para Módulo Padrão Fixo | | | | |
|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Pré-aro de perfil de alumínio em bruto de 49,8x49,8 mm de secção "TECHNAL". | m | 2,400 | 6,50 | 15,60 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de aro de janela, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", inclusive junta central de estanquidade, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,400 | 16,85 | 40,44 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de bite, sistema FXi, "TECHNAL", inclusive junta interior do envidraçado e parte proporcional de grampos, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,580 | 2,89 | 7,46 |
| Cartucho de pasta de silicone neutro para vedação de caixilharia exterior. | Ud | 0,084 | 3,13 | 0,26 |
| Oficial de 1ª serralheiro/Vidraceiro. | h | 4,271 | 16,34 | 69,79 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 133,55 | 4,01 |
| Custo de manutenção decenal: 30,00 € nos primeiros 10 anos. | | | Total | 137,56€ |

Envidraçados

Em termos de envidraçados, com base nos resultados de desempenho térmico e lumínico, de acordo com a localidade de aplicação e duração do inverno podem ser utilizados dois tipos de envidraçados: Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 455 verde 4mm - Planitherm Futur Ultra N) e Envidraçado 07 (Bioclean 4mm- Planilux4mm), cujos preços são indicados a seguir, ambos incluem calços e vedação contínua (**Tabela 6.7 e 6.8**).

**Tabela 6.7** Custo por m²: Envidraçado 07.

| Envidraçado 07 | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro duplo, conjunto constituído por vidro exterior de autolimpeza de 4mm (Bioclean), caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12 mm, e vidro interior <i>float</i> incolor (Planilux) de 4mm de espessura. | m ² | 1,006 | 28,20 | 28,37 |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho). | Ud | 0,580 | 2,42 | 1,40 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 31,03 | 0,93 |
| Custo de manutenção decenal: 9,21€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 31,96€ |

Tabela 6.8 Custo por m²: Envidraçado 04.

| Envidraçado 04 | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro duplo de controlo solar, conjunto constituído por vidro exterior de controlo solar (Cool Lite KNT 455), cor verde de 4mm, caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12 mm, e vidro interior <i>low-e</i> (Planitherm Ultra N) 4mm de espessura. | m ² | 1,006 | 58,39 | 58,74 |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho). | Ud | 0,580 | 2,42 | 1,40 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 61,40 | 1,84 |
| Custo de manutenção decenal: 17,53€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 63,24€ |

6.5.3 Módulo Padrão Projetante

O módulo padrão projetante (60x60cm) inclui, como apresentado na pormenorização: caixilharia de alumínio anodizado prata mate; folha com dobradiças projetante-deslizante de abertura para o exterior; sistema Saphir FXi "TECHNAL", formada por uma folha; perfis providos de rutura de ponte térmica e pré-aro (**Tabela 6.9**).

**Tabela 6.9** Custo por Unidade: Caixilharia para Módulo Padrão Projetante.

| Caixilharia para Módulo Padrão Projetante | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Pré-aro de perfil de alumínio em bruto de 49,8x49,8 mm de secção "TECHNAL". | m | 2,400 | 6,50 | 15,60 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de aro de janela, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", inclusive junta central de estanquidade, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,400 | 16,85 | 40,44 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de folha de janela, sistema FXi, "TECHNAL", inclusive junta de estanquidade e junta exterior do envidraçado, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,200 | 17,25 | 37,95 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de bite, sistema FXi, "TECHNAL", inclusive junta interior do envidraçado e parte proporcional de grampos, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 1,840 | 2,89 | 5,32 |
| Cartucho de pasta de silicone neutro para vedação de caixilharia exterior. | Ud | 0,084 | 3,13 | 0,26 |
| Kit composto por esquadros, tampas de condensação e saída de água, e ferragens de janela projetante-deslizante de uma folha. | Ud | 1,000 | 16,65 | 16,65 |
| Oficial de 1ª serralheiro/Vidraceiro | h | 5,375 | 16,34 | 87,83 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 204,05 | 6,12 |
| Custo de manutenção decenal: 39,27€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 210,17€ |

Envidraçados

Como no módulo padrão fixo, de acordo com a localidade de aplicação e duração do inverno podem ser utilizados dois tipos de envidraçados no módulo padrão projetante: Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 455 verde 4mm - Planitherm Futur Ultra N) e Envidraçado 07 (Bioclean 4mm- Planilux4mm), cujos preços são indicados a seguir, ambos incluem calços e vedação contínua (**Tabela 6.10** e **Tabela 6.11**).

**Tabela 6.10** Custo por m²: Envidraçado 07.

| Envidraçado 07 | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro duplo, conjunto constituído por vidro exterior de autolimpeza de 4mm (Bioclean), caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12 mm, e vidro interior <i>float</i> incolor (Planilux) de 4mm de espessura. | m ² | 1,006 | 28,20 | 28,37 |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho). | Ud | 0,580 | 2,42 | 1,40 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 31,03 | 0,93 |
| Custo de manutenção decenal: 9,21€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 31,96€ |

Tabela 6.11 Custo por m²: Envidraçado 04.

| Envidraçado 04 | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro duplo de controlo solar, conjunto constituído por vidro exterior de controlo solar (Cool Lite KNT 455), cor verde de 4mm, caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12 mm, e vidro interior <i>low-e</i> (Planitherm Ultra N) 4mm de espessura. | m ² | 1,006 | 58,39 | 58,74 |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho). | Ud | 0,580 | 2,42 | 1,40 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 61,40 | 1,84 |
| Custo de manutenção decenal: 17,53€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 63,24€ |

6.5.4 Módulo Parede de Trombe

O módulo parede de Trombe (60x60cm) possui a mesma composição que o módulo padrão fixo que inclui: caixilharia de alumínio anodizado prata mate; sistema Saphir FXi "Technal", formada por uma folha fixa, com perfis providos de rutura de ponte térmica, e com pré-aro (**Tabela 6.12**).

Na análise para o módulo parede de Trombe foi considerada nos cálculos o custo da massa térmica necessária para o funcionamento do sistema, porém, pretende-se utilizar paredes existentes e transforma-las em paredes de Trombe se possível.

**Tabela 6.12** Custo por Unidade: Caixilharia para Módulo Parede de Trombe.

| Caixilharia para Módulo Parede de Trombe | | | | |
|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Pré-aro de perfil de alumínio em bruto de 49,8x49,8 mm de secção "TECHNAL". | m | 2,400 | 6,50 | 15,60 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de aro de janela, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", inclusive junta central de estanquidade, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,400 | 16,85 | 40,44 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de bite, sistema FXi, "TECHNAL", inclusive junta interior do envidraçado e parte proporcional de grampos, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,580 | 2,89 | 7,46 |
| Cartucho de pasta de silicone neutro para vedação de caixilharia exterior. | Ud | 0,084 | 3,13 | 0,26 |
| Oficial de 1ª serralheiro. | h | 4,271 | 16,34 | 69,79 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 133,55 | 4,01 |
| Custo de manutenção decenal: 30,00 € nos primeiros 10 anos. | | | Total | 137,56€ |

Envidraçados

Em termos de envidraçados, a configuração do módulo parede de Trombe é diferente dos demais módulos envidraçados, sendo composto por vidro duplo extraclaro incolor (Diamant) de 4mm, caixa-de-ar de 12mm, e vidro extraclaro incolor (Diamant) de 4mm de espessura (**Tabela 6.13**).

Tabela 6.13 Custo por m²: Envidraçado Parede de Trombe.

| Envidraçado – Parede de Trombe | | | | |
|---|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro duplo standard, conjunto constituído por vidro exterior <i>float</i> incolor (Diamant) de 4mm, caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12mm, e vidro interior <i>float</i> incolor (Diamant) de 4mm de espessura. | m ² | 1,006 | 15,38 | 15,47 |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310 ml (rendimento aproximado de 12 m por cartucho). | Ud | 0,580 | 2,42 | 1,40 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 18,13 | 0,54 |
| Custo de manutenção decenal: 6,36€ nos primeiros 10 anos. | | | Total | 18,67€ |



Massa Térmica - Parede de Betão

Foi considerado, para o caso de não ter parede existente para ser utilizada como massa térmica o custo de uma parede de betão de 15cm de espessura com pintura de cor negra para ser utilizada juntamente com os módulos parede de Trombe (**Tabela 6.14**).

Tabela 6.14 Custo por m²: Parede de Betão para Parede de Trombe.

| Betão – Parede de Trombe | | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Painel arquitetónico bicamada de betão armado, de 15 cm de espessura, resistência à compressão > 25.000 kN/m ² e resistência à flexão-tração > 4.000 kN/m ² , composto por cimento, inertes de granulometria selecionada, malha electrossoldada e varões de reforço de aço. | m ² | 1,000 | 72,00 | 72,00 |
| Oficial de 1 ^a construção. | h | 0,202 | 16,08 | 3,25 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 75,25 | 2,26 |
| Custo de manutenção decenal: 6,49€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 77,51€ |

O betão apresenta inconvenientes para ser pintado, uma vez que além da alcalinidade do cimento, a superfície produzida pelas cofragens é lisa e dificulta consideravelmente a aderência da tinta. Desta forma, as superfícies de betão a pintar devem estar limpas, secas e sem impurezas nem leitosidades, eliminando-se as esquinas vivas e rugosidades provenientes das cofragens ou salpicos de outros betões (**Tabela 6.15**).

Tabela 6.15 Custo por m²: Pintura de Cor Preta para Parede de Betão.

| Pintura de Cor Preta – Parede de Trombe | | | | |
|--|----------------|--------------|-------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Tinta autolimpável à base de resinas de Pliolite e dissolventes orgânicos, resistente à intempérie, água da chuva, ambientes marinhos e chuva ácida, cor branca, acabamento mate, aplicada com broxa, rolo ou pistola. | l | 0,200 | 11,16 | 2,23 |
| Tinta plástica para exterior à base de um copolímero acrílico-vinílico, impermeável à água da chuva e permeável ao vapor de água, antibolor, cor preta, acabamento mate, aplicada com broxa, rolo ou pistola. | l | 0,200 | 10,24 | 2,05 |
| Oficial de 1 ^a pintor. | h | 0,202 | 16,08 | 3,25 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 7,53 | 0,23 |
| Custo de manutenção decenal: 19,65€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 7,76€ |



6.5.5 Módulo Estufa

Como no caso do módulo de estufa não seria possível obter no banco de dados consultado uma solução compatível com a proposta neste sistema de fachadas, foram utilizados o preço de perfis de alumínio destinado a grades (utilizados para montagem do volume da estufa) e o preço de vidro simples de 4mm (**Tabelas 6.16 e 6.17**).

Tabela 6.16 Custo por m²: Perfis de Alumínio para Módulo de Estufa.

| Perfis de Alumínio para Montagem de Vidros – Estufa | | | | |
|--|----------------|--------------|-------|---------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Perfis de alumínio anodizado natural, verticais de 30x15 mm, fixadas a caixilho de 40x25 mm. | m ² | 1,000 | 60,09 | 60,09 |
| Repercussão, por m ² de grade, de elementos de fixação sobre os módulos fixos: buchas e parafusos de aço. | Ud | 1,000 | 2,04 | 2,04 |
| Oficial de 1 ^a serralheiro/Vidraceiro | h | 0,478 | 16,34 | 7,81 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 69,94 | 2,10 |
| Custo de manutenção decenal: 5,70€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 72,04€ |

Tabela 6.17 Custo por m²: Envidraçado para Módulo de Estufa.

| Envidraçado – Estufa | | | | |
|---|----------------|--------------|-------|---------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Vidro incolor (Diamant), 4mm. Segundo NP EN 410 e NP EN 673. | m ² | 1,006 | 13,21 | 13,29 |
| Vedação de juntas mediante aplicação com pistola de silicone sintético incolor. | m | 3,500 | 0,85 | 2,98 |
| Material auxiliar para a colocação de vidros. | Ud | 1,000 | 1,26 | 1,26 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 17,53 | 0,53 |
| Custo de manutenção decenal: 6,25€ nos primeiros 10 anos. | | Total | | 18,06€ |

6.5.6 Módulo de Ventilação

O módulo de ventilação será composto pelo mesmo tipo de perfis de alumínio do módulo padrão fixo (60x60cm) que inclui, como apresentado na pormenorização: caixilharia de alumínio, anodizado prata mate; sistema Saphir FXi "Technal", formada por uma folha fixa, com perfis providos de rutura de ponte térmica, e com pré-aro. Além disso, são incluídas as lâminas fixas da grelha de alumínio anodizado cor natural (**Tabela 6.18 e Tabela 6.19**).

**Tabela 6.18** Custo por Unidade: Caixilharia para Módulo de Ventilação.

| Caixilharia para Módulo de Ventilação | | | | |
|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Pré-aro de perfil de alumínio em bruto de 49,8x49,8 mm de secção "TECHNAL". | m | 2,400 | 6,50 | 15,60 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de aro de janela, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", inclusive junta central de estanquidade, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,400 | 16,85 | 40,44 |
| Perfil de alumínio anodizado prata mate, para formação de bite, sistema FXi, "TECHNAL", inclusive junta interior do envidraçado e parte proporcional de grampos, com o selo EWAA-EURAS, que garante a espessura e a qualidade do processo de anodização. | m | 2,580 | 2,89 | 7,46 |
| Cartucho de pasta de silicone neutro para vedação de caixilharia exterior. | Ud | 0,084 | 3,13 | 0,26 |
| Oficial de 1ª serralheiro | h | 4,271 | 16,34 | 69,79 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 133,55 | 4,01 |
| Custo de manutenção decenal: 30,00 € nos primeiros 10 anos. | | | Total | 137,56€ |

Tabela 6.19 Custo por m²: Grelha para Módulo de Ventilação.

| Grelha de Ventilação | | | | |
|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Gelósia de lâminas fixas de alumínio anodizado natural. | m ² | 1,020 | 34,67 | 35,36 |
| Cartucho de pasta de silicone neutro para vedação de caixilharia exterior. | Ud | 0,035 | 3,13 | 0,11 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 35,47 | 1,06 |
| Custo de manutenção decenal: 11,06€ nos primeiros 10 anos. | | | Total | 36,53€ |

6.5.7 Módulo de Proteção Solar

O módulo de proteção solar (60x60cm) inclui gelósia fixa com ligações de alumínio e lâminas fixas verticais de alumínio⁷⁸, com acabamento anodizado natural (**Tabela 6.20**).

⁷⁸ Neste caso foi possível obter preços somente para lâminas fixas verticais de alumínio de 120mm de largura.

**Tabela 6.20** Custo por m²: Grelha para Módulo de Proteção Solar.

| Módulo Proteção Solar | | | | |
|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| Composição | Unidade | Rend. | p.s. | Preço Artigo |
| Repercussão, por m ² de grade, de elementos de fixação sobre parede de alvenaria: buchas e parafusos de aço. | Ud | 1,000 | 2,04 | 2,04 |
| Gelosia fixa, formada por uma estrutura portante de montantes de alumínio sobre a que se fixam, através de ancoragens especiais, lâminas fixas de alumínio, de 120 mm de largura, acabamento lacado. | m ² | 1,000 | 30,00 | 30,00 |
| Oficial de 1 ^a serralheiro. | h | 1,002 | 16,34 | 16,37 |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 58,41 | 1,75 |
| Custo de manutenção decenal: 32,69€ nos primeiros 10 anos. | | | Total | 60,16€ |

6.5.8 Módulo Fotovoltaico

Em termos de custo, para a área de captação considerada nas simulações dos módulos fotovoltaicos (6,25m²) o software Solterm 5.0 conduziu a como dados da análise económica os seguintes resultados, para praticamente todos os sistemas (**Tabela 6.21**):

Tabela 6.21 Análise económica do Sistema Fotovoltaico.

| Análise Económica | |
|------------------------------|---------------------|
| Área de Captação | 6,25 m ² |
| Tempo de Vida da Instalação | 20 anos |
| Renovação de Componentes | 11 ^o ano |
| Componente Fixa do Preço | 600€ |
| Componente Variável do Preço | 450€/m ² |
| Preço Total do sistema | 600€ |
| Manutenção Anual | 1% |

No que se refere aos preços que atualmente se praticam no mercado, foi possível a obtenção deste tipo de informação, através de consulta direta a três empresas ligadas às áreas de construção e energias renováveis, situadas em Portugal.

De acordo com dados do Departamento de Climatização e Energias Renováveis fornecidos pela empresa António da Costa Carvalho & Ca., Lda. (Empresa A) (CARVALHO, 2011), um sistema fotovoltaico com tecnologia policristalina com 4,4kW de potência, composta por 20 módulos de 220W, fixo, custa cerca de 18000€ (preço geral venda ao público). Tendo por base a dimensão de um coletor solar, por exemplo, o Suntech 220 (SUNTECH, 2010), 1665x991mm (área de 1.65m²), o preço ficaria por volta de 545,45€/m², ou seja, um valor por m² um pouco mais elevado do que o indicado pelo Solterm (450€/m²).



Já a empresa Sanitop (Empresa B) apresenta, para um sistema fotovoltaico com 3,68 kW de potência máxima de ligação, composto por vinte módulos Mprime, de tecnologia policristalina de 230 W (MPRIME, 2011), com uma área total de 32m² e com inversor SMA Sunny Boy 4000TL/V de 3,68 kW de potência AC, um custo total de 16950€ para um sistema fixo, ou seja, cerca de 529,69€/m², e 22600€ para um sistema com seguidor solar, cerca de 706,25€/m² (FONSECA, 2011). Os dados recolhidos referentes a este investimento fazem uma previsão de um rendimento em € equiparado ao investimento inicial passível de ser alcançado num período estimado de aproximadamente, 6,5 anos.

Neste sentido, com base nos valores relativos ao sistema fixo, pode-se verificar que o preço por m² de coletor é ligeiramente superior ao obtido no Solterm, tendo em conta que foram estas as condições utilizadas nas simulações de geração energética.

Um terceiro orçamento consultado, a empresa Portuguesa *Domus Solaris equipamentos e soluções unipessoal*, Lda. (Empresa C), comercializa um sistema fotovoltaico com 3,68kW de potência, composto por dezoito módulos de tecnologia policristalina de 230W, com inversor Sunny Boy de 3,68kW de potência, com uma área total de 35m², apresentando um custo total de 19126€, isto é, cerca de 546,46€/m², um valor também ligeiramente superior ao obtido pelo Solterm.

A **Tabela 6.22** apresenta todos os valores obtidos por m² para sistemas fotovoltaicos policristalinos (sistemas com melhor rendimento na microgeração energética). Tais orçamentos foram fornecidos por empresas Portuguesas. Observa-se que o custo por m² ficou em torno de 540€/m².

Tabela 6.22 Sistema Fotovoltaico – Preço/m²

| Síntese – Preço/m ² | | |
|--------------------------------|----------------|----------------------|
| Empresas x Solterm | Tecnologia | Preço/m ² |
| Solterm | - | 450,00€ |
| Empresa A | Policristalina | 545,45€ |
| Empresa B | Policristalina | 529,69€ |
| Empresa C | Policristalina | 546,46€ |
| Valor Médio | - | 540,53€ |

6.5.9 Custo Final por Módulo

Em síntese, a **Tabela 6.23** apresenta o preço unitário de cada componente e opções para os módulos e a **Tabela 6.24** apresenta o que seria o preço final para cada módulo do sistema de fachadas em questão.

O preço da grelha estrutural para fixação dos módulos estará de acordo com o número de módulos a instalar, sendo assim, tem-se somente seu valor em €/m². Com base



na pormenorização foram calculadas as áreas envidraçadas, as áreas de grelhas e área da superfície envidraçada do módulo de estufa. Além disso, foi estimado um valor de 250,00€ para peças extras necessárias no módulo fotovoltaico. Observam-se valores mais elevados para os módulos padrão projetante e para o módulo fotovoltaico, que possuem um maior número de peças e pormenores.

Tabela 6.23 Preço de componentes dos módulos por unidade ou m².

| Custo Unitário de Componentes dos Módulos | | | | |
|---|---|--|--|------------------------------------|
| Grelha Estrutural | Grelha Estrutural (m ²) 98,53€ | | | |
| Módulo Padrão Fixo | Caixilharia (Un) 137,56€ | Envidraçado 04 (m ²) 63,24€ | Envidraçado 07 (m ²) 31,96€ | |
| Módulo Padrão Projetante | Caixilharia (Un) 210,17€ | Envidraçado 04 (m ²) 63,24€ | Envidraçado 07 (m ²) 31,96€ | |
| Módulo Parede de Trombe | Caixilharia (Un) 137,56€ | Envidraçado Trombe (m ²) 18,67€ | Betão (m ²) 77,51€ | Pintura (m ²) 7,76€ |
| Módulo de Ventilação | Caixilharia (Un) 137,56€ | Grelha de Ventilação (m ²) 36,53€ | | |
| Módulo de Proteção Solar | Grelha de Proteção Solar (Un) 49,86€ | | | |
| Módulo Estufa | Perfis de Alumínio (m ²) 72,04€ | | Envidraçado Estufa (m ²) 18,06€ | |
| Módulo Fotovoltaico | Sistema Fotovoltaico (m ²) 540,53€ | | | |

Os valores da **Tabela 6.24** apresentados abaixo se referem aos módulos com uma área de 60x60cm² para todos os casos.

Tabela 6.24 Preço Final dos Módulos do Sistema de Fachada.

| Custo Total dos Módulos do Sistema de Fachada | | | | |
|---|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|
| Módulo Padrão Fixo | Opções | Preço Caixilharia | Preço Vidro* | Preço Total € |
| | Envidraçado 04 | 137,56 | 18,21 | 155,77 |
| | Envidraçado 07 | 137,56 | 9,20 | 146,76 |
| Módulo Padrão Projetante | Opções | Preço Caixilharia | Preço Vidro* | Preço Total € |
| | Envidraçado 04 | 210,17 | 13,66 | 223,83 |
| | Envidraçado 07 | 210,17 | 6,90 | 217,07 |
| Módulo Parede de Trombe | Preço Parede | Preço Caixilharia | Preço Vidro* | Preço Total € |
| | 30,70 | 137,56 | 5,38 | 173,63 |
| Módulo de Ventilação | | Preço Caixilharia | Preço Grelha | Preço Total € |
| | | 137,56 | 10,52 | 148,08 |
| Módulo Proteção Solar | | Preço | | Preço Total € |
| | | 21,66 | | 21,66 |
| Módulo Estufa | | Preço Caixilharia | Preço Vidro | Preço Total € |
| | | 72,04 | 14,45 | 86,49 |
| Módulo Fotovoltaico | | Preço Peças Extra | Preço Pannel | Preço Total € |
| | | 200,00 | 194,59 | 394,59 |

* Considerando a área envidraçada necessária por módulo.



6.5.10 Determinação do Período de Retorno para as Soluções de Fachada Indicadas

O período de retorno de investimento foi determinado tendo por base as soluções de melhor desempenho em termos de diminuição do consumo energético para aquecimento e arrefecimento apresentadas anteriormente na secção “6.4 Síntese das Recomendações para o Sistema de Fachadas” e foi realizado para os nove climas, sendo Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Guimarães, Lajes-Açores, Lisboa e Porto.

Para a determinação do período de retorno do investimento foi obtido inicialmente o custo de exploração de uma solução base para fachadas, para as nove localidades analisadas. O custo total de exploração engloba o custo de exploração durante a estação de aquecimento; o custo de exploração durante a estação de arrefecimento e o custo de exploração para produção de AQS.

Para tal cálculo foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Custo exploração} = \frac{N_{ic}}{\eta_i} \cdot A_p \cdot \text{custo}_{i[\text{€/kWh}]} + \frac{N_{vc}}{\eta_v} \cdot A_p \cdot \text{custo}_{v[\text{€/kWh}]} + N_{ac} \cdot A_p \cdot \text{custo}_{\text{aqs}[\text{€/kWh}]}$$

Na qual:

N_{ic} = Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kwh/m².ano);

η_i = Eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de aquecimento ($\eta_i = 1$);

A_p = Área do Pavimento (25m²);

$\text{custo}_{i[\text{€/kWh}]}$ = Custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de aquecimento (0,1365€);

N_{vc} = Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kwh/m².ano);

η_v = Eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de arrefecimento ($\eta_v = 3$);

$\text{custo}_{v[\text{€/kWh}]}$ = Custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de arrefecimento (0,1365€);

N_{ac} = necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (neste caso não foi considerada);

$\text{custo}_{\text{aqs}[\text{€/kWh}]}$ = Custo da energia utilizada pelo equipamento de apoio de AQS.

A viabilidade económica das medidas de eficiência energética, para efeitos do Decreto-Lei 79 (Decreto-Lei n.º. 79, 2006) foi calculada através do parâmetro “período de retorno simples” (PRS), cuja equação é:

$$PRS = \frac{C_a}{P_1}$$

Na qual:



C_a = Custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema, com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projetista;

P_1 = Poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício, nos termos do presente do presente Regulamento, da situação base e da situação com a solução mais eficiente.

Esta metodologia avalia a situação a custos de energia constantes e iguais aos do momento do investimento e não considera quaisquer custos financeiros nem efeitos da inflação. Isso dada a incerteza inerente à previsão de quaisquer dos parâmetros financeiros necessários à sua consideração numa outra metodologia, porventura mais precisa, mas também necessariamente mais complexa (Decreto-Lei nº.79, 2006).

O sistema de fachadas base utilizado para comparação com as soluções desenvolvidas foi o de uma solução de fachada cortina de alumínio; composta por 60% de superfície opaca (parapeitos com envidraçado exterior, alturas de laje e tetos falsos) e 40% de superfície transparente (32% fixa, com vidro temperado pelo exterior e 8% de janelas com duplo envidraçado). Foi considerado tal sistema, por ser a solução com características semelhantes ao sistema de fachadas proposto neste trabalho de investigação.

Para o cálculo do “período de retorno simples” (PRS) da solução de fachadas fotovoltaica foi utilizada a mesma equação apresentada anteriormente. A solução base considerada foi novamente uma solução de fachada cortina em alumínio por ser o mais próximo das tecnologias propostas.

A poupança anual foi calculada considerando o valor de energia elétrica (kwh/ano) fornecido pelo sistema multiplicado pelo valor da energia por kWh (considerando novamente o valor de 0,1365€/kWh de julho de 2012).

No caso do uso de módulos fotovoltaicos, o valor da energia elétrica gerada foi obtido pelas simulações realizadas no software Solterm, para os painéis fotovoltaicos de melhor desempenho (BP Solar e Kyocera) posicionados na vertical, que seria a posição mais desfavorável em termos de geração energética para fachadas, de forma a obter o período de retorno para essa situação.

A **Tabela 6.25** apresenta o preço do sistema de fachadas base utilizado e a **Tabela 6.26** apresenta o preço das configurações do sistema de fachada mais eficientes em termos de economia energética de aquecimento e arrefecimento para cada clima estudado de acordo com a secção “6.4 Síntese das Recomendações para o Sistema de Fachadas” apresentado anteriormente.


Tabela 6.25 Preço Médio do Sistema de Fachadas.

| Solução Base | Preço Médio do Sistema €/m ² |
|---|---|
| Fachada cortina de alumínio: 60% de superfície opaca (parapeitos com envidraçado exterior, alturas de laje e tetos falsos); 40% de superfície transparente (32% fixa com vidro temperado pelo exterior e 8% de janelas com duplo envidraçado). | 410,55 |

Tabela 6.26-a Soluções Indicadas e Preço por Clima.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Soluções Indicadas | Descrição | Preço €/m ² |
|----------|----------------------------|--|--------------------|---|------------------------|
| Bragança | 8,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | - Envidraçado 07; - 1 Parede de Trombe; - Ventilação superior; - Proteção solar. | 598,32 |
| | | | | - Envidraçado 07; - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação inferior; - Proteção solar. | 613,25 |
| Coimbra | 6,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | - Envidraçado 07; - 1 Parede de Trombe; - Ventilação superior e inferior; - Proteção solar. | 560,55 |
| | | | | - Envidraçado 07; - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 613,80 |
| Évora | 5,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | - Envidraçado 07; - 1 Parede de Trombe; - Ventilação superior e inferior; - Proteção solar. | 560,55 |
| | | | | - Envidraçado 07; - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 613,80 |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).



Tabela 6.26-b Soluções Indicadas e Preço por Clima.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Soluções Indicadas | Descrição | Preço €/m |
|-------------------|----------------------------|---|--------------------|--|-----------|
| Faro | 4,3 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | | - Envidraçado 04; - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação superior e inferior; - Proteção solar. | 626,90 |
| | | | | - Envidraçado 04 - 1 parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 571,02 |
| Funchal - Madeira | 3,89 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | | - Envidraçado 04 - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação superior e inferior; - Proteção solar. | 626,90 |
| | | | | - Envidraçado 04; - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 571,02 |
| Guimarães | 7,0 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | - Envidraçado 07; - 1 Parede de Trombe; - Ventilação superior; - Proteção solar. | 598,32 |
| | | | | - Envidraçado 07; - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação inferior; - Proteção solar. | 613,25 |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas: Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).



Tabela 6.26-c Esquemas Gráficos das Recomendações para Fachadas.

| Climas | Duração do Inverno (meses) | Envidraçados | Soluções Indicadas | Descrição | Preço €/m |
|--------------|----------------------------|---|--------------------|--|-----------|
| Lajes-Açores | 4,0 | Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) | | - Envidraçado 04; - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação superior e inferior; - Proteção solar. | 626,90 |
| | | | | - Envidraçado 04 - 1 Parede de Trombe; - Estufas; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 571,02 |
| Lisboa | 5,3 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | - Envidraçado 07; - 1 Parede de Trombe; - Ventilação: superior e inferior; - Proteção solar. | 560,55 |
| | | | | - Envidraçado 07; - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação: peitoril ventilado; - Proteção solar. | 613,80 |
| Porto | 6,7 | Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) | | -Envidraçado 07 - 1 Paredes de Trombe; - Ventilação superior; - Proteção solar. | 598,32 |
| | | | | -Envidraçado 07 - 2 Paredes de Trombe; - Ventilação inferior; - Proteção solar. | 613,25 |

* Após o redimensionamento final, 1 Parede de Trombe é formada por 4 módulos parede de Trombe de 60x60cm. Siglas Módulo padrão fixo (FIX); módulo padrão projetante (PRO); módulos parede de Trombe (TW); módulo de ventilação (VE); módulo estufa (EST) e proteção solar (PS).

A **Tabela 6.27** apresenta o preço médio do sistema fotovoltaico para fachadas.

Tabela 6.27 Preço Médio do Sistema de Fachadas com Módulos Fotovoltaicos.

| Soluções de Fachada | Preço Médio do Sistema €/m ² |
|---|---|
| <p>Sistema Fotovoltaico: Inclui preço/m² de sistema fotovoltaico de tecnologia monocristalina ou policristalina e uma estimativa de preço de peças extra para possibilitar a movimentação do módulo "girassol".</p> | 1096,08 |



A **Tabela 6.28** apresenta as necessidades de aquecimento e arrefecimento para a solução base considerada, além do custo de exploração de tal solução.

Tabela 6.28 Solução Base: Necessidades Energéticas de Aquecimento e Arrefecimento Custo de Exploração.

| Clima | Solução Base | | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| | N_{ic} | N_{vc} | Custo de Exploração |
| | (kWh/m ² .ano) | (kWh/m ² .ano) | (€/ano) |
| Bragança - Convencional | 128,70 | 18,00 | 459,66 |
| Bragança - LGSF | 115,83 | 12,60 | 409,60 |
| Coimbra - Convencional | 68,13 | 18,00 | 252,97 |
| Coimbra - LGSF | 57,91 | 12,60 | 211,95 |
| Évora - Convencional | 65,08 | 32,00 | 258,49 |
| Évora - LGSF | 55,32 | 22,40 | 214,25 |
| Faro - Convencional | 50,69 | 32,00 | 209,38 |
| Faro - LGSF | 43,09 | 22,40 | 172,51 |
| Funchal-Madeira - Convencional | 46,42 | 23,00 | 184,57 |
| Funchal-Madeira - LGSF | 39,46 | 16,10 | 152,96 |
| Guimarães - Convencional | 81,64 | 18,00 | 299,07 |
| Guimarães - LGSF | 69,39 | 12,60 | 251,14 |
| Lajes-Açores - Convencional | 36,42 | 21,00 | 148,17 |
| Lajes-Açores - LGSF | 30,96 | 14,70 | 122,36 |
| Lisboa - Convencional | 56,36 | 32,00 | 228,73 |
| Lisboa - LGSF | 47,91 | 22,40 | 188,96 |
| Porto - Convencional | 74,66 | 16,00 | 272,98 |
| Porto - LGSF | 63,46 | 11,20 | 229,30 |

As **Tabelas 6.29 e 6.30** apresentam o período de retorno simples para as soluções 01 e 02 indicadas por clima apresentadas anteriormente na **Tabela 6.26**.


Tabela 6.29 Solução 01: Período de Retorno Simples.

| Clima | Solução 01 | | | Período de Retorno Simples - Solução 01 | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| | N_{ic} (kWh/m ² .ano) | N_{vc} (kWh/m ² .ano) | Custo de Exploração (€/ano) | Poupança Anual (€/ano) | $\frac{\Delta \text{Custo de Investimento}}{\Delta \text{Custo de Exploração}}$ | Período de Retorno Simples (anos) |
| Bragança - Convencional | 76,51 | 26,20 | 290,89 | 168,77 | $\frac{1351,94}{168,77}$ | 8,0 |
| Bragança - LGSF | 72,90 | 12,85 | 263,39 | 146,21 | $\frac{1351,94}{146,21}$ | 9,2 |
| Coimbra - Convencional | 24,50 | 18,17 | 104,27 | 148,69 | $\frac{1080,00}{148,69}$ | 7,3 |
| Coimbra - LGSF | 20,28 | 8,18 | 78,51 | 133,44 | $\frac{1080,00}{133,44}$ | 8,1 |
| Évora - Convencional | 26,57 | 20,24 | 113,69 | 144,79 | $\frac{1080,00}{144,79}$ | 7,5 |
| Évora - LGSF | 25,43 | 10,17 | 98,35 | 115,90 | $\frac{1080,00}{115,90}$ | 9,3 |
| Faro - Convencional | 13,15 | 33,61 | 83,11 | 126,27 | $\frac{1557,72}{126,27}$ | 12,3 |
| Faro - LGSF | 11,38 | 18,54 | 59,92 | 112,59 | $\frac{1557,72}{112,59}$ | 13,8 |
| Funchal-Madeira - Convencional | 9,00 | 18,00 | 51,19 | 133,38 | $\frac{1557,72}{133,38}$ | 11,7 |
| Funchal-Madeira - LGSF | 9,67 | 14,51 | 49,50 | 103,46 | $\frac{1557,72}{103,46}$ | 15,1 |
| Guimarães - Convencional | 39,31 | 13,76 | 149,80 | 149,27 | $\frac{1351,94}{149,27}$ | 9,1 |
| Guimarães - LGSF | 35,40 | 6,37 | 128,05 | 123,09 | $\frac{1351,94}{123,09}$ | 11,0 |
| Lajes-Açores - Convencional | 17,63 | 35,26 | 100,27 | 47,90 | $\frac{1557,72}{47,90}$ | 32,5 |
| Lajes-Açores - LGSF | 14,28 | 21,42 | 73,10 | 49,27 | $\frac{1557,72}{49,27}$ | 31,6 |
| Lisboa - Convencional | 16,00 | 11,71 | 67,92 | 160,81 | $\frac{1080,00}{160,81}$ | 6,7 |
| Lisboa - LGSF | 17,21 | 6,88 | 66,56 | 122,40 | $\frac{1080,00}{122,40}$ | 8,8 |
| Porto - Convencional | 34,33 | 11,83 | 130,61 | 142,37 | $\frac{1351,94}{142,37}$ | 9,5 |
| Porto - LGSF | 33,19 | 5,97 | 120,05 | 109,25 | $\frac{1351,94}{109,25}$ | 12,4 |

**Tabela 6.30** Solução 02: Período de Retorno Simples.

| Clima | Solução 02 | | | Período de Retorno Simples - Solução 02 | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| | N_{ic} (kWh/m ² .ano) | N_{vc} (kWh/m ² .ano) | Custo de Exploração (€/ano) | Poupança Anual (€/ano) | $\frac{\Delta \text{Custo de Investimento}}{\Delta \text{Custo de Exploração}}$ | Período de Retorno Simples (anos) |
| Bragança - Convencional | 74,15 | 23,95 | 266,73 | 192,94 | $\frac{1459,44}{192,94}$ | 7,6 |
| Bragança - LGSF | 71,24 | 12,34 | 244,71 | 164,89 | $\frac{1459,44}{164,89}$ | 8,9 |
| Coimbra - Convencional | 20,61 | 19,49 | 88,03 | 164,94 | $\frac{1463,40}{164,94}$ | 8,9 |
| Coimbra - LGSF | 19,40 | 8,70 | 72,42 | 139,53 | $\frac{1463,40}{139,53}$ | 10,5 |
| Évora - Convencional | 20,30 | 21,26 | 88,93 | 169,55 | $\frac{1463,40}{169,55}$ | 8,6 |
| Évora - LGSF | 25,41 | 10,16 | 93,52 | 120,73 | $\frac{1463,40}{120,73}$ | 12,1 |
| Faro - Convencional | 13,15 | 10,95 | 54,56 | 154,82 | $\frac{1155,38}{154,82}$ | 7,5 |
| Faro - LGSF | 11,38 | 9,75 | 47,51 | 125,00 | $\frac{1155,38}{125,00}$ | 9,2 |
| Funchal-Madeira - Convencional | 9,00 | 7,20 | 37,02 | 147,55 | $\frac{1155,38}{147,55}$ | 7,8 |
| Funchal-Madeira - LGSF | 9,67 | 7,74 | 39,78 | 113,18 | $\frac{1155,38}{113,18}$ | 10,2 |
| Guimarães - Convencional | 35,09 | 12,28 | 127,25 | 171,82 | $\frac{1459,44}{171,82}$ | 8,5 |
| Guimarães - LGSF | 34,42 | 6,20 | 118,49 | 132,65 | $\frac{1459,44}{132,65}$ | 11,0 |
| Lajes-Açores - Convencional | 17,63 | 14,10 | 72,52 | 75,65 | $\frac{1155,38}{75,65}$ | 15,3 |
| Lajes-Açores - LGSF | 14,28 | 11,42 | 58,74 | 63,63 | $\frac{1155,38}{63,63}$ | 18,2 |
| Lisboa - Convencional | 14,60 | 12,80 | 61,27 | 167,46 | $\frac{1463,40}{167,46}$ | 8,7 |
| Lisboa - LGSF | 16,54 | 6,62 | 60,88 | 128,08 | $\frac{1463,40}{128,08}$ | 11,4 |
| Porto - Convencional | 33,80 | 12,02 | 122,78 | 150,20 | $\frac{1459,44}{150,20}$ | 9,7 |
| Porto - LGSF | 32,00 | 5,76 | 110,16 | 119,15 | $\frac{1459,44}{119,15}$ | 12,2 |

Com base nos resultados apresentados nas **Tabelas 6.29 e 6.30** observa-se que no geral o tempo de retorno simples é maior para as soluções com uso do sistema Light Gauge Steel Framing, isso se explica porque para essa solução, tanto o custo de exploração da solução base quanto o custo de exploração das soluções 01 e 02 são inferiores (devido ao menor consumo energético de aquecimento e arrefecimento apresentado com o uso desse sistema construtivo), fazendo com que a poupança anual seja menor e conseqüentemente ocorra um aumento no período de retorno do investimento.



Para localidades com menor consumo energético de aquecimento e arrefecimento, a poupança energética não foi significativa e consequentemente o tempo de retorno é mais elevado, o que em alguns casos pode tornar inviável a aplicação da solução. O ideal é que a poupança energética faça compensar o investimento no sistema.

A partir de uma análise por clima, tem-se que:

- Para Bragança o tempo de retorno é idêntico para as soluções 01 e 02 e ambas podem ser aplicadas na prática;
- Para Coimbra igualmente a solução 02 indicada conduziu a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos;
- Para Évora, igualmente a Coimbra, a solução 02 conduziu a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos;
- Para Faro, a solução 01 levou a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos;
- Para Funchal-Madeira, a solução 01 também levou a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos;
- Para Guimarães o tempo de retorno é idêntico para ambas as soluções, tanto a solução 01 quanto a 02 podem ser aplicadas;
- Para Lajes-Açores o tempo de retorno para a solução 02 praticamente dobra de valor em relação a solução 01, uma vez que a poupança energética é maior na solução 01. Esse clima apresentou o tempo de retorno mais elevado dentre os demais estudados, o que praticamente torna inviável a utilização do sistema com foco em soluções passivas de aquecimento;
- Para Lisboa a solução 02 conduziu a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos;
- Por último para o Porto, o tempo de retorno é idêntico para as soluções 01 e 02, ambas podem ser aplicadas.

Para o uso de fachadas fotovoltaicas (considerando a contribuição de uma fachada com cerca de 7m² de área) o período de retorno fica em torno de 8,1 anos para o uso de painéis BP Solar e 7,7 anos para o uso de painéis Kyocera. Como esperado, o tempo de retorno diminui quanto mais para o sul do país o edifício está localizado, devido ao aumento da incidência de radiação solar e consequentemente da energia gerada pelo sistema. Em



relação ao tipo de painel fotovoltaico utilizado, o Kyocera conduziu a menor período de retorno do que o BP Solar (**Tabela 6.31**).

Tabela 6.31 Período de Retorno para Uso de Painéis Fotovoltaicos no Sistema de Fachadas.

| Cidade | Custo de Investimento (€/m ²) | | Energia Fornecida pelo Sistema (kWh/ano) | | Poupança Anual (€/ano) | | Período de Retorno Simples | |
|-----------------|---|-----------------------|--|---------|------------------------|---------|----------------------------|------------|
| | Solução Base | Solução Fotovoltaicos | BP Solar | Kyocera | BP Solar | Kyocera | BP Solar | Kyocera |
| Bragança | 410,55 | 1096,08 | 704,00 | 748,00 | 91,45 | 97,17 | 7,5 | 7,1 |
| Coimbra | | | 695,00 | 733,00 | 90,28 | 95,22 | 7,6 | 7,2 |
| Évora | | | 743,00 | 779,00 | 96,52 | 101,19 | 7,1 | 6,8 |
| Faro | | | 721,00 | 752,00 | 93,66 | 97,68 | 7,3 | 7,0 |
| Funchal-Madeira | | | 501,00 | 517,00 | 65,08 | 67,16 | 10,5 | 10,2 |
| Guimarães | | | 668,00 | 705,00 | 86,77 | 91,58 | 7,9 | 7,5 |
| Lajes-Açores | | | 570,00 | 590,00 | 74,04 | 76,64 | 9,3 | 8,9 |
| Lisboa | | | 721,00 | 758,00 | 93,66 | 98,46 | 7,3 | 7,0 |
| Porto | | | 667,00 | 707,00 | 86,64 | 91,84 | 7,9 | 7,5 |
| Média | | | | | | | 8,1 | 7,7 |

Apesar do investimento inicial para a implantação de sistemas fotovoltaicos em fachadas ser elevado, existem alguns benefícios económicos garantidos por lei que a implementação deste tipo de tecnologia apresenta atualmente, entre eles estão os benefícios fiscais que isentam a tributação em sede de IRS sobre os rendimentos de venda de energia à rede inferiores a 5.000€ por ano e, além disso, os benefícios remuneratórios de venda de eletricidade à rede.

De acordo com a legislação em vigor (DECRETO-LEI n.º 363, 2007) (existem dois tipos de regimes remuneratórios de venda de eletricidade à rede por sistemas de microgeração: um regime geral (sistemas com potência de ligação até 5,75kW e preço de venda igual ao preço de compra) e um regime bonificado (instalações individuais-sistemas com potência até 3,68kW e condomínios-sistemas com potência de ligação até 11,04kW; tarifa bonificada garantida durante 15 anos e remuneração realizada com base na tarifa de referência que vigorar à data de atribuição do certificado de exploração da unidade de microgeração).

Segundo dados da EDP de fevereiro de 2012, a tarifa de venda à rede (€/kWh produzido) no regime bonificado é de 0,326 €/kWh nos primeiros 8 anos e 0,185 €/kWh nos 7 anos seguintes. Esse fator é um grande incentivo para a utilização de sistemas fotovoltaicos para microgeração, uma vez que a energia é vendida inicialmente a 0,326 €/kWh e adquirida posteriormente ao preço de 0,1365€. Salienta-se, portanto que esse incentivo faz com que a aplicação de sistemas fotovoltaicos em fachadas seja



compensatória. Desta forma, o período de retorno pode ser ainda menor se for considerado o valor pago em €/kWh no regime bonificado.

A análise em relação ao período de retorno do investimento mostrou que algumas das soluções indicadas oferecem um menor tempo de retorno e devem ser priorizadas para aplicação (como detalhado anteriormente por clima). Quando a poupança energética não é significativa, não é indicada a aplicação da solução de fachada, como no caso do clima de Lajes-Açores, pois isto implica num período de retorno longo. Já em relação aos sistemas fotovoltaicos, apesar do investimento inicial para a implantação ser elevado, os benefícios económicos garantidos por lei tornam a implementação e o tempo de retorno de investimento compensatórios.

6.5.11 Panorama da Área de Construção em Portugal e Avaliação do Potencial de Aplicação do Sistema Modular de Fachadas

Seguidamente serão apresentadas informações referentes à construção e reabilitação de edifícios em Portugal, de forma a fornecer um panorama da atual situação do país, na qual a reabilitação de edifícios passa a assumir um papel cada vez mais importante na atividade de construção, substituindo o investimento que nos últimos dez anos tem sido feito na área das novas construções. Além da análise em relação ao desempenho do sistema de fachadas modular proposto e de uma análise simplificada de custo, um panorama favorável à sua aplicação prática também é necessário.

Atualmente em Portugal a reabilitação de edifícios assume um papel cada vez mais importante no panorama da atividade de construção, substituindo o investimento que nos últimos dez anos tem sido feito na área das novas construções. A durabilidade das construções está associada a preocupações de manutenção e reabilitação, sendo a fachada um dos elementos que maior atenção deverá merecer, já que, sendo a pele protetora dos espaços utilizados, encontra-se sujeita a maior degradação por ação de agentes externos, e, além disso, é a parte mais visível dos edifícios.

Os desafios colocados pela atividade de reabilitação, nomeadamente no que às fachadas diz respeito, são bastante exigentes, necessitando da proposta de processos e soluções que permitam trabalhar com suportes, que evitem quando possível a necessidade de demolições, que facilitem a sua aplicação e que permitam a execução no menor tempo possível.



Em 2007 foram gastos na Europa cerca de 1518 mil milhões de euros no setor da construção, sendo 57% desse total para a construção de novos edifícios e 43% para a reabilitação. A **Tabela 6.32** apresenta os dados relativos ao setor da construção em Portugal desde 2004 a 2007, as estimativas feitas para 2008 e 2009 e as perspetivas futuras para 2010 para o número de construções novas (EUROCONSTRUCT, 2008)⁷⁹.

Tabela 6.32 Número de Construções Novas em Portugal.

| País | Ano | | | | | | Perspetiva 2010 |
|----------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| Portugal | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | |
| | 5391 | 5462 | 5520 | 5575 | 5629 | 5683 | 5737 |

Fonte: EUROCONSTRUCT, 2008.

A **Figura 6.80** apresenta a média europeia em investimentos no setor de reabilitação, bem como a média para Portugal e demais países que fazem parte do Euroconstruct. A média europeia em investimentos no setor de reabilitação situa-se nos 54,9%. Portugal, neste estudo, tem uma percentagem de 34,1% que representa um valor abaixo da média europeia, sendo superado pela Espanha, Áustria, Polónia, Suíça, República Checa e Eslováquia, que também possuem valores inferiores à média europeia. No entanto, estes valores são superiores ao que se verificava há 10 ou 15 anos em Portugal, ou seja, lentamente tem havido um maior investimento na reabilitação.

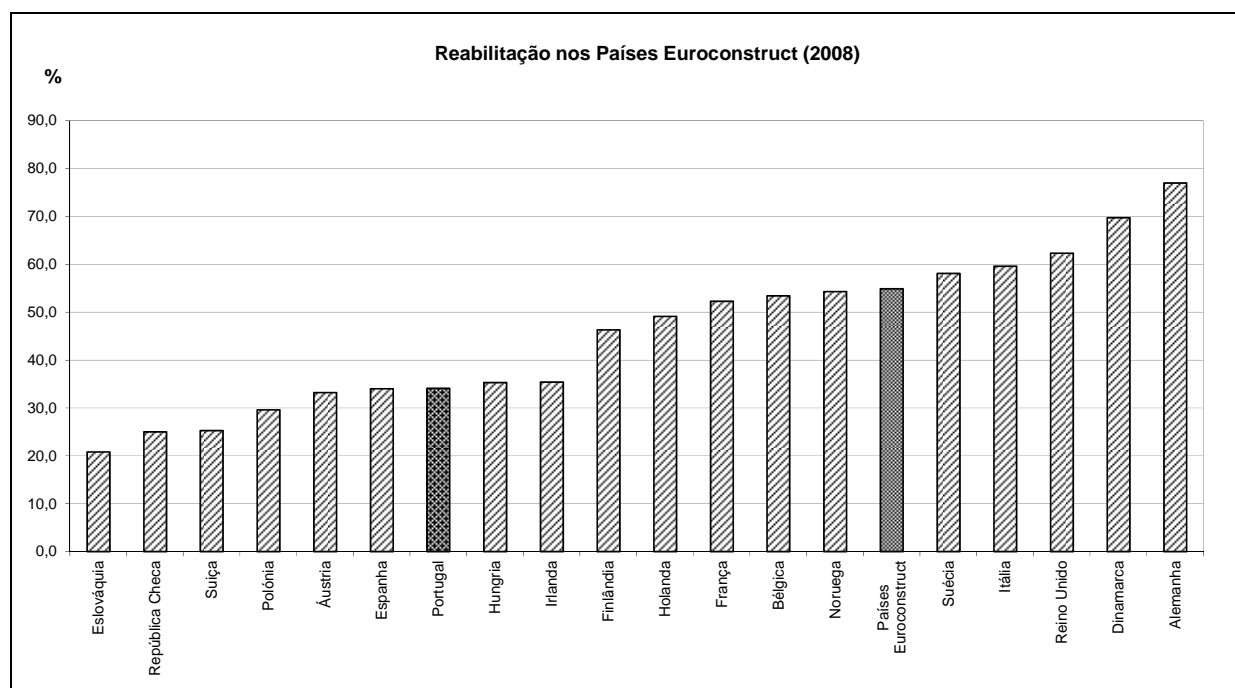


Figura 6.80 Investimentos no setor da reabilitação em 2008 - Países Euroconstruct.

Fonte: EUROCONSTRUCT, 2010.

⁷⁹ O Euroconstruct é uma rede Europeia de 19 Institutos vocacionados para a análise do setor da Construção (Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Irlanda, Itália, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Reino Unido, República Checa, Hungria, Polónia e República Eslovaca), criada em 1975, e no qual Portugal está representado através do ITIC – Instituto Técnico para a Indústria da Construção.



Segundo os dados das Estatísticas da Construção e Habitação - 2010 publicados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), o parque habitacional português foi estimado em 3,5 milhões de edifícios e 5,8 milhões de fogos, registrando em relação a 2009 um acréscimo de 0,6% e 0,7% respetivamente.

À semelhança dos anos anteriores, a maioria dos edifícios licenciados destinavam-se a construções novas, representando este destino cerca de 69,4% do total de edifícios. Em 2009 as construções novas representavam cerca de 67,5% do total de edifícios, o que evidencia uma perda de importância, em 2010, da reabilitação do edificado (obras de alteração, ampliação e reconstrução de edifícios) no setor da construção, contrariando assim a tendência que se vinha verificando (INE, 2011).

A partir dos dados dos Censos de 2001, esperava-se um crescente aumento da importância das obras de reabilitação, com um crescimento significativo deste segmento da construção. De acordo com os dados do Recenseamento da Habitação de 2001, a idade média dos edifícios a nível nacional era próxima dos 34 anos, dos quais 19% tinham sido construídos entre 1991 e 2001. De igual modo, as necessidades de reparação atingiam cerca de 38,1% dos edifícios e 2,9% apresentavam um elevado estado de degradação. O valor estimado dos fogos a exigir médias, grandes ou muito grandes reparações rondava os 800000 (**Tabela 6.33**).

Tabela 6.33 Necessidades de reparação dos edifícios - 2001

| Necessidades de reparação dos edifícios - 2001 | | |
|--|---|---|
| Portugal | Proporção de edifícios muito degradados (%) | Proporção de edifícios com necessidade de reparação (%) |
| Continente | 2,9 | 38,1 |
| Região Autónoma dos Açores | 2,5 | 31,9 |
| Região Autónoma da Madeira | 2,4 | 36,4 |

Fonte: INE, 2011.

Em 2010 foram concluídos 31887 edifícios em Portugal, sendo que destes cerca de 7372 correspondiam a obras de alteração, ampliação e reconstrução, o que significa que cerca de 23,1% das obras concluídas foram de reabilitação do edificado. Verificou-se relativamente ao ano de 2009 uma quebra de 1,1% do número de edifícios reabilitados, sendo que a maior parte destes (cerca de 67,9%) correspondiam a obras de ampliação. As obras de reconstrução correspondiam à mais pequena fatia das obras de reabilitação do edificado, com um peso de 3,3% face ao total.

Tendo em conta a evolução das obras de reabilitação do edificado, é possível concluir que o esforço de investimento em obras no setor habitacional tem sido predominantemente orientado para a construção nova, em prejuízo das obras de



reabilitação do edificado, apesar das necessidades de reparações dos edifícios, na generalidade do país (**Tabela 6.34**).

Tabela 6.34 Edifícios concluídos para Habitação Familiar, por Tipo de Obra, 2008-2010

| Portugal e Regiões | 2008 | | 2009 | | 2010 | |
|--------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Construção Nova | Reabilitação | Construção Nova | Reabilitação | Construção Nova | Reabilitação |
| Portugal | 26099 | 5589 | 22031 | 5292 | 20082 | 5167 |
| Norte | 9125 | 1710 | 7852 | 1743 | 7816 | 1860 |
| Centro | 7409 | 1640 | 6197 | 1536 | 5898 | 1499 |
| Lisboa | 3817 | 808 | 3200 | 757 | 2512 | 627 |
| Alentejo | 2258 | 696 | 1945 | 555 | 1605 | 542 |
| Algarve | 1801 | 374 | 1572 | 354 | 1217 | 332 |
| Reg. Aut. Açores | 950 | 205 | 612 | 191 | 440 | 153 |
| Reg. Aut. Madeira | 739 | 156 | 653 | 156 | 594 | 154 |

Fonte: INE, 2011.

Numa comparação entre o número de edifícios, para habitação familiar, em que foram realizadas obras de reabilitação com o número de edifícios resultantes de construção nova (também para habitação familiar), é possível concluir que a nível nacional, a proporção entre ambos apresenta um valor médio de 20,9% no período compreendido entre 2001 e 2010, registando-se contudo um aumento progressivo desta proporção nos últimos anos, tendo atingido o seu valor máximo em 2010 (25,7%) (INE, 2011) (**Tabela 6.35**).

Tabela 6.35 Proporção da reabilitação do edificado relativamente às construções novas de edifícios concluídos para Habitação familiar, 2008-2010.

| Portugal e Regiões | 2008 (%) | 2009 (%) | 2010 (%) |
|--------------------|----------|----------|----------|
| Portugal | 21,4 | 24,0 | 25,7 |
| Norte | 18,7 | 22,2 | 23,8 |
| Centro | 22,1 | 24,8 | 25,4 |
| Lisboa | 21,2 | 23,7 | 25,0 |
| Alentejo | 30,8 | 28,5 | 33,8 |
| Algarve | 20,8 | 22,5 | 27,3 |
| Reg. Aut. Açores | 21,6 | 31,2 | 34,8 |
| Reg. Aut. Madeira | 21,1 | 23,9 | 25,9 |

Fonte: INE, 2011.

No Alentejo e nas Regiões Autónomas a reabilitação do edificado é relativamente mais expressiva quando comparada com a construção nova, ultrapassando de forma contínua desde 2001 a proporção obtida a nível nacional.

A evolução das obras concluídas em edifícios (reabilitações do edificado e construções novas) no período de 1995 a 2010 aponta para duas fases de crescimento distintas em Portugal (**Figura 6.81**). Até 2002, houve uma relativa estabilidade das

reabilitações do edificado e, simultaneamente, a um aumento das Construções novas. Apesar de se ter já registrado uma ligeira quebra das obras de reabilitação do edificado no período de 2001 e 2002, é principalmente a partir de 2003 que se assiste a uma quebra (apesar de não muito acentuada) deste tipo de obras, associada a uma tendência de diminuição das construções novas. Deste modo, e mais em resultado da quebra das construções novas, tem-se verificado uma crescente importância relativa das reabilitações face ao total de obras concluídas.

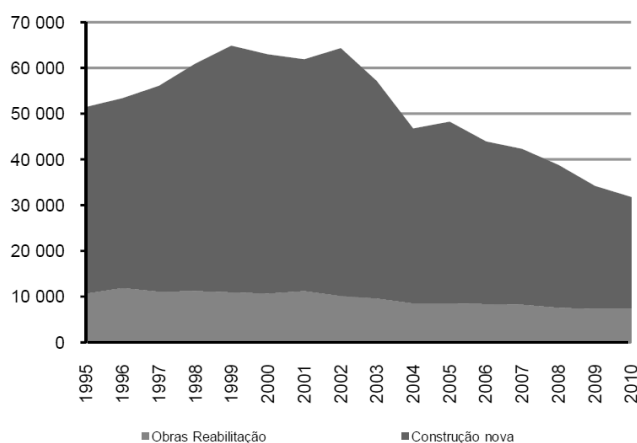


Figura 6.81 Reabilitações do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2010

Fonte: INE, 2011.

Das 31887 obras concluídas durante o ano de 2010, 63% corresponderam a edifícios em construções novas para habitação familiar, dos quais 88,9% eram moradias. Apesar da grande predominância de edifícios em construções novas, denota-se que a reabilitação na edificação é uma aposta crescente no setor da construção, com as alterações, ampliações e reconstruções a ganharem importância relativa face aos anos anteriores.

Considerando a evolução das obras de reabilitação do edificado, é possível concluir que o esforço de investimento em obras no setor habitacional tem sido predominantemente orientado para a construção nova, em prejuízo das obras de reabilitação do edificado, apesar das necessidades de reparações dos edifícios, na generalidade do país.

Prevê-se uma alteração desta situação, pois perante a crise económica atual, o número de construções novas tendem a reduzir-se drasticamente. Porém, a legislação europeia relacionada à área de eficiência energética obriga a criação de iniciativas na área de reabilitação energética dos edifícios. A DIRECTIVA 2010/31/EU, por exemplo, prevê a redução de 20 % do consumo de energia até 2020 e a promoção da eficiência energética no contexto de um objetivo vinculativo para a energia proveniente de fontes renováveis equivalente a 20 % do consumo de energia total da em 2020. Nessa normalização, são instituídas medidas necessárias para assegurar que, ao realizar grandes renovações em



edifícios, o desempenho energético do edifício ou da sua parte renovada seja melhorado (DIRECTIVA 2010/31/EU, 2010).

A crise económica e financeira que se abateu sobre a Europa por volta de 2008 afetou significativamente os mercados de construção e de reabilitação. As políticas orçamentais implementadas pelos diversos países agravaram as perspetivas de crescimento económico para 2012, sendo as obras públicas (obras de engenharia civil e edifícios não residenciais) as mais vulneráveis aos planos de austeridade impostos.

Esses dados indicam que há uma tendência, perante a crise económica atual, de redução do número de construções novas, e provavelmente ocorrerá um aumento da reabilitação, devido à legislação que obriga à tomada de iniciativas na área. Esse fator justifica ainda mais a necessidade de soluções como a proposta desenvolvida neste trabalho de investigação para serem utilizadas tanto para construções novas quanto para reabilitação. Portanto, há um cenário favorável para aplicação do sistema de fachadas modular desenvolvido.

No presente capítulo foram apresentados os elementos do sistema de fachadas desde a proposta inicial de conceção até a versão final de cada módulo e demais componentes (grelha estrutural para montagem do sistema; módulo envidraçado padrão fixo e móvel-projetante; módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”). Foi apresentada também uma síntese para cada clima estudado, com as recomendações em termos de envidraçados e soluções passivas de aquecimento e arrefecimento, tendo por base o período de duração do inverno.

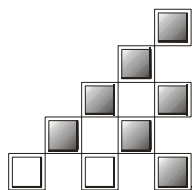
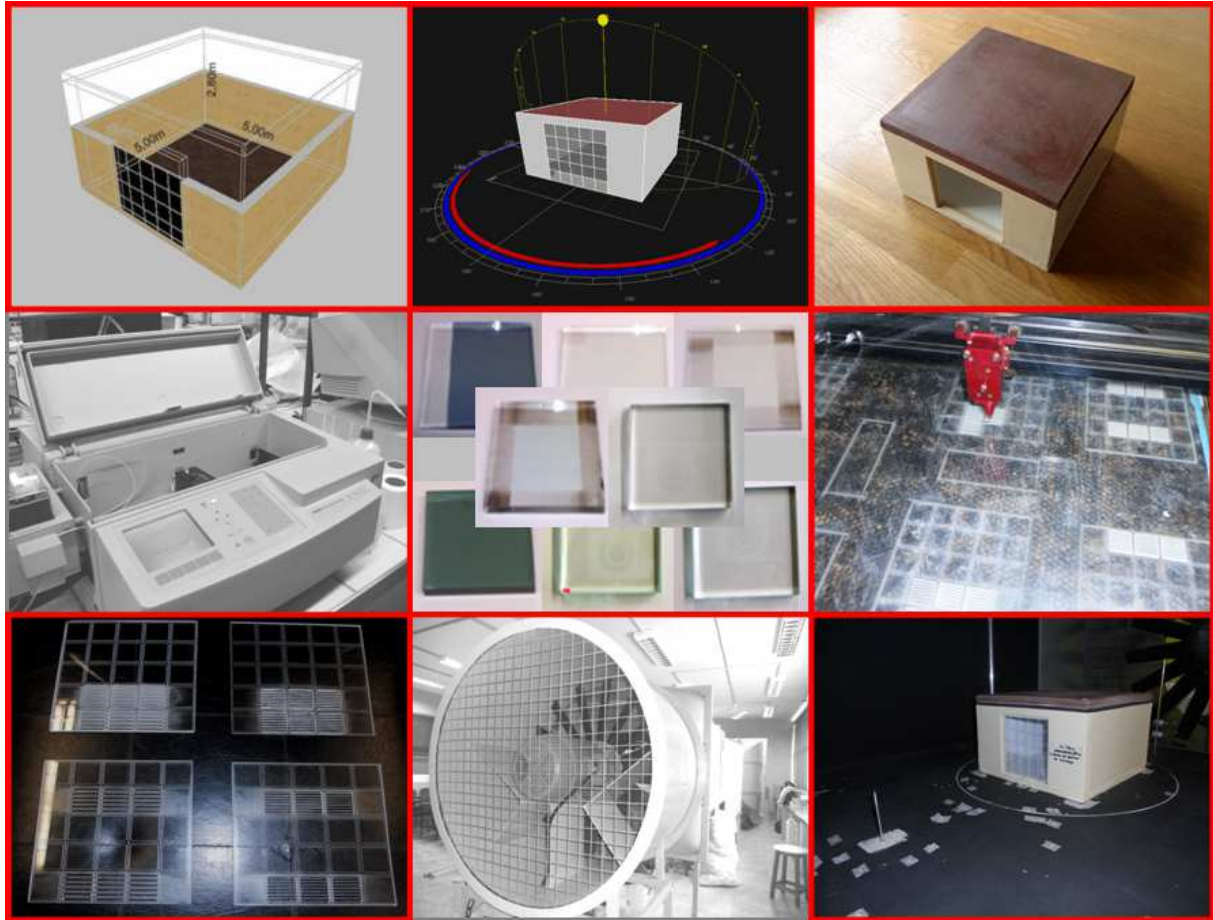
Posteriormente foi analisada a viabilidade económica de aplicação das soluções indicadas por clima por meio da determinação do período de retorno de investimento de tais soluções. Tal análise revela que algumas das soluções oferecem um menor tempo de retorno do investimento do que outras e devem ser priorizadas para aplicação e, em casos nos quais a economia energética não é significativa, não é proposta a aplicação da solução, pois isto implica num período de retorno longo. Em relação aos sistemas fotovoltaicos, apesar do investimento inicial para a implantação ser elevado, existem alguns benefícios económicos garantidos por lei que tornam a implementação e o tempo de retorno de investimento compensatórios.



Por fim as informações acerca do panorama sobre construção e reabilitação de edifícios em Portugal mostram a viabilidade da utilização de um sistema de fachadas modular como o proposto neste trabalho de investigação que pode ser aplicado tanto em edifícios novos quanto em iniciativas de reabilitação.

"Enquanto eu tiver perguntas e não houver respostas continuarei a escrever."

Clarice Lispector



CAPÍTULO 7. Conclusões



7.1 Conclusões

O objetivo deste trabalho de investigação foi o desenvolvimento de um sistema de fachadas modular, com pequenos componentes ajustáveis e intercambiáveis entre si, nomeadamente: grelha estrutural para montagem dos módulos; módulo padrão envidraçado fixo e móvel (projetante); módulo de proteção solar; módulo de ventilação; módulo parede de Trombe, módulo estufa e módulo fotovoltaico “girassol”, visando principalmente a eficiência energética. Salienta-se que nesta proposta o foco não foi o desenvolvimento em termos de *design* mas sim aproveitar soluções comuns e tecnologias passivas existentes de forma aprofundada para atingir os objetivos de eficiência energética. Foi possível comprovar também que a escolha criteriosa e utilização de elementos já existentes no mercado podem permitir a criação de soluções que potencializam o desempenho energético dos edifícios.

A metodologia utilizada para desenvolvimento de tal sistema consistiu no uso de simulações computacionais para determinação das condições de conforto térmico, iluminação natural e geração energética do módulo fotovoltaico e, além disso, foram realizados ensaios de caracterização espectrofotométrica dos vidros e ensaios em túnel de vento para o módulo de ventilação. Na última fase de desenvolvimento foi realizada a pormenorização dos detalhes construtivos do sistema que incluiu o projeto dos componentes; a integração arquitetónica a definição das condições de montagem. E por fim, foi estimado o custo dos elementos componentes do sistema de fachadas através de uma análise económica simplificada.

Serão apresentadas primeiramente as conclusões obtidas a partir dos resultados das simulações computacionais de desempenho térmico: simulações iniciais para dez tipos de envidraçados e para dois tipos de clima (Coimbra e Faro); simulações para três envidraçados com melhor desempenho para nove tipos de clima (Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Lajes-Açores, Lisboa, Guimarães, e Porto) e simulações para soluções passivas de aquecimento e arrefecimento também para os mesmos nove climas. Posteriormente serão apresentadas as conclusões obtidas com base nas simulações de desempenho lumínico e nas simulações de desempenho em termos de geração energética do módulo fotovoltaico. E por último, as conclusões a partir dos resultados do programa experimental desenvolvido, além de conclusões acerca da aplicação prática do sistema de fachada modular desenvolvido.

As tecnologias solares passivas tanto para aquecimento quanto para arrefecimento, tem um papel decisivo a desempenhar. É cada vez mais necessário que sejam desenvolvidos estudos para mostrar a sua eficácia e importância na diminuição do consumo



energético. Os resultados das simulações computacionais iniciais realizadas neste trabalho de investigação conduziram a uma diminuição das necessidades energéticas de aquecimento do modelo de até 13% com a incorporação de tecnologias passivas no caso específico, das paredes de Trombe. Isso indica as vantagens do uso de tais soluções na fachada. Foi observado que a aplicação dos módulos de fachada estudados podem contribuir para a redução do consumo energético com sistemas HVAC e iluminação natural nos edifícios, aumentando os benefícios do uso da radiação solar.

Perante os resultados das simulações computacionais para os dez tipos de envidraçados e dois climas diferentes (Coimbra e Faro), observou-se que o uso de todos os envidraçados analisados para o modelo de simulação conduziu a necessidades nominais de aquecimento inferiores aos limites máximos (por clima) de acordo com o RCCTE para a área envidraçada considerada. Destacou-se a diminuição do consumo energético para aquecimento, com o uso dos vidros duplos bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e o planilux 4mm - planitherm total 4mm (Envidraçado 09). Foi excluído o uso do vidro duplo diamant 4mm - diamant 4mm (Envidraçado 10), pois apesar de conduzir a menores necessidades de aquecimento de entre os diversos envidraçados, implicaria num aumento considerável das necessidades de arrefecimento. Em relação às necessidades nominais de arrefecimento, o uso do envidraçado duplo “cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04)” no modelo levou a valores semelhantes e bem abaixo do recomendado pelo RCCTE.

Posteriormente, dentre os dez envidraçados analisados, os três que se destacaram anteriormente foram utilizados para simulação em outros climas típicos (Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Guimarães, Lajes-Açores, Lisboa e Porto). Perante os resultados da segunda etapa das simulações para os envidraçados, tendo em vista que um deles se apresentou como adequado em relação às necessidades nominais de aquecimento e outro às de arrefecimento, foram indicados os seguintes envidraçados para compor o módulo padrão do sistema de fachadas:

- Bioclean 4mm - Planilux 4mm (Envidraçado 07) para as localidades onde as necessidades de aquecimento sejam a prioridade, ou seja, localidades com invernos mais rigorosos e de maior duração (duração do inverno acima de 5 meses);
- Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm (Envidraçado 04), para as localidades onde as necessidades de arrefecimento sejam a prioridade, ou seja, localidades com invernos menos rigorosos e de menor duração (duração do inverno abaixo de 5 meses).



Perante os resultados das simulações para a combinação dos módulos envidraçados com melhor desempenho térmico e soluções passivas de aquecimento foram indicadas as seguintes soluções de fachada que conduziram a um melhor desempenho térmico:

- Fachada composta por módulos parede de Trombe combinados com o bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) para os climas onde as necessidades de aquecimento sejam a prioridade (duração do inverno acima de 5 meses);
- Fachada composta por quaisquer das soluções passivas de aquecimento estudadas em conjunto com o vidro duplo cool lite KNT 155 4mm verde - planitherm futur ultra N 4mm (Envidraçado 04), para os climas nos quais as necessidades de arrefecimento sejam a prioridade (duração do inverno abaixo de 5 meses).

Nas soluções passivas de arrefecimento, foram adicionados módulos de ventilação à fachada passiva composta pelo vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e uma parede de Trombe, porque dentre todas as soluções passivas analisadas anteriormente, esta solução conduziu a um elevado consumo energético para arrefecimento. Observou-se que em boa parte dos casos analisados, o uso de módulos de ventilação proporcionou uma diminuição do consumo energético para arrefecimento.

Observou-se que com a adição de ventilação na solução de fachada com vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07) e parede de Trombe, levou a uma diminuição significativa do consumo energético para arrefecimento. Nesse caso, tal diminuição foi no máximo 42.9% para a envolvente do sistema LGSF e 48.5% para a envolvente do sistema convencional, quando comparados com os resultados para todos os climas. As melhores soluções de ventilação em termos de diminuição das necessidades de arrefecimento foi a que agrega módulos de ventilação na parte inferior e superior da fachada e outra que agrega módulos de ventilação posicionados somente na parte inferior da fachada (peitoril ventilado).

Adicionando à fachada módulos de ventilação na parte inferior e superior; e dispositivos de proteção solar horizontais, observou-se também uma considerável redução no consumo energético para arrefecimento nos três climas analisados. Essa diminuição foi no máximo 64.1% para a envolvente do sistema LGSF e 58.7% para a envolvente do sistema convencional, quando comparados com os resultados para todos os climas.

Em relação às simulações para o módulo fotovoltaico, apesar do painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (silício policristalino) inclinado ter apresentado o melhor desempenho dentre os demais, identificou-se que o desempenho do painel BP Solar BP 3160 (silício policristalino) foi semelhante. Ambos os tipos de painéis são certificados para uso em Portugal. A partir de uma análise geral, é possível observar um incremento em termos de



ganhos de energia para as simulações que consideraram os painéis inclinados. Os dois programas de simulação utilizados *Solterm* e *Sunny Design* conduziram a resultados semelhantes, sendo confiáveis para executar simulações desse tipo.

Apesar dos painéis fotovoltaicos Kyocera KC167G-2 e BP Solar 3160 serem certificados para utilização em Portugal, salienta-se que existem outros tipos de painéis com desempenho superior em termo de geração energética. Numa análise com uma maior variedade de opções de painéis, destacaram-se em termos de geração energética os painéis fotovoltaicos da Sunpower em 1º (Sunpower 305 E18 Silício Monocristalino) e 2º lugar (Sunpower 210 Silício Monocristalino) e em 3º lugar os painéis fotovoltaicos da Schott (Schott Mono 190 Silício Monocristalino) e o Kyocera (KC167G-2) que conduziram a valores quase idênticos. Destacaram-se, portanto, os painéis que incorporam tecnologia de silício monocristalino e policristalino.

Para o uso de sistemas fotovoltaicos, principalmente em relação ao tipo de tecnologia indica-se o uso de células fotovoltaicas monocristalinas ou policristalinas por serem mais eficientes. Neste caso, este tipo de módulo deve ser instalado na orientação solar sul e ter a possibilidade de ser inclinado (como na proposta do módulo fotovoltaico “girassol”) de forma a obter maior eficiência em termos de captação da radiação e consequentemente maior geração de energia elétrica. Salienta-se que o módulo fotovoltaico “girassol” proposto possibilita a busca pela orientação solar a sul a partir das orientações solares oeste e este.

Em termos ambientais, a utilização de sistemas de fachadas fotovoltaicos evita o recurso a outras fontes de energia, de natureza maioritariamente fóssil e não renovável. Relativamente à dimensão económica, foi possível aferir que, apesar de se verificar uma ligeira diferença de preços entre os resultados fornecidos pelo *Solterm* e os dados reais obtidos, observou-se que esta diferença não se apresenta significativa. Neste sentido, pode-se concluir que os programas computacionais utilizados são também viáveis no fornecimento deste tipo de informação.

Existe atualmente uma vasta legislação relacionada com a geração de energia fotovoltaica: a adaptação da legislação a soluções inovadoras de produção descentralizada, bem como novas tecnologias (DECRETO-LEI n.º 68, 2002); a declaração de que a energia elétrica produzida é predominantemente destinada ao consumo próprio, sendo que a energia produzida em excesso poderá ser entregue a terceiros ou à rede pública (DECRETO-LEI n.º 363, 2007); a definição de objetivos, mecanismos, incentivos e “quadros institucionais, financeiros e jurídicos” referentes à utilização eficiente da energia (DECRETO-LEI n.º 319, 2009); e a possibilidade de utilização de soluções alternativas aos coletores



solares térmicos que se apresentem como formas renováveis de energia, capazes de captar anualmente energia equivalente à captada pelos coletores solares, como o caso dos painéis fotovoltaicos (RCCTE, 2006), porém o custo desse tipo de sistemas ainda é elevado.

No caso do uso de painéis fotovoltaicos na fachada foi observado um período de retorno em torno de 8,1 anos para o uso de painéis BP Solar e 7,7 anos para o uso de painéis kyocera. Como esperado, o tempo de retorno diminui quanto mais a sul eles estão instalados, devido ao aumento da incidência de radiação solar e conseqüentemente da energia gerada pelo sistema. Em relação ao tipo de painel fotovoltaico utilizado, o Kyocera conduziu a menor período de retorno do que o BP Solar.

Apesar do investimento inicial para a implantação de sistemas fotovoltaicos em fachadas ser elevado, como apresentado anteriormente, existem alguns benefícios económicos garantidos por lei para a implementação deste tipo de tecnologia. Entre eles estão os benefícios fiscais e os benefícios remuneratórios de venda de eletricidade à rede. Salienta-se, portanto, que esses incentivos fazem com que a aplicação de sistemas fotovoltaicos em fachadas seja compensatória. O período de retorno do investimento pode ser ainda menor se for considerado o valor pago através do regime bonificado para a tarifa de venda à rede. Portanto, o uso de sistemas fotovoltaicos em fachada ainda se torna viável, se forem considerados os incentivos legais em vigor.

No que se refere as condições de iluminação natural, devido à curta distância geográfica entre as cidades consideradas, ou seja, a latitude próxima, nas simulações de desempenho lumínico foram observados valores próximos tanto de fator luz do dia quanto de níveis de iluminância para as localidades analisadas. Através de uma análise global dos resultados observou-se claramente o melhor desempenho lumínico para o envidraçado duplo bioclean 4mm – planilux 4mm (Envidraçado 07) com WWR de 31,6%. Porém, no caso deste sistema de fachadas composto por pequenos módulos envidraçados, podem ser feitas inúmeras propostas de configuração, de acordo com as necessidades de iluminação natural, sendo necessário apenas fazer uma verificação prévia do desempenho lumínico exigido de acordo com o tipo de tarefa a ser executada no local.

Em relação à parte experimental, os resultados dos ensaios espectrofotométricos podem ser confrontados com os resultados de desempenho lumínico dos envidraçados 04 e 07, especificamente para a região visível do espectro solar (380 a 780nm) que influi diretamente na qualidade de iluminação natural de um ambiente. Para o envidraçado duplo cool lite KNT155 verde - planitherm futur ultra N (Envidraçado 04) foi possível constatar um decréscimo de transmissão acentuado em todas as regiões do espectro, com destaque para as regiões do visível em 25,2%. Já o uso do envidraçado duplo bioclean 4mm –



planilux 4mm (envidraçado 07), transmite 70,3% da luz visível, o que garante melhores condições de iluminação natural. Por meio destes ensaios foram confirmados os resultados das simulações computacionais de iluminação natural.

Ao comparar ainda os resultados espectrofotométricos com os das simulações de desempenho térmico, observou-se que o envidraçado duplo cool lite KNT155 verde - planitherm futur ultra N (Envidraçado 04) conduziu ao menor valor de transmissão na região do infravermelho (2,6%), relacionada com a transmissão de calor. Isso comprova a sua eficiência na diminuição das necessidades nominais de arrefecimento observada nos resultados das simulações de desempenho térmico. O vidro duplo bioclean 4mm – planilux 4mm (Envidraçado 07) em termos de radiação infravermelha conduziu a uma transmissão semelhante a dos vidros *low-e* (47,9%), o que indica que o seu uso ocasionará um maior aquecimento no interior do espaço habitável, como observado nos resultados das simulações computacionais de desempenho térmico.

Nos resultados dos ensaios no túnel de vento conclui-se que a melhor solução em termos de ventilação natural, tendo por base os casos com ventilação cruzada é a configuração de fachada que corresponde a um “peitoril ventilado”, com elementos da grelha posicionados na horizontal. Em segundo lugar, está o caso que corresponde à configuração de fachada com módulos de ventilação superiores e inferiores e elementos da grelha também posicionados na horizontal. Ou seja, os resultados foram muito semelhantes aos obtidos através de simulações computacionais. Observou-se a grande importância dos elementos da grelha do módulo de ventilação nos resultados, sendo que com as menores espessuras de tais elementos e o posicionamento na horizontal foram obtidas melhores condições de ventilação natural, pois estes proporcionam um aumento da área efetiva de ventilação. Para uma mesma área de abertura, entradas de ar horizontais favoreceram a ventilação natural, pois o uso nos módulos de grelhas posicionadas na horizontal fez com que as pequenas entradas de ar fossem predominantemente horizontais e apresentassem melhores condições de ventilação.

Observou-se que para seis dos nove climas analisados (Bragança, Coimbra, Évora, Guimarães, Lisboa e Porto) é recomendado o uso de um envidraçado que tenha um melhor desempenho em termos de diminuição das necessidades energéticas de aquecimento, no caso o vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07). Em termos de solução passiva de aquecimento é indicado também para seis dos nove climas analisados, o uso de uma ou duas paredes de Trombe (ambas indicaram economia energética de valores próximos). Para os climas restantes (Faro, Funchal-Madeira e Lajes-Açores), uma parede de Trombe apenas ou o uso de estufas já seria suficiente para diminuir o consumo energético no inverno. Em relação à orientação solar, recomenda-se que os envidraçados e soluções



passivas de aquecimento sejam posicionadas na fachada sul, por ser nessa orientação solar que se verificou maior diminuição de consumo energético e uma vez que é essa orientação que é a melhor para tais tipos de soluções.

Para seis climas analisados (Coimbra, Évora, Faro, Funchal-Madeira, Lajes-Açores e Lisboa) recomenda-se em termos de soluções passivas de arrefecimento, o uso de módulos de ventilação na parte superior e inferior da fachada ou peitoril ventilado e proteção solar ativada durante o verão. Já para climas com duração de inverno maiores como Bragança, Guimarães e Porto, recomenda-se o uso de módulos de ventilação na parte superior ou inferior apenas da fachada e dispositivos de proteção solar ativados durante o verão. Isso porque ao indicar as soluções com as melhores condições de ventilação pode ocasionar diminuição da temperatura interior no inverno, caso as aberturas não sejam cerradas adequadamente. Para as soluções passivas de arrefecimento, recomenda-se, no caso dos módulos de ventilação, o posicionamento na direção dos ventos dominantes para que a solução seja mais eficiente.

Observa-se que as soluções de fachada indicadas dão origem a três grupos formados pelos nove climas analisados, ou seja, para cada três climas são indicadas as mesmas soluções. Cada grupo é formado por três climas, de acordo com a proximidade geográfica e duração do inverno. Pode-se denominar tais grupos como: Grupo 1 (Bragança, Guimarães e Porto); Grupo 2 (Lisboa, Coimbra e Évora) e Grupo 3 (Lajes-Açores, Funchal-Madeira e Faro). Para o Grupo 1 foi indicado o uso do vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07); 1 ou 2 paredes de Trombe (ambas indicaram economia energética de valores próximos); ventilação superior ou inferior e dispositivos de proteção solar. Para o Grupo 2 foi indicado o uso do vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 07); 1 ou 2 paredes de Trombe; ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado e dispositivos de proteção solar. E para o Grupo 3 foi indicado o uso do vidro duplo bioclean 4mm - planilux 4mm (Envidraçado 04), 1 parede de Trombe, estufas; ventilação superior e inferior ou peitoril ventilado e dispositivos de proteção solar.

A análise em relação ao período de retorno do investimento das soluções indicadas mostrou que algumas das soluções oferecem um menor tempo de retorno e devem ser priorizadas para aplicação (como detalhado anteriormente na secção 6.5.10 Determinação do Período de Retorno para as Soluções de Fachada Indicadas, do Capítulo 6 Pormenorização e Potencial de Aplicação do Sistema Modular de Fachadas). Quando a economia energética não é significativa, não é indicada a aplicação da solução de fachada, como no caso do clima de Lajes-Açores, pois isto implica num período de retorno de investimento demasiado longo. O ideal é que a economia energética compense o investimento inicial no sistema.



No geral o tempo de retorno simples é maior para as soluções com uso do sistema *Light Gauge Steel Framing*, isso se explica porque para essa solução, tanto o custo de exploração da solução base quanto o custo de exploração das soluções 01 e 02 são inferiores (devido ao menor consumo energético de aquecimento e arrefecimento apresentado com o uso desse sistema construtivo), fazendo com que a poupança anual seja menor e conseqüentemente ocorra um aumento no período de retorno do investimento.

A partir de uma análise por clima, tem-se que para Bragança, Guimarães e Porto, o tempo de retorno é semelhante para as soluções 01 e 02 indicadas e ambas podem ser aplicadas na prática; para Coimbra, Évora e Lisboa a solução 02 indicada conduziu a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos; para Faro e Funchal-Madeira, a solução 01 indicada levou a um menor tempo de retorno do investimento para ambos os tipos de sistemas construtivos; e por último, somente para Lajes-Açores o tempo de retorno para as soluções indicadas foi elevado, a solução 02 indicada praticamente dobra de valor em relação à solução 01. Esse clima apresentou o tempo de retorno mais elevado dentre os demais estudados, o que praticamente torna inviável a utilização do sistema com foco em soluções passivas de aquecimento. Já em relação aos sistemas fotovoltaicos, apesar do investimento inicial para a implantação ser elevado, existem alguns benefícios económicos garantidos por lei que fazem com que a implementação e o tempo de retorno de investimento da solução sejam compensatórios.

Em relação ao panorama atual da construção em Portugal, os dados indicam que há uma tendência, perante a crise económica atual, de redução do número de construções novas, e provavelmente ocorrerá um aumento da reabilitação, devido à legislação que obriga a criação de iniciativas na área. Esse fator justifica ainda mais a necessidade de soluções como a proposta desenvolvida nesse trabalho de investigação para serem utilizadas tanto para construções novas quanto para reabilitação. Portanto, há um cenário favorável para aplicação do sistema de fachadas modular desenvolvido.

No fim deste trabalho de investigação foram compilados textos descritivos e a pormenorização do sistema de fachadas e seus componentes, estabelecendo assim a base de uma nova proposta. Tais informações constituem a comprovação inicial de viabilidade técnica, económica e desempenho elevado do sistema desenvolvido (térmica, iluminação natural e microgeração energética principalmente). Considera-se, portanto que foram alcançados os objetivos propostos de obtenção de um novo sistema de fachadas para aplicação em edifícios a reabilitar e a construir.



7.2 Perspetivas para o Desenvolvimento de Trabalhos Futuros

Pretende-se no final deste trabalho de investigação, dar continuidade aos estudos relacionados como o desempenho deste sistema de fachadas, por exemplo, sua adaptação a diferentes climas, como no caso do Brasil, agregando outras propostas de módulos com soluções para arrefecimento compensatórias tanto em termos energéticos quanto económicos. Além de módulos com outros tipos de soluções, deverá ser proposto o estudo de um módulo opaco para a composição do sistema de fachadas. Sugere-se ainda que esse sistema possa ser testado, por meio de simulações computacionais e através do desenvolvimento e teste numa tipologia habitacional, para analisar o impacto do seu uso no consumo energético anual.

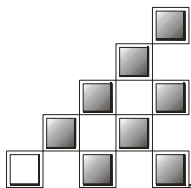
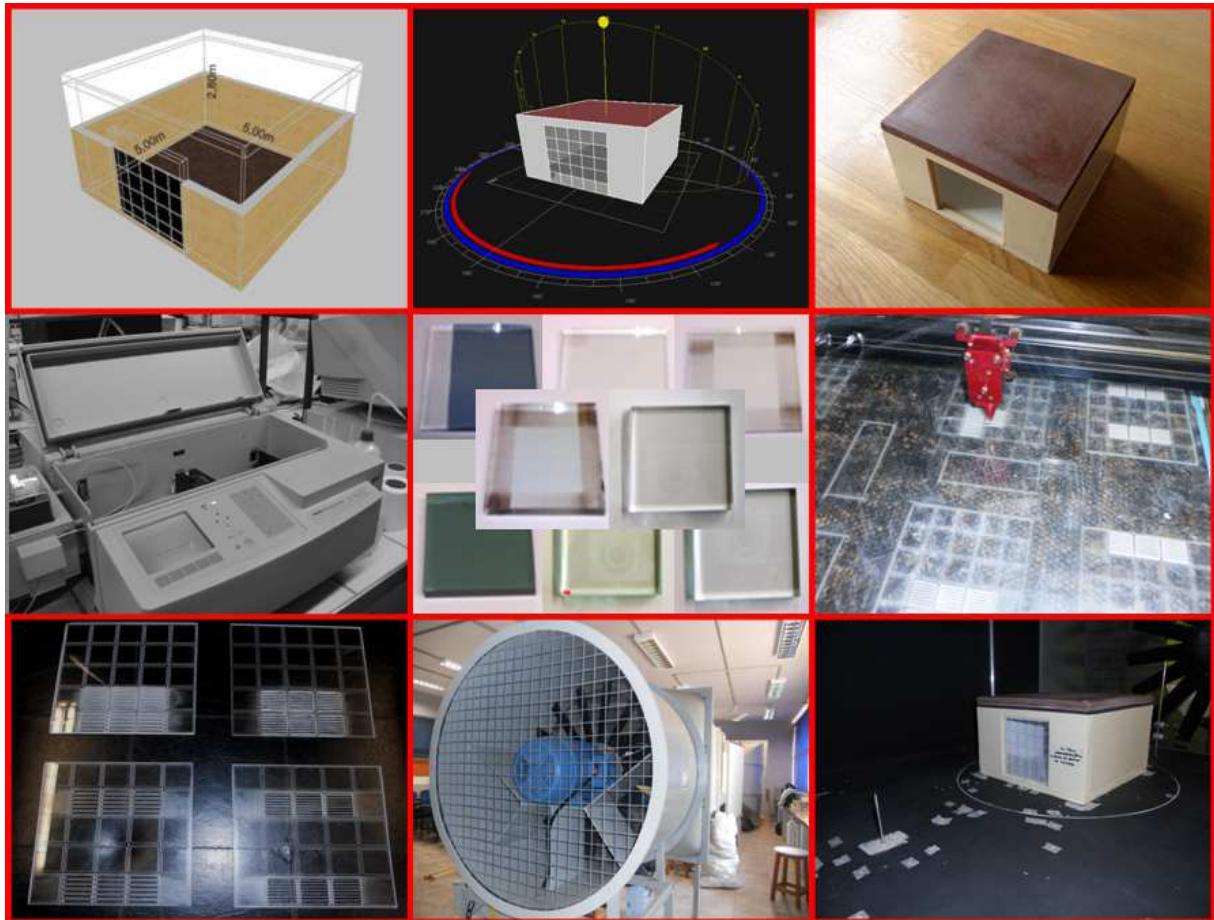
Em termos de estudos dos envidraçados, podem-se ainda realizar simulações de desempenho térmico e de iluminação natural utilizando materiais de outros fabricantes, bem como outras configurações como envidraçados triplos, para verificar se existem vantagens de utilização. Como foi observado melhor desempenho de vidros com determinadas características, podem ser estudados vidros de marcas diferentes de forma a verificar as possibilidades de aplicação e ainda, realizar novos ensaios espectrofotométricos abrangendo uma maior região do espectro.

Uma outra proposta é também a realização de simulações de ventilação natural, com a utilização de programas CFD “*Computational Fluid Dynamics*” (dinâmica dos fluidos computacional), de forma a obter resultados ainda mais confiáveis e incorporar outras variações em termos de ventilação natural (efeito chaminé, uso de anteparos acoplados aos módulos, etc.) determinando assim outras soluções possíveis, e posteriormente realizar novos ensaios em túnel de vento para aumentar ainda mais a gama de possibilidades do sistema de fachadas. Em termos dos perfis de alumínio utilizados na pormenorização, apesar de serem fornecidas suas propriedades térmicas e estanqueidade, podem ainda ser realizadas simulações nos perfis dos módulos para confirmar tais características nos programas CFD e Therm⁸⁰, por exemplo.

⁸⁰ O Therm é um software bidimensional para análise de transferência de calor baseado no método de elementos finitos, com ele é possível modelar as geometrias complexas de produtos de construção. Através deste programa pode-se ainda determinar a existência de pontes térmicas nas secções dos elementos analisados.

"A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro".

Albert Einstein



Referências Bibliográficas



A GREEN VITRUVIUS. Principles and Practice of Sustainable Architectural Design. Edited By J.Owen Lewis. James & James: London, 1999.

ABOUT OPENSTUDIO. [em linha]. 2012. [Consult. 25 Jul, 2012]. Disponível em: <http://openstudio.sourceforge.net/>

ADDINGTON, M.; SCHODEK, D. L. **Smart materials and technologies.** Elsevier, 2005.

AIDAN. **The secret of Fibonacci sequence in Trees.** [on line]. [Consult. 25 Jul. 2012]. American Museum of Natural History. New York, 2011. Available in: <http://www.amnh.org/nationalcenter/youngnaturalistawards/2011/aidan.html>

ALBERTI, L. B. **The Ten Books of Architecture** (*Da re aedificatoria*). New York: Dover, 1986.

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings.** James & James, Londres, 356 p., 1998.

ALMEIDA, M. G. **Thermal performance of A MBT Solution - A case study.** Livro de Actas - Volume 3. In: XXX IAHS World Congress on Housing - Housing Construction, An Interdisciplinary Task; University of Coimbra - Faculty of Sciences and Technology. Coimbra, Portugal, 2002.

ALTENER Programa Comunitário Greenpro. **Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, Projeto e instalação.** Projeto Europeu, Janeiro, 2004. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>

ALUSISTEM. **Esquadrias de alumínio.** [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.alusistem.com.br/ALU-BIBLIOTECA.html>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E 275: Standard practice for describing and measuring performance of ultraviolet, visible, and near-infrared spectrophotometers.** Philadelphia, 1993.

_____ (ASTM). **Standard C 1155 – 95: Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the *in-Situ* Data.** Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.11, West Conshohocken, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Green Guide.** David L. Grumman, Editor. Atlanta: ASHRAE, 2003.

_____ (ASHRAE). **Standard 140-2001 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.** ASHRAE, Atlanta, EUA, 2001.

_____ (ASHRAE). **Standard 62.1-2004, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004.

_____ (ASHRAE). **Standard 90.1 – 2004 90. User’s Manual Guide,** 2004.

_____ (ASHRAE). **Standard 90.1-2004, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004.



_____ (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004.

_____ (ASHRAE). **Fundamentals Handbook.** American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA, 2005.

_____ (ASHRAE). **Standard 140-2007 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests DesignBuilder Version 2.1.0** (incorporating EnergyPlus version 4.0.0) - Report, Jan 2010.

ANNEX 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings. [on line]. 2010 [Consult. 25 Jul. 2012]. International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. Disponível em: <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>

ANSELMO, I.; NASCIMENTO C., MALDONADO, E. **Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais.** [em linha] Lisboa ADENE – Agência para a Energia, Novembro 2004. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Documentacao/Maisrecentes/Documents/Reabilita%C3%A7%C3%A3oenerg%C3%A9tica.pdf>

ARCELOR MITTAL. **Fachadas Espectaculares.** [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2010. Disponível em: <http://www.arval-construction.com.pt/pt/solucoes/fachadas-espectaculares1.html>

ASCHEHOUG, Ø. ANDERSEN, I. **Annex 44 - Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. State-of-the-art review.** Vol 1. State-of-the-art Report. International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. Denmark: Aalborg University, Department of Civil Engineering, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ (ABNT). **NBR 5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro, 1992.

ATHIENITIS, A. K.; SANTAMOURIS, M. **Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings.** James & James, Londres, 288 p., 2002.

AUTODESK ECOTECH. **Development site for building performance analysis software and resources.** [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://usa.autodesk.com/ecotech-analysis/>

BAINBRIDGE, D. A. **A Water Wall Solar Design Manual.** San Diego, 2005.

BALCOMB, J. D.; BARKER, G.; HANCOCK, C.E. **An Exemplary Building Case Study of the Grand Canyon South Rim Residence.** NREL/TP-550-24767, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 1998.

BALCOMB, J. D.; HANCOCK; C. E.; BARKER, G. **Design, Construction, and Performance of the Grand Canyon House Golden, CO.** DE-AC36-98-GO10337. National Renewable Energy Laboratory, 1999.



BANCO DE DADOS DE VIDROS. **Grandezas Físicas**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU, Universidade de São Paulo, 2010. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/index.html>

BARROS, A. B. **Projeto Preliminar de Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica para o Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp**. TBX, 13 p., 2008.

BEDFORD, T. **The warmth factor in comfort at work. A physiological study of heating and ventilation**. Medical Research Council Industrial Health Board. London, UK. 1936.

BEHLING, S.; BEHLING, S.; FOSTER, N. **Sol Power. The evolution of solar architecture**. Munich: Prestel, 1996.

BERGE, B. **The Ecology of Building Materials**. Architectural Press: 2001.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2005. 147p.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T. **Bioclimatologia aplicada ao projecto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno do Núcleo de Pesquisa em Construção da UFSC. Florianópolis: NPC – UFSC, 1994.

BP SOLAR. **BP 3160 160 Watt Photovoltaic Module**. [em linha]. BP Solar, 2009. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/solar/bp_solar_australia/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/b/BP_Solar_3160_datasheet_May_09.pdf

BPSOLAR. **High-efficiency photovoltaic module using silicon nitride multicrystalline silicon cells**. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/solar/bp_solar_usa/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/pq/product_data_sheet_bp_3160b_03_4022_1_en.pdf

BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; SILVA, S.; PATRICIO, J. **Avaliação da eficiência acústica de um edifício MTB**. 2009. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: www.sea-acustica.es/Sevilla02/arcgen010.pdf

BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; MATEUS, R.; MENDONÇA, P. **Comparison between conventional and MBT constructive solutions from an economical and environmental point of view – case study**. Livro de Actas - Volume 2; XXX IAHS Word Congress on Housing - Housing Construction, An Interdisciplinary Task; University of Coimbra - Faculty of Sciences and Technology; Coimbra, 2002.

BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; MONTEIRO SILVA, S.; MENDONÇA, P. **Thermal Performance of a MBT Solution – a Case study**. In Proceedings from the XXX IAHS – Housing Construction, an Interdisciplinary Task; pp 1593-1600; September 9-13, Coimbra, Portugal, 2002.

BRAGANÇA, L.; SILVA, F. C. **Comparação entre modelos de previsão de isolamento sonoro a sons de condução aérea de elementos construtivos**. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil. Guimarães, 2000.



- BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; MONTEIRO SILVA, S.; MENDONÇA, P. **Acoustic performance of a MBT solution - a case study**. Livro de Actas - Volume 3. In: XXX IAHS World Congress on Housing - Housing Construction, An Interdisciplinary Task; University of Coimbra - Faculty of Sciences and Technology. Coimbra, 2002.
- BRASKEM. **Sistema Construtivo Concreto PVC**. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. 2009. Disponível em: http://www.concretopvc.com.br/site/sites_braskem/pt/concreto_pvc/home/home.aspx
- BRIGA-SÁ, A. C. **Parede de Trombe: Análise Experimental e Simulação de Desempenho Térmico**. (Tese de Doutoramento). Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade da Beira Interior, 2011.
- BRITISH STANDARD (BS). **BS 8206-2 Lighting for buildings – Part 2: Code of practice for daylighting**. 56 p. London, 2008.
- BROWNELL, B. **Transmaterial: A catalog of materials, products and processes that are redefining our physical environment**. 2004.
- CALKINS, M. **Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection, and use of sustainable construction materials**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009.
- CARAM, R. M. **Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Campinas. 1998. 165p.
- CARAM, R. M.. **Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética**. Tese de Livre-Docência – Departamento de Arquitetura e Urbanismo Escola de Engenharia de São Carlos- EESC/ USP. São Carlos. 2002.
- CARAM, R. M. **Vidros e Conforto Ambiental: indicativos para o emprego na construção civil**. EESC-USP. Dissertação de Mestrado. São Carlos, 1996, 131p.
- CARDOSO, C. J. L. **Desenvolvimento da janela eco eficiente**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Gestão, Tecnologia e Física das Construções, Universidade do Minho. Guimarães, 2008.
- CARDOSO, C.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. **Natural Illumination in Ponte da Pedra apartment block - a case study**. In: Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices. Lisbon: 2007.
- CARDOSO, J. C. M. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos projetos de edificações residenciais em Maringá-PR**. 225 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. 225 p.
- CARVALHO, R. **Painéis fotovoltaicos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nicesacht@yahoo.com.br> em 5 de mai. 2011.



- CASTRILLÓN. R. D'A. 2009. **Integration of Active and Passive Systems in Glass Façades**. Technische Universität Berlin, Berlin, Germany. In: 8th International Conference on Sustainable Energy Technologies, Aachen, Germany, August 31st to 3rd September.
- CASTRO, R. M. G. **Introdução à Energia Fotovoltaica**. Maio de 2008. [Consult. 25 Jul. 2012]. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, DEEC / Área Científica de Energia. Disponível em: http://horabsurda.org/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). **AcoubatSound_2008**. [Consult. 25 Jul. 2012]. 2008. Disponível em: http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/telechargements/Acoustique/RV_Acoubat_06-2008_GB_BD.pdf
- CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA DA ENERGIA, DOS TRANSPORTES E DO AMBIENTE (CEEETA). **Painéis Solares Fotovoltaicos**. [em linha] Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/Solar.pdf>
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **Code for Lighting Part 2**, 2002.
- CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **Daylighting and window design. Lighting Guide LG10**. The Chartered Institution of Building Services Engineers. London, UK, 1999.
- CHÁVEZ, J. R. G.; FREIXANET, V. F. **Viento y arquitectura: el viento como factor de diseño arquitectónico**. México: Trillas, 1995. 196 p.
- CHEREMISINOFF, P. N.; REGINO, T. C. **Principles and Application of Solar Energy**, Arbor Science Publ. Inc. 7th Ed., 1974.
- CHING, F. D. K. **Arquitectura: forma, espacio y orden**. México: GG, 1998.
- CHOINIERE, Y.; MUNROE, J.A. **A wind-tunnel study of wind direction effects on air-flow patterns in naturally ventilated swine buildings**. *Canad. Agric. Eng.* 36 (2), 1994. pp 93–101.
- CHVATAL, K. M. S. **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão**. Tese (Doutoramento em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Porto: Abril, 2007.
- COM (1997) 539. **Communication from the European Commission: The Competitiveness of the Construction Industry**. [em linha]. Brussels, 6 november 1997. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/97/959&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>
- COM (2008) 780. **Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho - Relativa ao desempenho energético dos edifícios**. [em linha]. Comissão das Comunidades Europeias.



Bruxelas, 13 de Novembro de 2008. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0780:FIN:PT:PDF>

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE), **Daylight. International Recommendations for the Calculation of Natural Light**. Publication C.I.E. N° 16 (E-3.2), 1970.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE), **International Lighting Vocabulary**. 4th Ed, IEC/CIE, 1987.

COMPAGNO, A. **Intelligente Glasfassaden: Material**. Anwendung, Gestaltung. Basel: Birkhäuser, 2002.

CORUS. **Façade Systems**. 2009. [em linha] [Consult. 20 Out. 2009] 2009a. Available in: http://www.tatasteelconstruction.com/en/about_us/panels_profiles/envelope_products_systems/

CORUS. **Kalzip wall systems**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2009b. Available in: <http://www.kalzip.com/PDF/uk/Kalzip-WallSystems.pdf>

COSTA, J. G. **See-through Wall**. International Design Competition Osaka, 2005.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo: Agosto, 2006.

CYPE INGENIEROS, S. A. **Gerador de preços para construção civil**. [em linha]. 2012. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info/>

DANIELS, K.; SCHWAIGER, E. **The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas**. Birkhauser, 1997.

DEAR, R.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings** 34(6): 549-563, 2002.

DECRETO -LEI n.º 68/2002, Diário da República n. 71, I Série-A. Ministério da Economia e Inovação, 25 de Março de 2002.

DECRETO-LEI n.º 129/2002 **RRAE: Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)**. Lisboa: 11 de Maio, 2002.

DECRETO-LEI n.º 290/2007. **Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)**. 2007. de 17 de Agosto.

DECRETO-LEI n.º 319/2009. Diário da República, 1.ª série, n.º 213, Ministério da Economia e da Inovação, 3 de Novembro de 2009.

DECRETO-LEI n.º 363: **Sistema Eléctrico Nacional (SEN)**. Diário da República, 1.ª série, n. 211, Ministério da Economia e da Inovação, 2 de Novembro de 2007

DECRETO-LEI n.º 79/2006 **RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios**. Diário da República - Série I-A n.º. 67, 4 de Abril, 2006.



- DECRETO-LEI n.º 80/2006 **RCCTE: Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios**. Diário da República - Série I-A n.º. 67. Lisboa: 4 de Abril 2006.
- DECRETO-LEI n.º 9/2007 **RRAE: Regulamento Geral do Ruído**. Diário da República, 1.ª série, n. 12, 17 de Janeiro de 2007.
- DECRETO-LEI n.º 96/2008: **Alterações RRAE: Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios**. Diário da República, 1.ª série, n. 110, 9 de Junho de 2008.
- DECRETO-LEI n.º 235/93, de— **RSA: Regulamento de Segurança e Ações para estruturas de edifícios e pontes**. 31 de Maio, 1993.
- DECRETO-LEI n.º 29/2006**. Diário da República n. 33, Série I – A. Ministério da Economia e da Inovação, 15 de Fevereiro de 2006.
- DEN BÔER, E.; SCHROTEN, A. **Traffic noise reduction in Europe. Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise**. Holland: CE Delft, August, 2007.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE. **DesignBuilder 1.5. User Manual**. March, 2008.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE. **Introductory Training Course: Day 1**. Oporto, April 2009.
- DESKTOP RADIANCE 1.02 User manual**. Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division Building Technologies Department, 2000. [Consult. 25 Jul. 2012] Available in: http://radsite.lbl.gov/deskrad/user_man_v102.pdf
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **DIN EN 13465 Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in dwellings**. CEN. May, 2004.
- DIN. **DIN 5034-1: Daylight in interiors – Part 1: General requirements**. 1999.
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (DGEG). **Áreas sectoriais - Eficiência Energética – Iluminação**. [em linha]. Portugal, 2011a. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.dgge.pt/>
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (DGEG). **Áreas sectoriais, Energias Renováveis, Energia Solar**, 2011b. [em linha]. [Consult.: 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.dgge.pt/>
- DIRECTIVA 2002/91/CE **Relativa ao desempenho energético dos edifícios**. Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia. 16 de Dezembro de 2002. Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 1 de 04/01/2003. p. 65 – 71.
- DIRECTIVA 2006/32/CE. **Relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos**. Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Lisboa: 5 de Abril, 2006.
- DIRECTIVA 89/106/CEE. **Relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção**. 21 de Dezembro de 1988. Jornal Oficial n.º L 040 de 11/02/1989. p. 12 – 26.
- DOGRUSOY, I. T.; TUREYEN, M. A field study on determination of preferences for Windows in office environments. **Building and Environment**, n. 42 pp 3660–3668. 2007.



EBBERT, T.; KNAACK, U. **A flexible and upgradeable facade concept for refurbishment.** [em linha]. SB07 Lisbon - Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, 2008. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11694.pdf>

EIFFERT, P.; KISS, G. J. **Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures: A Sourcebook for Architects.** [on line]. National Renewable Energy Laboratory – NREL. February, 2000. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/25272.pdf>

ELLIS, P. G. **Development and validation of the unvented trombe wall model in Energyplus.** [on line]. Master of Science in Mechanical Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign. Urbana, Illinois, 2003. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/bibliography/ellis_thesis_2003.pdf

ENERGY FOCUS (ENF). <http://www.enf.cn/>

ENERGY FOCUS (ENF). **Market Survey Global PV Component Brand Survey.** April, 2007.

EUROCONSTRUCT. **European construction market trends to 2010 - Social housing and rehabilitation of suburban areas: Programmes to 2015.** 65th Euroconstruct Conference. Rome: June, 2008.

EUROCONSTRUCT. **Macroeconomic trends and forecasts for the European construction market to 2012.** 69th Euroconstruct-Conference. Dublin, Ireland: June, 2010.

EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION (EAA). **TALAT Lecture 1102 Environmental Factors.** [em linha]. EAA, 1994. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.eaa.net/eea/education/TALAT/lectures/1102.pdf>

EUROPEAN COMMISSION - JOINT RESEARCH CENTRE (JRC). **Solar radiation and PV maps – Europe.1981-1990.** [on line]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://sunbird.jrc.it/pvgis/countries/europe/g13y_es.png

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **ISO 15099: Thermal Performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations.** 2003.

_____ (CEN). **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.** ISO, 2005.

_____ (CEN). **prEN 1993-1-5: Eurocode 3 – Design of Steel Structures – Part 1-5: General rules and rules for buildings.** Brussels: May, 2005.

_____ (CEN). **EN 12354-1: Building Acoustic. Estimation of acoustic performance of building elements.** Par 1: Airborne sound insulation between rooms.1999.



_____ (CEN). **EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**. European Committee for Standardization, 2007.

_____ (CEN). **EN ISO 717-1: Acoustic. Rating of sound insulation in buildings and of building elements**. Par 1: Airborne sound insulation. 1996.

EVANS, B.H. **Natural Air Flow Around Buildings**. Texas Engineering Experiment Station Research Report No. 59, Texas A.& M. College, College Station, TX, 1957.

EVANS, M. **Housing, Climate and Comfort**. London: The Architectural Press, 1980.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and application in environment engineering**. New York: McGraw Hill, 1972.

FASSADEN SYSTEM LÜFTUNG (FSL). **Project information Capricorn House: Decentralised sill ventilation units FSL-B-ZAU PI/FSL/11/EN/2**. Trox Group Company: 2010. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.troxtechnik.com/xpool/download/en/technical_documents/air_water_systems/projects/pi_fsl_11_en_2_capricorn.pdf

FITCH, J. M. **American Buildings: the environmental forces that shape it**. 2 ed. V. 2., New York: Shoken Books. 349 p. 1972.

FLORENSA, R. S.; ROURA, H. C. **Arquitectura y energía natural**. Edicions de la Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1995.

FONSECA, G. **Preços dos kits fotovoltaicos residenciais**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Paulo Gonçalves <pmog.sp@gmail.com> em 2 de Set. 2011.

FOUNTAIN, M., et al. Expectations of indoor climate control. **Energy and Buildings**, v.24, n.3, p.179-182. 1996.

FREITAS, S. S. A. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. Relatório de Projecto (Mestrado em Engenharia Industrial). Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2008.

FUTURENG - **Empresa Especialista de Projectos de Estruturas em Aço Leve**. [em linha]. Portugal, 2009. [Consult. 15 Out. 2009]. Disponível em: <http://www.futureng.pt>

GAP SOLUTION. **Gap Fassaden. Technische Unterlagen**. [em linha]. Gap Solution, 2009. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.gap-solution.at/uploads/media/Brosch%C3%BCre_gap-ALUsolution_120201.pdf

GARD Analytics. **EnergyPlus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2007**. October, 2009.

GERVÁSIO, H. et al. **Safety and functional assessment of MBT building solutions in view of sustainability**. Livro de Actas - Volume 3. In: XXX IAHS World Congress on Housing - Housing



Construction, An Interdisciplinary Task; University of Coimbra - Faculty of Sciences and Technology. Coimbra, 2002.

GERVÁSIO, H. M. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas.** [em linha]. Construmetal 2008 – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica. São Paulo, Brasil, Setembro 2008. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.construmetal.com.br/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf

GEURTS, C.P.W.; VAN STAALDUINEN, P.C.; DE WIT, M. S. Towards a reliable design of facade and roof elements against wind loading. [em linha]. **Heron**, vol. 49, nº. 2. TNO Building and Construction Research. [Consut. 25 Jul, 2012]. Delft, Netherlands. Disponível em: <http://heron.tudelft.nl/49-2/3.pdf>

GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, n. 40. 51 – 61 pp. 2005a.

GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 5, n.4 , p. 81-93, out./dez. 2005b.

GIVONI, B. **Basic Study of Ventilation Problems in Housing in Hot Countries.** Haifa: Building Research Technion City, 1962.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** Amsterdam: Elsevier Publishing Company Limited, 1969.

GONÇALVES H.; OLIVEIRA M.; PATRICIO A.; CABRITO P. **Passive Solar Buildings in Portugal: Experiences in the Last 20 years.** [on line]. Department of Renewable Energies-INETI Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 1997. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://arquitectologia.org/INETI_Passive_Solar_1.pdf

GONÇALVES, H. ; CABRITO, P.; OLIVEIRA, M.; PATRÍCIO, A. **Edifícios Solares Passivos em Portugal.** INETI, 1997.

GONÇALVES, H.; BROTAS, L. (editores). **Passivhaus Project. A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético. Parte 1. Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético.** Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. Julho 2007.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M. **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal.** [em linha]. ADENE. Lisboa, Novembro 2004. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Documentacao/Maisrecentes/Documents/ConceitosBioclim%C3%A1ticos.pdf>



- GONÇALVES, P. M. O. **Estudo da Eficiência Energética de Sistemas de Fachadas com Painéis Fotovoltaicos**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães: Outubro, 2011.
- GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA P.; QUIRÓS C. **Proyecto Clima y Arquitectura**. Mexico Ediciones G. Gili, S. A., v.1, 1986.
- GOULDING, J. R., LEWIS, J. O, STEEMERS, T. C. (ed.). **Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook**. Batsford for the Comission of the European Communities. London, 1994.
- GRANQVIST, C. G. Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. p. 1529–1598, 2007.
- GREVEN H. A.; BALDAUF A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Coleção Habitare, volume 9, ANTAC. Porto Alegre, 2007. 72 p.
- GUYTON, A. C. **Textbook of Medical Physiology**. WB Saunders: 1986. 1057 pp.
- HAASE, M.; AMATO, A. **Sustainable Façade Design for Zero Energy Buildings in the Tropics**. [em linha]. In: PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/Vol1/PLEA2006_PAPER509.pdf
- HEISELBERG, P.; SVIDT, K.; NIELSEN, P. V. Characteristics of airflow from open windows. *Indoor Environmental Engineering*. **Building and Environment**, n. 36. pp 859–869. Elsevier, 2001.
- HOPKINSON R.G., LONGMORE J., PETHERBRIDGE P. **Daylighting**. London: Heinemann, 1966.
- HUMPHREYS, M. A. Classroom temperature, clothing and thermal comfort: a study of secondary school children in summertime. **Building services engineer**, v.41, p.191-202. 1973.
- HUMPHREYS, M. A. E NICOL, F. **An investigation into thermal comfort in office workers**. **Journal of institution of heating and ventilation engineer**, v.38, p.181-189. 1970.
- HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building services engineer**, v.44, n.1, p.5-27. 1976.
- HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Building research and practice**, v.6, n.2, p.92-105. 1978.
- ICT – **Térmica: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios**. ITE 50, Lisboa, 2006.
- IMESSAD, K.; AIT MESSAOUDENE, N.; BELHAMEL, M. Performances of the Barra–Costantini passive heating system under Algerian climate conditions. **Renewable Energy**, n. 29, Elsevier, 2004. pp 357–367.
- INANICI, M. N.; DEMIRBILEK, F. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey. **Building and Environment**, 35 , p. 41-52, 2000.



INSTITUTO DE METEOROLOGIA (IP). **Relatório de Atividades, 2005**. [em linha]. [Consult. 15 Ago. 2011]. Disponível em:

http://www.meteo.pt/export/sites/default/bin/docs/institucionais/RA2005_IM_final.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (INETI). **Edifício SOLAR XXI: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal**. [em linha]. Lisboa, Dez. 2005. [Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: http://www.Ineg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (INETI). **Manual SolTerm versão 5.0**. Lisboa: Maio, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE). **Estatísticas da Construção e Habitação 2008**. [em linha]. Lisboa: INE, 2009. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=72431509&att_display=n&att_download=y

INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE (IPQ). **NP EM ISO 140-6: Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção**, Parte 6: Medição em laboratório, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão, 1998.

_____. (IPQ). **NP EN ISO 140-4: Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção**, Parte 6: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons de condução aéreos entre compartimentos. 1998.

_____. (IPQ). **NP EN ISO 140-5: Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção**, Parte 5: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons de aéreos de fachadas e elementos de fachada. 1998.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Daylight in Buildings: A source book on Daylighting Systems and Components**. [em linha]. Lawrence Berkley National Laboratory, 2000.[Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: http://www.iea-shc.org/task21/source_book.html

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15099: Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations**. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2003.

_____. (ISO). **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Switzerland: ISO, 2005.

JEE: **Janela Eco-eficiente**. PARTE B – Descrição da Proposta de Projeto. 2002.

JIANG, Y; ALEXANDER, D.; JENKINS, H.; ARTHUR, R.; CHEN, Q. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy simulation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, n. 91. 331–353. Elsevier, 2003.

JIE, J. Modeling of a novel Trombe wall with PV cells. **Building and Environment**. Elsevier. Vol. 42, March 2007. pp 1544-1552.



- KISS, G.; KINKEAD, J. **Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications**. [on line] National Renewable Energy Laboratory –NREL. Kiss & Company Architects. New York, October, 1995. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: <http://www.kisscathcart.com/pdf/BIPV3kc.pdf>
- KNAACK, U., KLEIN, T., BILOW M., AUER T. **Façades Principles of Construction**. Birkhäuser Verlag AG, 2007.
- KNAACK, U.; KLEIN, T. 2008. **The future envelope 1: A multidisciplinary approach**. Research in Architectural Engineering Series. V. 8. Amsterdam: IOS, Delft University.
- KOENIGSBERGER, O. H. **Manual of tropical housing and building**. Longman Group United Kingdom, 1973.
- KOENIGSBERGER, O. H. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977. 328 p.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; PINA S. M. G. E.; BERTOLLI, S. R. **A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico**. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. FLORIANÓPOLIS. p. 371-379. v. 1. 1998.
- KYOCERA. **Warum Kyocera Module?** [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012] Available in: http://www.krumbein.de/ser/dow/pdf/r_ky_module.pdf
- LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Disciplina: ECV 5161 Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, LABEEE. Florianópolis, 2005.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C. **Disciplina ECV 5161 Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2005.
- LANHAM, A., GAMA, P., BRAZ, R. **Arquitetura Bioclimática – Perspectivas de inovação e futuro**. Seminários de Inovação, IST, Junho de 2004.
- LARSON, G. W.; Shakespeare, R. **Rendering with Radiance, The Art and Science of Lighting Visualization**. Morgan Kaufmann, 1997.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL)a. **High Performance commercial buildings façade**. [em linha] 2010 [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://gaia.lbl.gov/hpbf/techno_a.htm
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL)b. **Window 6.2.33.0**. [em linha] 2009 [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: <http://windows.lbl.gov/software>
- LEVA, F. F.; SALERNO C. H.; CAMACHO, J. R.; GUIMARÃES, S. C. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico**. Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. In: 5º. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – AGRENER GD 2004. Campinas, 2004.
- LEYDECKER, S. **Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design**. Berlin: BirkhauserVerlag AG, 2008.



LIMIANO VENTILAÇÃO E LIMPEZA GERAL (LVLG). **Regulamentação com base na norma NP 1037 - 2001.** [em linha], 2011. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.lvlgventilacao.com/informacoes_tecnicas.html#regulamentacao

LUKJANTCHUKI, M. A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2010.

LYSEN, E. H. **The Trias Energica: Solar energy strategies for Developing Countries.** In: EUROSUN CONFERENCE. Germany, Freiburg, 1996.

MAHDAVI, A.; KUMAR, S. Implications of indoor climate control for comfort, energy and environment. **Energy and Buildings**, v.24, n.3, p.167-177. 1996.

MAHFUZ, E. **Fachadas contemporâneas.** Revista AU Arquitetura e Urbanismo, Edição n. 184, Julho 2009.

MAPOTA, E. F. **Módulo fotovoltaico com seguimento da posição solar.** [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2009. Disponível em: http://run.unl.pt/bitstream/10362/2300/1/Emanuel_2009.pdf

MARAGNO, G. V. **Adequação bioclimática da Arquitetura de Mato Grosso do Sul.** [em linha] *Ensaios e Ciências*. vol. 6, nº. 3. pp. 13-17. Campo Grande, 2002. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/260/26060302.pdf>

MARTINS, R. et al. **Sustentabilidade e performance energética de edifícios residenciais unifamiliares metálicos.** [em linha]. In: V Congresso de Construção Metálica e Mista. Lisboa, Portugal, Novembro 2005. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.cmm.pt/gcom/publicacoes/conf_nac/cn_173.pdf

MASCARÓ, L. E. R. **Coordinación modular? Qué es?** n. 103, Buenos Aires: Summa,1976.

MATEUS, R. F. M. S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção.** Dissertação de Mestrado em Gestão tecnologia e Física das construções, Universidade do Minho, Guimarães, 2004.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, 2007.

MATSUMOTO, E. **Calibração do túnel de vento de camada limite atmosférica e ensaios de aberturas em edificações utilizando modelos reduzidos.** Projeto de Pesquisa Pós-Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo-FEC, Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas, 2008.



- MATSUMOTO, E.; LUKIANTCHUKI, M. **Potencialidade do Uso do Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica como Ferramenta no Processo de Projeto**. Relatório de Progresso-Projeto Temático, FAPESP, 2010.
- MAZON, A. A. O.; SILVA, R. G. O.; SOUZA, H. A. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. [em linha]. **Revista Escola de Minas**. Vol. 59, nº. 2. Ouro Preto: Apr./Jun., 2006. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n2/v59n2a07.pdf>
- MAZRIA, E. **The passive solar energy book**. Pennsylvania: Rodale Press, 1979.
- MCNICHOLL, A.; OWEN LEWIS, J. **Daylight in Buildings**. THERMIE Programme Action Energy. Research Group, School of Architecture, University College Dublin, 1994.
- MEIJJS, M.; KNAAK U. **Components and Connections: Principles of Construction**. Berlin: Birkhäuser Verlag AG, 2009.
- MEINEL, A. B. **Applied Solar Energy**. Addison Publishing Company, USA, 1979.
- MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.
- MENDONÇA, P. J. **Habitar sob uma Segunda Pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Guimarães, 2005.
- MICROGERAÇÃO EDP. **Uma Oferta que gira à volta do Sol. 2012**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.microgeracaoedp.com/saiba-mais-sobre-a-microgeracao>
- MILITARY HANDBOOK (MIL-HDBK). **Cooling Buildings by Natural Ventilation**. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command. Alexandria, USA, 1990.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO - MEI. **Resolução do Conselho de Ministros no 154/2001. Aprova o Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas)**. [em linha]. Lisboa: 27 de Setembro, 2001. Diário da República, Série I - B nº 243, 19 de Outubro de 2001. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.dre.pt/pdf1s/2001/10/243B00/66486649.pdf>
- MIRANDA, P. M. A. et al. **O clima de Portugal nos séculos XX e XXI**. [em linha]. Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa. Projecto Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAM), 2003. [Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: http://www.dfisica.ubi.pt/~artome/Siam2_Clima.pdf
- MISTRICK R. G. **Desktop Radiance Overview**. [on line]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Pennsylvania State University, 2000. Available in: <http://radsite.lbl.gov/deskrad/drad-overview.pdf>
- MITJÁ, A.; ESTEVE, J.; ESCOBAR, J.J. **Estalvi d'energia en el disseny d'edificis**. Generalitat de Catalunya / Departament d'Indústria i Energia, Barcelona, 1986.
- MOON, P. Proposed standard solar-radiation curves for engineering use. **Journal of the Franklin Institute**. Volume 230, Issue 5, November, 1940, Pages 583-617.



MOORE, F.. **Concepts and practices of daylighting in architecture**. Van Nostrand Reinhold, USA, 1991.

MORSE, E. L. **Warming and Ventilating Apartments by Sun's Rays**. U. S. Patent 246,626, 1881.

MPRIME. **Módulos PV 215 - 240 W**. Ficha Técnica. 2011.

MURAKAMI, S.; KATO, S.; AKABAYASHI, S.; MIZUTANI, K.; KIM, Y. D. **Wind tunnel test on velocity–pressure field of cross-ventilation with open windows**. ASHRAE Trans. 97 (Part 1), 1991. pp 525–538.

NF P78-201-1 (DTU 39): Travaux de bâtiment – Travaux de miroiterie-vitrierie. Partie 1: Cahier des clauses techniques + Amendement A1, AFNOR, 1998.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v.36, n.7, p.628-637. 2004.

NICOL, F. E HUMPHREYS, M. A. **Thermal comfort as part of a self-regulating system**. CIB Commission W45 Symposium: thermal comfort and moderate heat stress. Garston, UK, 1972. p. 263-280.

NP 1037-1: Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural). 2002.

OCHOA, C. E.; CAPELUTO, I. G. Advice Tool for Early Design Stages of Intelligent Facades based on Energy and Visual Comfort Approach. **Energy and Buildings**, v. 43, 2008.

OKALUX. **Glazing with Integral Sun Control Louvres**. Alemanha. [em linha] Okalux. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.okalux.de/fileadmin/Downloads/Downloads_englisch/Infotexte/i_okasolar_s_e.pdf

OLESEN, B. W. E PARSONS, K. C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. **Energy and Buildings**, v.34, n.6, p.537-548. 2002.

OLESEN, B. W., et al. **Criteria for the indoor environment for energy performance of buildings - a new european standard**. In: Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

OLGYAY, V. **Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V. **Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

OLGYAY, V.; OLGAY, A. **Solar Control & Shading Devices**. Princeton: Princeton University, 1957.

OLIVEIRA, L. A.; MELHADO, S. B. **O Projeto de Fachadas Leves – Tecnologia e Gestão**. [em linha]. In: VIII Workshop Brasileiro Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/secundarias/ANAIS/Artigo_07.pdf



- OLIVEIRA, M. A. **Estudo da eficiência da duplicação de janelas na melhoria do isolamento acústico destes componentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.[em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/diss_marco_aurelio.pdf
- OMS - Organização Mundial de Saúde. **Guidelines for Community Noise**. London, 1999.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Regional Office for Europe. Indoor air pollutants: Exposure and Healths effects. [em linha]. **Euro reports and studies**, nº. 78,1983. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://libdoc.who.int/euro/r&s/EURO_R&S_78.pdf
- PATRÍCIO, J. **Estado de implementação da regulamentação acústica de edifícios em Portugal**. 36º. Congresso Nacional de Acústica. TECNIACÚSTICA 2005. Sociedad Española de Acústica - SEA, 2005.
- PAUL, J. K. **Passive Solar Energy Design and Materials**. Noyes Data Co.; Park Ridge (N.J.), 1979.
- PEREIRA, V. S. **Tendências na reabilitação de fachadas: a contribuição da indústria de materiais de construção**. In: Workshop “O Habitat do Futuro inserido no património construído – desafios e oportunidades para o Sector da Reabilitação”. Aveiro, 2006.
- PIETROBON, C. E., LAMBERTS R., PEREIRA, F. O. R. **Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações: conceituação e aplicação para Maringá - PR**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.
- PRATA SHIMOMURA, A. R.; MONTEIRO, L. M.; FROTA, A. B. **Ensaio de erosão em túnel de vento e aplicação do índice PET para a avaliação do conforto do pedestre**. In: 1er. Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento. Montevideo, 2008.
- PUJOLLE, J. **La pratique de l'isolation acoustique dès batiments**. Editions du Moniteur. Paris, 1978.
- RENEWABLE ENERGY UK. **Top Solar Photovoltaics Awards 2009**. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012] Disponível em: <http://www.reuk.co.uk/Top-Solar-Photovoltaics-Awards.htm>
- RITTER, A. **Smart Materials in architecture, interior architecture and design**. Berlin: Birkhäuser, 2007.
- ROAF S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: A Design Guide**. Elsevier, Architectural Press, 2001.
- ROBERTS A.; MARSH A. J. **ECOTECT: Environmental Prediction in Architectural Education**, Conference Proceedings, 19th ECAADE - Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, Finland, 2001.
- RORIZ, M. **Zona de conforto térmico: um estudo comparativo de diferentes abordagens**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Departamento de Arquitetura e Planejamento, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1989.



SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Façade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Trombe Wall Thermal Performance in different Portuguese Climates: Bragança, Coimbra, Évora and Faro.** In: SB11- World Sustainable Building Conference. Helsinki, 2011.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: An Overview.** In: PORTUGAL SB10 - Sustainable Building Affordable to All. Algarve, 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Glazing Thermal Performance Analyses to Coimbra and Faro.** In: 3rd PALENC 2010 - XIII Passive & Low Energy Cooling for the Built Environment. Rhodes Island, Greece 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings.** Resumo Expandido. In: Semana de Engenharia: Engenharia Qualidade de Vida. Guimarães, Portugal, Outubro, 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Façades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Glazing Thermal Performance to Guimarães Climate.** In: International Conference COST Action C25, Towards a better built environment. Austria, 2011.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Modulated Façade System: Trombe Wall and Glazing Study for Different Portuguese Climates.** *Informes de la Construcción*. Madrid (Aguardando aceite).

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Concepção de um Sistema de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios: Estudo dos Tipos de Envidraçados para Quatro Cidades Portuguesas.** In: ENTAC 2010 - XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela - RS, 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Desenvolvimento de um sistema de fachadas modular para reabilitação eco-eficiente de edifícios.** In: NUTAU 2010 – 8º. Seminário Internacional Design e Inovação: Mensagens e Produtos para Ambientes Sustentáveis. São Paulo - SP, 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Estudo de vidros duplos para um sistema de fachada destinado a Portugal: Análise para Funchal-Madeira, Lajes-Açores, Lisboa e Porto.** In: ENTECA 2011 - VIII Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, Maringá - PR, 2011.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Glazing Façade Modules: Daylighting Performance Simulation for Bragança, Coimbra, Évora and Faro.** In: SASBE2012 - Smart and Sustainable Built Environments: Emerging economies. São Paulo, 2012 (Aguardando aceite).

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Passive Façade Solutions: Trombe Wall Thermal Performance and Glazing Daylighting Performance for Guimarães – Portugal.** In: 28th International PLEA Conference, Opportunities, Limits & Needs. Towards an environmentally responsible architecture. Lima, Peru, 2012 (Aguardando aceite).



SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. Sistemas de fachadas inovadores e conforto térmico: estudo em Portugal. **Revista Tecnológica (UEM)**. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Paraná. (Aguardando aceite).

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M.; CARAM, R. **Trombe Wall Thermal Performance for a Modular Façade System in different Portuguese Climates: Lisbon, Porto, Lajes and Funchal**. In: Building Simulation 2011. Sydney, 2011.

SACHT, H. M. **Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios**. Plano de Tese - Programa Doutoral em Engenharia Civil. Julho, 2010.

SAILOR, D. J. A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. **International Journal of Climatology**. Int. J. Climatol, 2010.

SAINT GOBAIN GLASS. **O vidro e o isolamento acústico - Informações técnicas**. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://pt.saint-gobain-glass.com/upload/files/3.1.6_o_vidro_e_o_isolamento_ac_stico.pdf

SAINT-GOBAIN GLASS (SGG). **Manual do Vidro**. Novembro, 2008.

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. **Passive Cooling of Buildings**. James & James, Londres, 472 p., 1996.

SANTIAGO, P. **Fachadas inteligentes e bioclimáticas**. [em linha]. Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2007. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/397/1/38-47.pdf>

SANTOS, A. J. **A Iluminação Natural na Perspectiva da Reabilitação das Construções**. Apresentação (pdf), Mestrado em Engenharia Civil - Disciplina de Reabilitação das Construções, Universidade do Minho, Junho de 2005.

SANTOS, A. J. **Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação *in situ***. [em linha]. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2002. DED/NAI [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/civil/114.PDF>

SANTOS, A. J. **Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação *in situ***. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Lisboa. Lisboa, 2001.

SANTOS, C. A. P.; MATIAS, L. **Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios**. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

SANTOS, C. M. L. **O Projeto de Iluminação para Edifícios de Escritórios: Influência das Variáveis Arquitetônicas no Comportamento da Luz natural e Conforto Visual**. Dissertação de Mestrado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.



SANTOS, P., GERVÁSIO, H., SIMÕES DA SILVA, L.; GAMEIRO, A. Influence of climate change on the energy efficiency of light steel residential buildings. **Energy Conversion and Management**. Elsevier, 2009.

SARDEIRO, P. S. **Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Campinas, 2007. 221p.

SCARAZZATO, P. S. Software DLN. **Revista Lume**, nº. 10. São Paulo: Comunicação e Editora, 2004. p. 24-29.

SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SCHNEIDER ELECTRIC. 2009. **Capricorn Haus**. [em linha]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.tac.com/data/internal/data/08/77/1256750506101/Capricorn_Haus.pdf

SCHÜCO. **Corona AS 60**. Das Kunststoff-Fenstersystem für das Objektgeschäft. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012]. 2009 a. Disponível em: http://www.artiindex.com/pvc/corona_as_60.pdf

SCHÜCO. **Corona S 74 Ventanas y puertas correderas de PVC para terrazas, balcones e invernaderos**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2009 b. Disponível em: http://www.schueco.com/web/pt/partner/centro_de_descargas/pvc/ventanas_y_puertas/1170170/corona_s_74.pdf

SCHÜCO. **Sistemas de alumínio para fachadas e lucernários**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2009 c. Disponível em: http://www.schueco.com/web/pt/arquitectos/centro_de_descargas/aluminio/fachadas_y_lucernarios/1356334/sistemas_de_aluminio_para_fachadas_y_lucernarios.pdf

SCHÜCO. **Sistemas de fachadas modulares**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2009 d. Disponível em: http://www.schueco.com/web/pt/partner/centro_de_descargas/aluminio/fachadas_y_lucernarios/1170114/sistemas_de_fachadas_modulares.pdf

SHERMAN; M. H. **ASHRAE'S Residential Ventilation Standard: Exegesis of Proposed Standard 62.2**. Indoor Environment Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, 2000.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de vedação**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

SILVA, P. C. P. **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães, 2006.



- SILVA, S. M. **Caracterização Energético - Económica de diversas soluções construtivas.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho; Guimarães, 2001.
- SOBIN, H. J. 1981. **Window Design for Passive Ventilating Cooling an Experiment Model Scale Study.** In: Proceedings International Passive and Hybrid Cooling Conference. Miami Beach, FL. Boulder, CO: AS/ISES, pp. 191-195.
- SOUSA, O. J. S. 2008. **Obtenção dos perfis de utilização, iluminação e de equipamentos das habitações residenciais.** Relatório de Projecto Individual. Universidade do Minho.
- STRAWA, M.P.; BAKERB, C.J.; ROBERTSONC, A.P. Experimental measurements and computations of the wind-induced ventilation of a cubic structure. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, n. 88, 2000. pp 213-230.
- SUN, W.; JI, J.; LUO, C.; HE, W. Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south façade design. **Applied Energy**, Vol. 88, Issue 1, January 2011, Pages 224-231.
- SUNNY DESIGN. **Manual de utilização Tecnologia de dados solar.** [em linha]. SMA Solar Technology AG. Niestetal, Alemanha, 2011. Disponível em: <http://files.sma.de/dl/2830/SDesign-BPT083320.pdf>. Acesso em: 15 Jan. 2012.
- SUNTECH. **Polycrystalline Solar Panels.** TP225 - 20/Wd STP220 - 20/Wd 225 Watt, 2010.
- SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings.** Camberra, Australian: Published By Raia Education Division, 1987.
- TECHNAL. Architectural Aluminium Systems. **Modal Low Rise Façade System**, [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012] 2009. Disponível em: [http://www.technal.co.uk/upload/Technal.co.uk/Documents/MODAL_scr%20CB\(White\)-MODAL-V001-MAY09.pdf](http://www.technal.co.uk/upload/Technal.co.uk/Documents/MODAL_scr%20CB(White)-MODAL-V001-MAY09.pdf)
- TECHNAL. **As Janelas: FX-FXi.** Lisboa, 2006.
- TECHNAL. **Fx, Fxi: As Janelas.** Documento nº 4078.002. Lisboa, 2006.
- TECHNAL. **Géode MX.** [on line]. Edition 3th quarter 2006. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://www.technal.pt/get_document.php?id=228
- TECHNAL. **Handbook Technal: A importância de um sistema de alumínio na construção.** Lisboa, 2008.
- THOMAS, R. MAX FORDHAM & PARTNERS. **Photovoltaics and Architecture.** London: 2001
- THOMAS, R.; GRAINGER, T. **Photovoltaics in Buildings: A Design Guide Report No ETSU S/P2/00282/REP.** [on line] 1999. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.berr.gov.uk/files/file16811.pdf>
- THORNDIKE, E. H. **Energy and Environment: A primer for scientists and Engineers.** Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1976.



TOLEDO, A. **Critérios para o dimensionamento de aberturas de ventilação natural dos edifícios.** In.: Anais do VI Encontro Nacional e III Latino-americano sobre Conforto no ambiente Construído, CD-ROM, Roriz, M. e Labaki, L. C. (ed.)/ANTAC. São Paulo, 2001.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das Habitações.** Editora Edufal, Universidade Federal de Alagoas, 170 p., 1999.

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C.E. **Influência de Características Arquitetônicas no Consumo de Energia Elétrica de Edifícios de Escritórios de Florianópolis.** In: III ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. Anais... Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1995.

TORCELLINI, P.; PLESS, S. **Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences.** NREL - National Renewable Energy Laboratory. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS VIII AND EXPO. Preprint. 8 pp.; NREL Report No. CP-550-36277. Denver, Colorado: 2004.

TROMBE, F. **US Patent 3,832,992.** 1972.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. **Getting Started and Overview.** [on line]. 2009. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. **Input/Output Reference.** [on line]. 2009. [Consult. 25 Jul, 2012]. Available in: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. **Output Details and Examples.** [on line]. 2009. [Consult. 25 Jul, 2012]. Available in: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/outputdetailsandexamples.pdf>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. **Engineering Reference.** [on line]. 2009. [Consult. 25 Jul, 2012]. Available in: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. **Auxiliary Programs.** [on line]. 2009. [Consult. 25 Jul, 2012]. Available in: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/auxiliaryprograms.pdf>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **High-Performance Commercial Buildings. A Technology Roadmap.** [on line]. [Consult. 25 Jul. 2012]. Available in: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/commercial_initiative/commercialbuildingsroadmap.pdf

UNITED NATIONS (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU). BRUNTLAND, G. (ed.). **Our common future: The World Commission on Environment and Development.** [em linha]. 1987. [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Efeitos fisiológicos da radiação UV**. [em linha] Laboratório de Espectrofotometria do Instituto de Física "Gleb Wataghin". 2010 [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/laboespecto.html#7>

US DEPARTMENT OF ENERGY – **Energy Efficiency and Renewable Energy**, 2011. <http://www.eere.energy.gov/>

VITRUVIO. M. P. **Da Arquitetura** (*De Architectura Libri Decem*). Tradução e notas Marco Aurélio Lagonegro. São Paulo: Hucitec, 1999.

WATSON, D. **Energy conservation through building design**. Nova York: McGraw Hill, p. 96- 113. 1979.

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Building Design: Energy-Efficient Buildings/Principles and Practice**. New York: ed. McGraw-Hill, Inc., 1983.

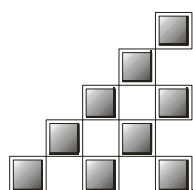
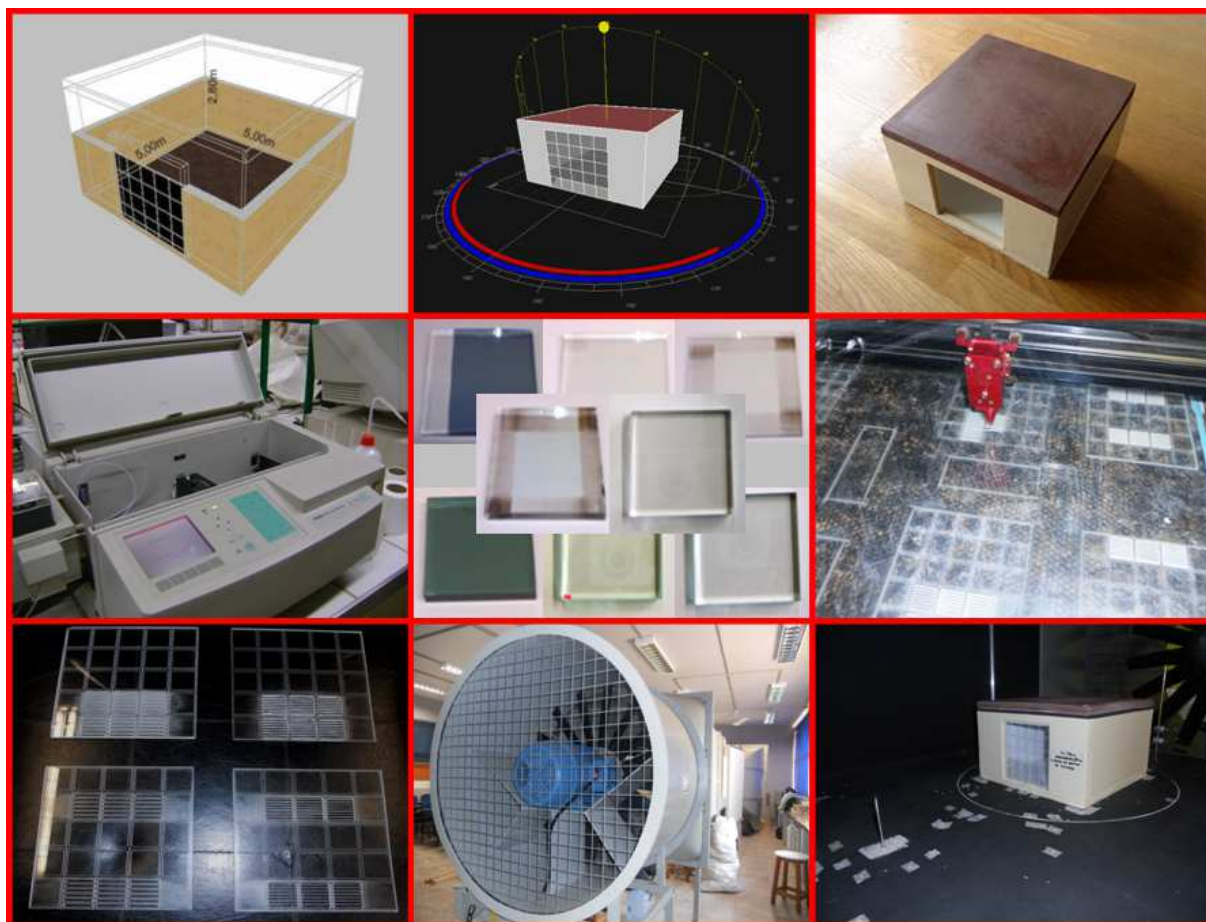
WEBB, C. G. S. An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial environment. **British journal of industrial medicine**, v.16, n.3, p.297-310. 1959. **Iluminação Natural**

WICONA. **Productos y Referencias: Temotion**, [em linha]. 2009. [Consut. 25 Jul. 2012]. Disponível em: <http://www.wicon.es/descargas/archivos/Wicono%20-%20no%20limits.pdf>

ZANESCO, I.; A. MOEHLECKE; PEREIRA, M. S.; SEVERO, T. C. **Análise de Módulos Fotovoltaicos Concentradores Estáticos em Fachadas**. [em linha] [Consult. 25 Jul. 2012]. Disponível em: http://www.pucrs.br/cbsolar/pdf/xicbe_concestaticos.pdf

"Sabemos bem que toda a obra tem que ser imperfeita, e que a menos segura das nossas contemplações estéticas será a daquilo que escrevemos".

Fernando Pessoa



Anexos



Anexo A: Simulações Computacionais de Desempenho Térmico: Fachadas Envidraçadas

Évora: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Os três tipos de envidraçados analisados para o clima de Évora conduziram a necessidades energéticas de aquecimento abaixo das recomendações do RCCTE (65,08 kWh/m².ano). Sendo o mínimo valor observado para o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). O uso dos dois tipos de envoltivo novamente conduziu a valores próximos para as necessidades nominais de aquecimento (**Figuras A1 e A2**).

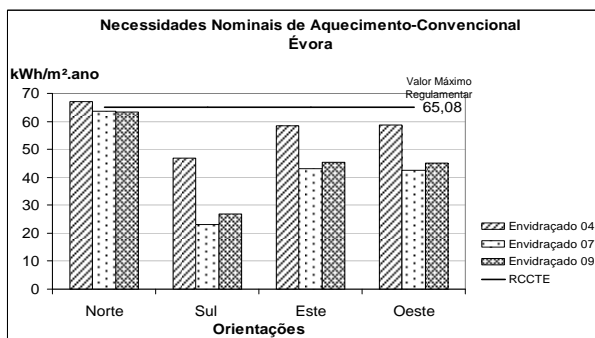


Figura A1. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Évora.

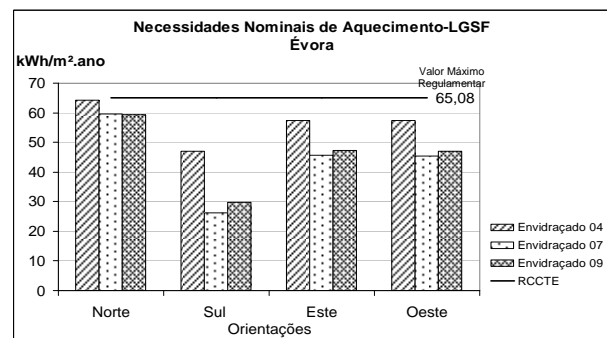


Figura A2. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Évora.

Praticamente os três tipos de envidraçados conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do valor calculado de acordo com o RCCTE (32 kWh/m².ano) para os modelos com envoltivo típica do sistema LGSF (**Figuras A3 e A4**). Já para a envoltivo convencional, somente o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) levou a necessidades nominais de arrefecimento inferiores.

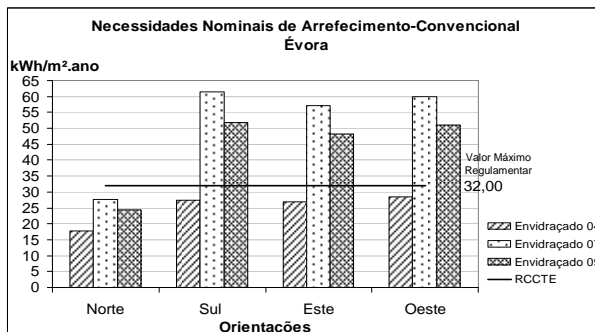


Figura A3. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Évora.

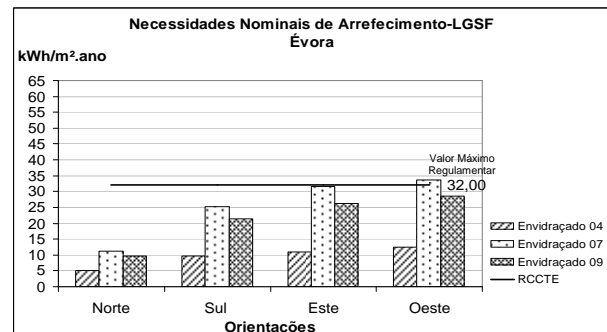


Figura A4. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Évora.



Funchal - Madeira: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Os resultados para Funchal indicam que os três tipos de envidraçados utilizados conduziram a necessidades nominais de aquecimento bem abaixo do recomendado pelo RCCTE (46,42kWh/m².ano), porém o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) destacou-se novamente por apresentar o menor valor. O uso de dois diferentes tipos de envolvente praticamente não influenciou nos resultados para as necessidades nominais de aquecimento (**Figuras A5 e A6**).

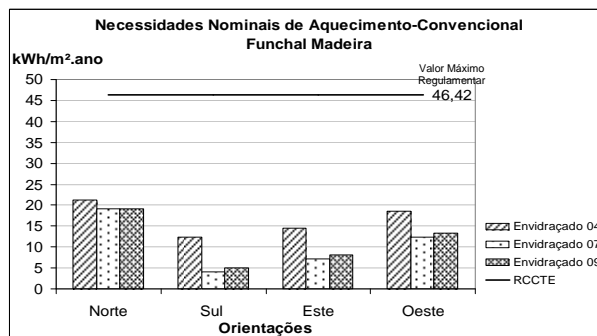


Figura A5. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Funchal Madeira.

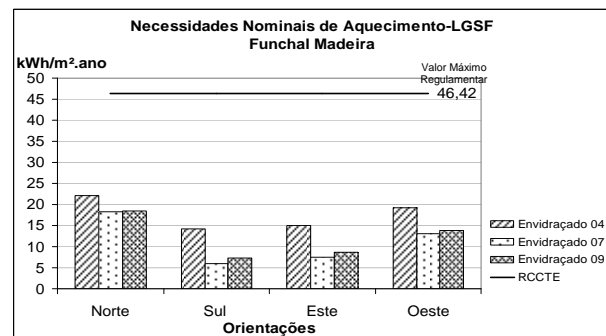


Figura A6. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Funchal Madeira.

Para os modelos com envolvente em alvenaria dupla (sistema convencional), apenas o envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) levou a necessidades nominais de arrefecimento inferior à 23kWh/m².ano para todas as orientações solares (**Figura A7**). Para o clima de Funchal, todos os envidraçados conduziram a para a envolvente do sistema LGSF, necessidades nominais de arrefecimento abaixo do valor calculado de acordo com o RCCTE (23 kWh/m².ano) (**Figura A8**).

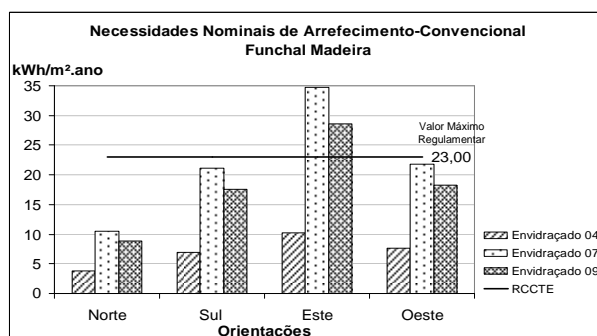


Figura A7. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Funchal Madeira.

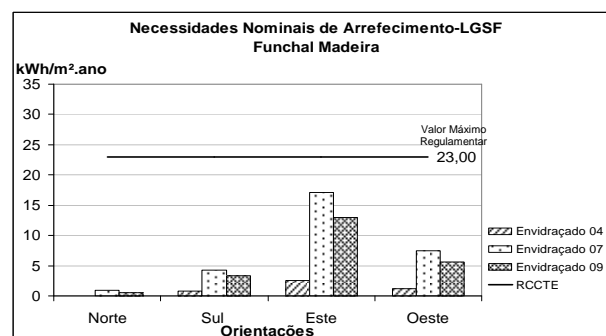


Figura A8. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Funchal Madeira.



Guimarães: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Os três tipos de envidraçados utilizados nas simulações conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE para a cidade de Guimarães (81,64kWh/m².ano) para ambos os tipos de envolvente. O uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) conduziu a o menor consumo. Ambos os tipos de envolvente conduziram a necessidades nominais de aquecimento próximas (**Figuras A9 e A10**).

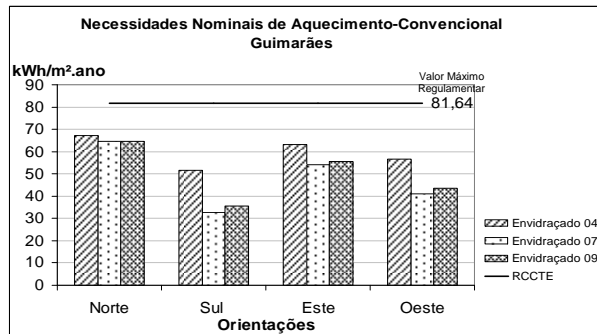


Figura A9. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Guimarães.

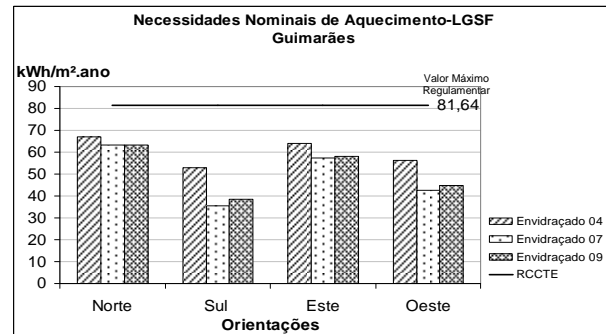


Figura A10. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Guimarães.

Para os modelos com envolvente do sistema convencional, apenas o envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziu a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do valor calculado de acordo com o RCCTE (18kWh/m².ano), com exceção da orientação sul (**Figura A11**). Para os modelos com envolvente do sistema LGSF, os três envidraçados conduziram a valores abaixo do valor indicado pelo RCCTE, com exceção dos modelos com envidraçados 07 e 09 para a orientação oeste (**Figura A12**).

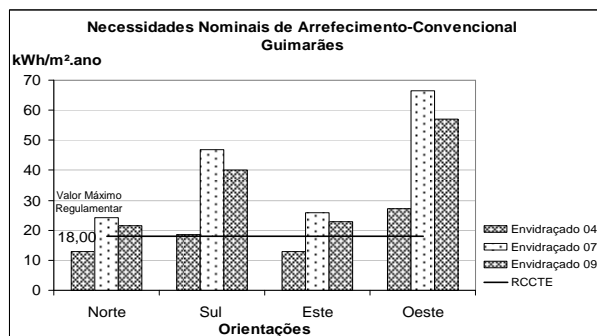


Figura A11. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Guimarães.

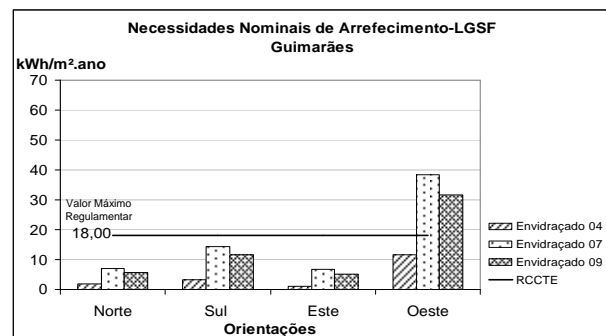


Figura A12. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Guimarães.



Lajes - Açores: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Os três tipos de envidraçados simulados para o clima de Lajes conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE (36,42kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF). O menor consumo foi devido ao uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). O uso dos dois tipos de envolvente não conduziu a diferenças significativas nos valores das necessidades nominais de aquecimento (**Figuras A13 e A14**).

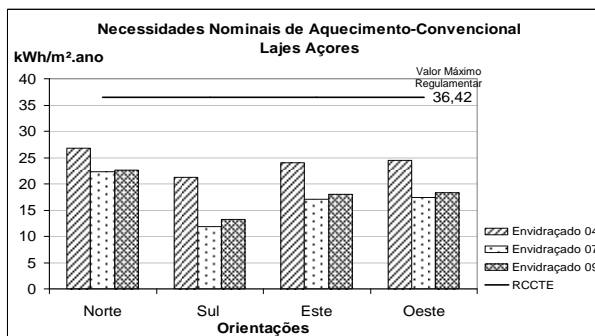


Figura A13. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Lajes-Açores.

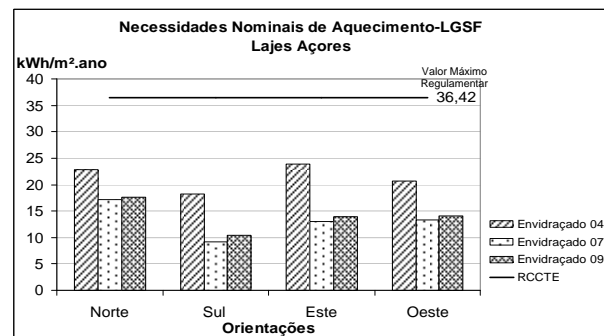


Figura A14. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Lajes-Açores.

Para os modelos em envolvente convencional simulados para Laje, todos os envidraçados conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferiores ao calculado de acordo com o RCCTE (21kWh/m².ano), com exceção do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) para a orientação sul. Para os modelos com envolvente do sistema LGSF, todos os envidraçados conduziram a valores inferiores ao RCCTE; tais valores estiveram abaixo dos obtidos para os modelos com envolvente do sistema convencional (**Figuras A15 e A16**).

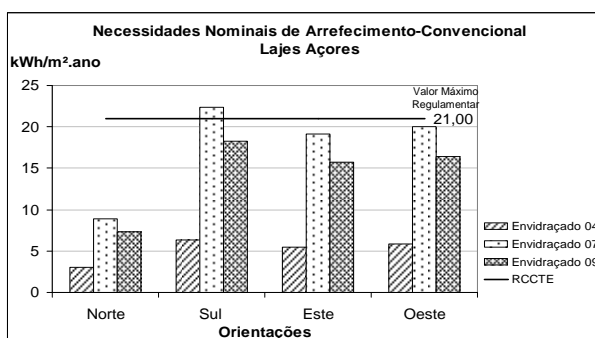


Figura A15. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Lajes-Açores.

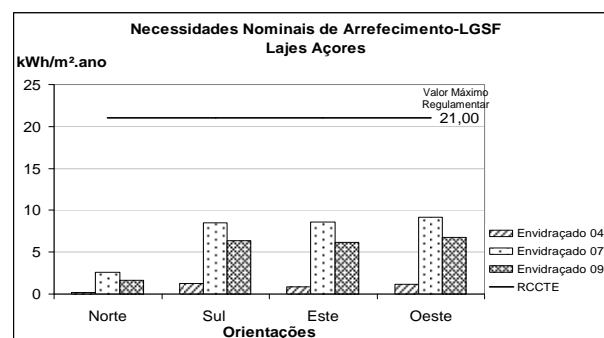


Figura A16. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Lajes-Açores.



Lisboa: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para a cidade de Lisboa, os três tipos de envidraçados utilizados conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE (56,36kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF). Novamente o menor consumo foi com o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm), sendo que ambos os tipos de envolvente conduziram a necessidades nominais de aquecimento semelhantes (**Figuras A17 e A18**).

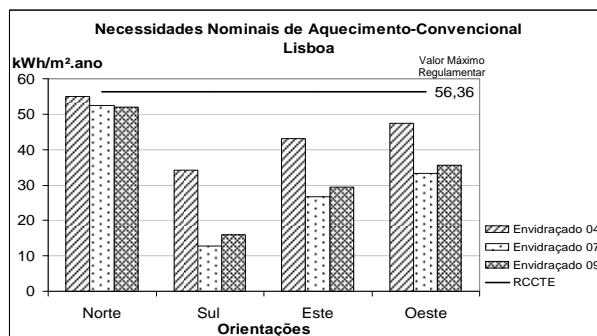


Figura A17. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Lisboa.

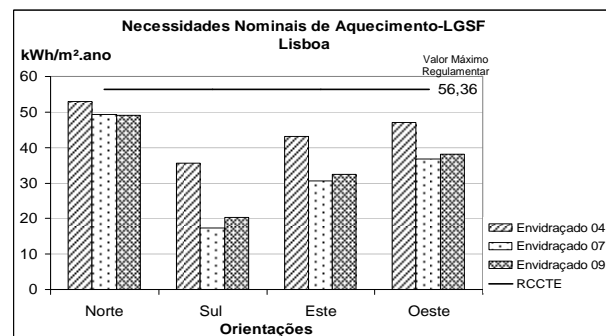


Figura A18. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Lisboa.

Para o clima de Lisboa, somente o uso do envidraçado 4 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) para os modelos com envolvente do sistema convencional levou a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do determinado de acordo com o RCCTE (32kWh/m².ano), (**Figura A19**). Já para os modelos com envolvente do sistema LGSF, dois envidraçados conduziram a valores abaixo do RCCTE, sendo eles o envidraçado 04 e o envidraçado 09 (**Figura A20**).

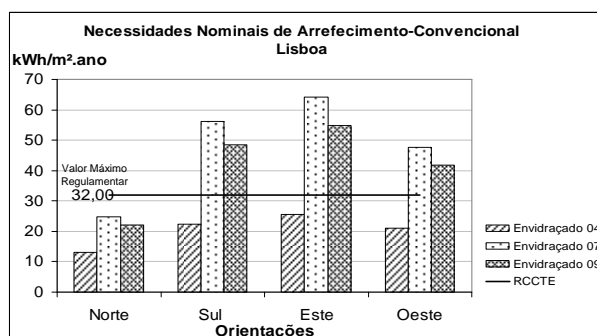


Figura A19. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Lisboa.

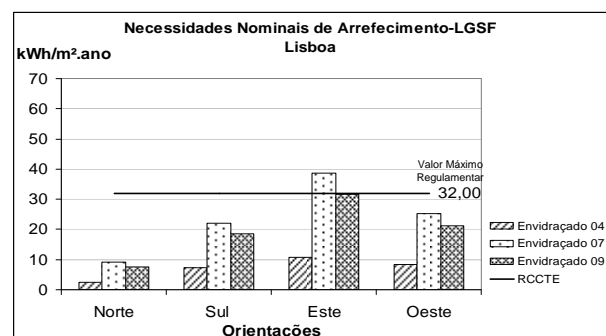


Figura A20. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Lisboa.



Porto: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Os três tipos de envidraçados analisados para a cidade do Porto conduziram a necessidades energéticas de aquecimento abaixo do valor calculado de acordo com o RCCTE (74,66 kWh/m².ano). O mínimo valor foi observado para o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm), ou seja, o uso desse tipo envidraçado representa economia de energia para aquecimento. Os modelos com os dois tipos de envolvente (sistema convencional e LGSF) conduziram a valores bem próximos (**Figuras A21 e A22**).

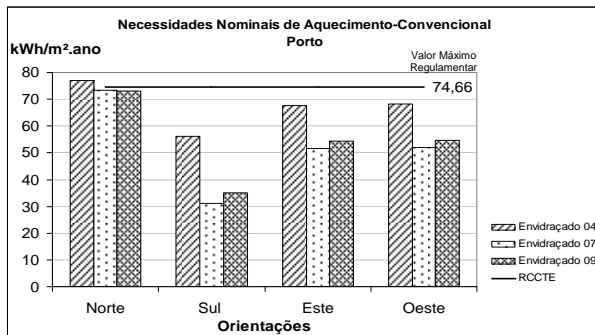


Figura A21. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Porto.

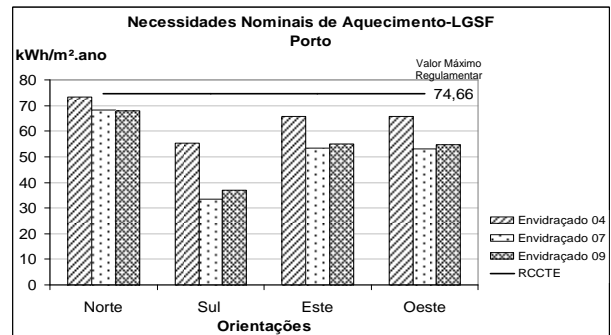


Figura A22. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Porto.

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para o Porto, observou-se que o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) destacou-se por apresentar valores de necessidades nominais de arrefecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE (16kWh/m².ano) para o uso de envolvente do sistema convencional. Para a envolvente do sistema LGSF, os três envidraçados conduziram a valores inferiores ao RCCTE (**Figuras A23 e A24**).

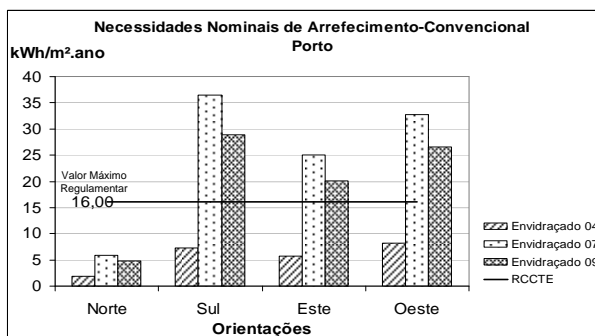


Figura A23. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Porto.

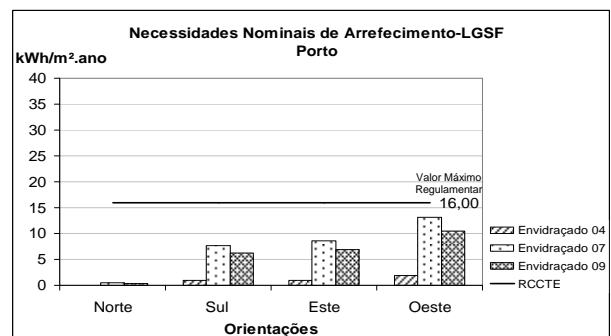


Figura A24. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Porto.

Anexo B: Simulações Computacionais de Desempenho Térmico: Soluções Passivas

Évora: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Todas as soluções passivas de aquecimento analisadas conduziram a necessidades energéticas de aquecimento abaixo das recomendações do RCCTE (65,08 kWh/m².ano) para clima de Évora. Os maiores consumos foram observados para a envolvente do sistema em alvenaria convencional. As soluções compostas pela combinação do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) com uma ou duas paredes de Trombe conduziram a um menor consumo energético para aquecimento, principalmente para a orientação solar sul. Novamente com a adição de módulos estufa não foram observadas variações significativas no consumo energético de aquecimento, sendo que as soluções que incorporam paredes de Trombe ou estufa ao módulo envidraçado 04 conduziram a valores bem próximos (**Figuras B1 e B2**).

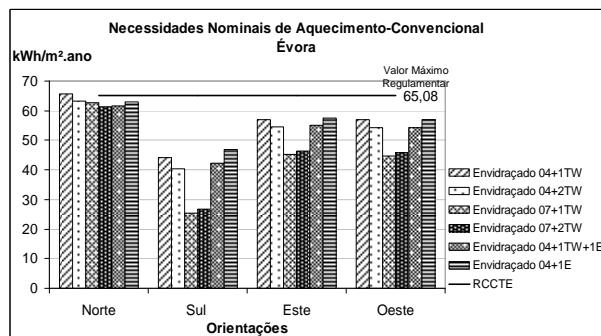


Figura B1. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional - Évora.

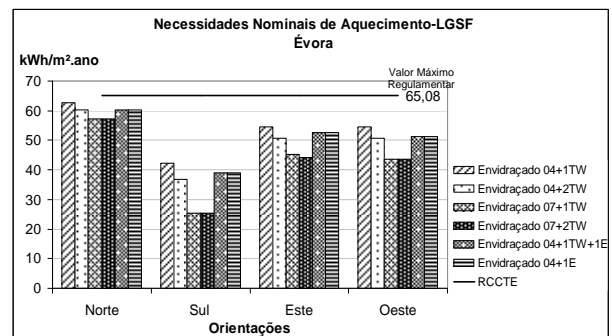


Figura B2. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF - Évora.

Para os modelos com envolvente em alvenaria dupla (sistema convencional) apenas as soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferior a 32kWh/m².ano (**Figura B3**). Para o clima de Évora, todos os modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (32kWh/m².ano) (**Figura B4**). Somente para a orientação norte, que recebe menos radiação todas as soluções conduziram a valores adequados de acordo com o RCCTE.

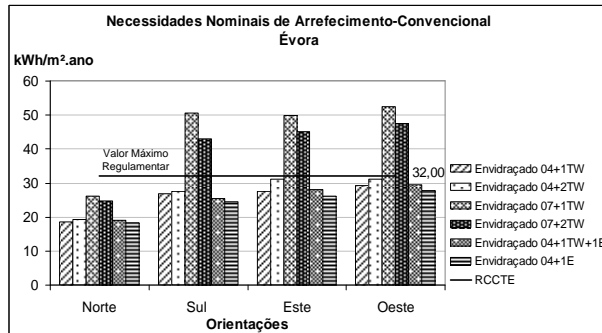


Figura B3. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional - Évora.

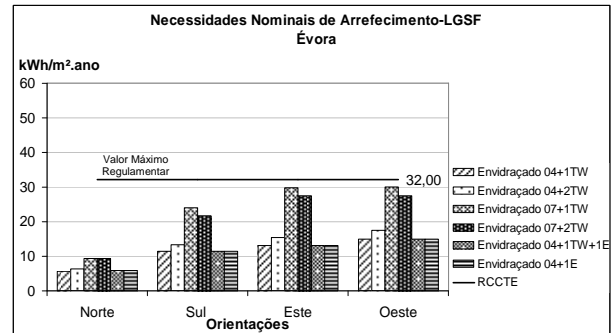


Figura B4. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF - Évora.

Funchal - Madeira: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

As soluções passivas de aquecimento analisadas para o clima de Funchal conduziram a necessidades nominais de aquecimento inferior à calculada de acordo com o RCCTE (46,42kWh/m².ano). O uso de dois diferentes tipos de envolvente praticamente não influenciou nos resultados para as necessidades nominais de aquecimento (**Figuras B5 e B6**). O menor consumo foi observado na orientação sul para as soluções compostas por envidraçado 07 com paredes de Trombe em ambos os tipos de envolventes.

Novamente com a adição de módulos estufa não foram observadas variações significativas no consumo energético de aquecimento, sendo que as soluções que incorporam paredes de Trombe ou estufa ao módulo envidraçado 04 conduziram a valores bem próximos.

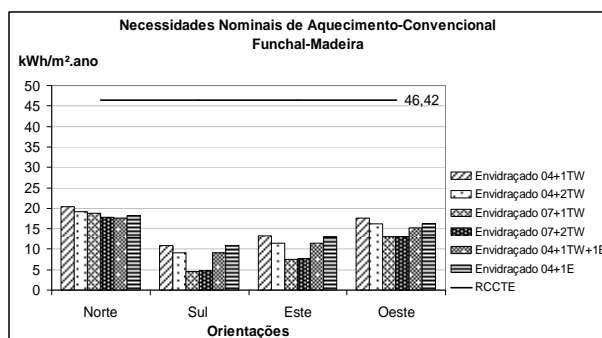


Figura B5. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Funchal Madeira.

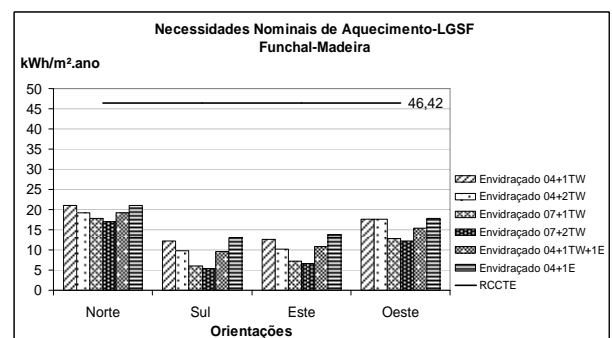


Figura B6. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Funchal Madeira.

Para Funchal todas as soluções passivas conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE (23 kWh/m².ano) para ambas as envolventes. Uma exceção foram as soluções que incorporam o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) que conduziram a um consumo elevado para a envolvente convencional na



orientação solar este. (Figuras B7 e B8). Novamente, o uso de soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram a um menor consumo energético para arrefecimento.

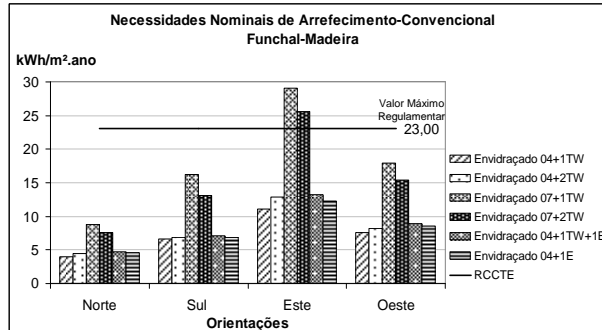


Figura B7. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Funchal Madeira.

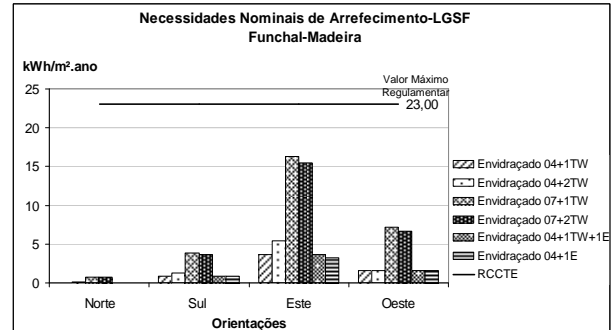


Figura B8. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Funchal Madeira.

Guimarães: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Todas as soluções passivas de aquecimento analisadas conduziram a necessidades energéticas de aquecimento abaixo das recomendações do RCCTE (81,64kWh/m².ano), (65,08 kWh/m².ano) para o clima de Guimarães. Os maiores consumos foram observados para a envolvente do sistema em alvenaria convencional. As soluções compostas pela combinação do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) com uma ou duas paredes de Trombe conduziram a um menor consumo energético para aquecimento, principalmente para a orientação solar sul. Neste caso o uso de ambos os tipos de envolvente representou necessidades nominais de aquecimento próximas. Os consumos foram inferiores para a orientação solar sul (Figuras B9 e B10).

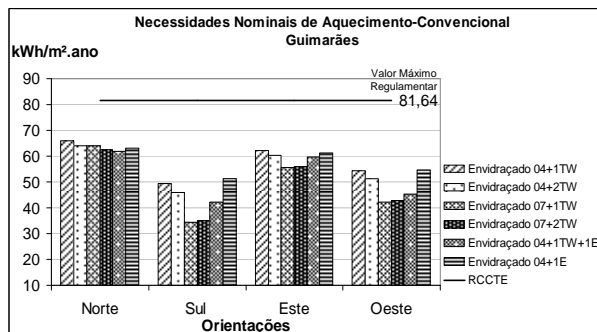


Figura B9. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Guimarães.

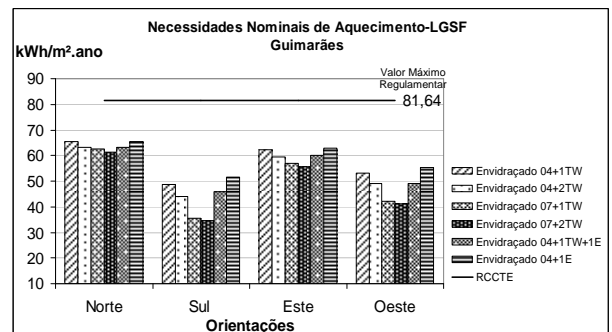


Figura B10. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Guimarães.



Com a adição de módulos estufa não se verificou variações significativas no consumo energético de aquecimento, sendo que as soluções que incorporam paredes de Trombe ou estufa ao módulo envidraçado 04 conduziram a valores bem próximos.

Para os modelos com envolvente em alvenaria dupla (sistema convencional) destacaram-se as soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferior a $18\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ (**Figura B11**). Todos os modelos com envolvente do sistema *light gauge steel framing* conduziram a necessidades nominais de arrefecimento abaixo do indicado pelo RCCTE para Guimarães ($18\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) (**Figura B12**); com exceção das soluções que incorporam o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) que conduziram a um consumo elevado para a envolvente convencional na orientação solar oeste.

Neste caso, as soluções que incorporam tal envidraçado conduziram a valores próximos de necessidades energéticas de arrefecimento para as orientações norte e este, mesmo para o uso de módulos estufa.

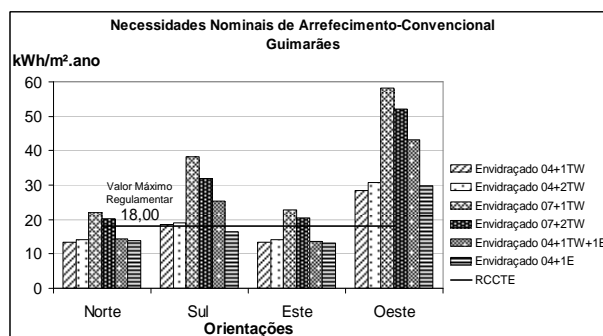


Figura B11. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Guimarães.

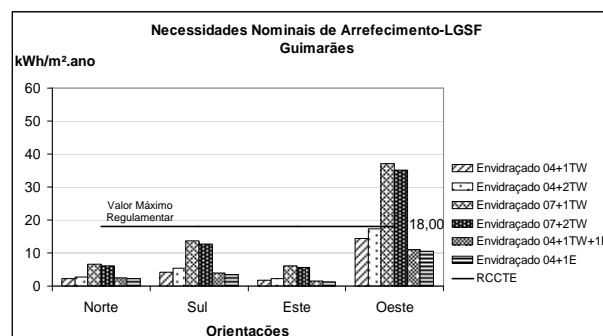


Figura B12. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Guimarães.

Lajes - Açores: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para Lajes, observou-se que todas as soluções passivas conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do indicado pelo RCCTE ($36,42\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) (**Figuras B13 e B14**). O menor consumo foi novamente devido ao uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) combinado a uma ou duas paredes de Trombe. A envolvente do sistema LGSF conduziu a consumo energético inferior à envolvente do sistema convencional. Novamente, a adição de módulos estufa combinados com o envidraçado 04 não levou a variações significativas no consumo energético de aquecimento.

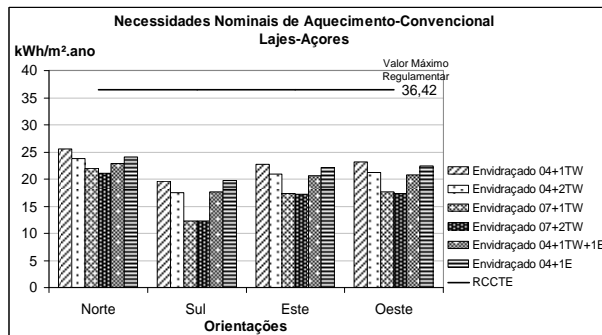


Figura B13. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Lajes-Açores.

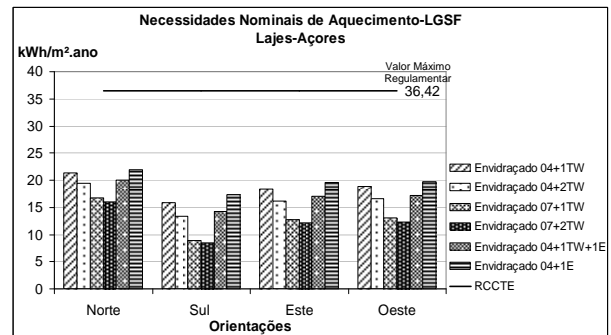


Figura B14. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Lajes-Açores.

Para os modelos simulados para Laje, todas as soluções passivas conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferiores ao indicado pelo RCCTE (21kWh/m².ano). Para ambas as envolventes, os resultados estiveram próximos para as orientações sul, este e oeste (**Figuras B15 e B16**). As soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram a menores consumos energéticos para arrefecimento.

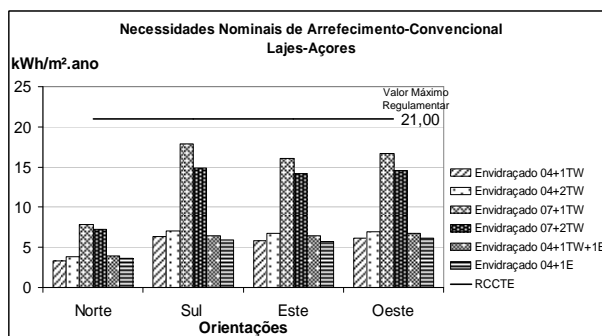


Figura B15. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Lajes-Açores.

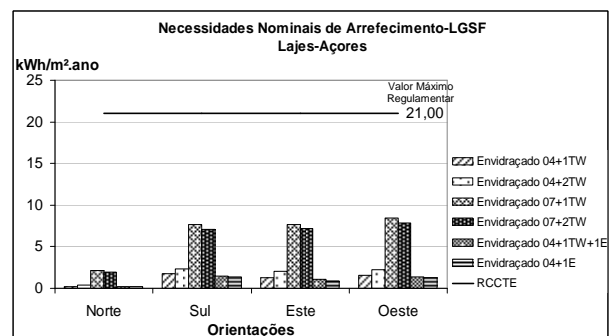


Figura B.16 Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Lajes-Açores.

Lisboa: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Todas as soluções passivas de aquecimento analisadas conduziram a necessidades energéticas de aquecimento abaixo das recomendações do RCCTE (56,36kWh/m².ano) para o clima de Lisboa. As soluções compostas pela combinação do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) com uma ou duas paredes de Trombe conduziram a um menor consumo energético para aquecimento, principalmente para a orientação solar sul. As soluções compostas pelo envidraçado 04 conduziram a valores próximos. Novamente com a adição de módulos estufa aos módulos envidraçados 04 não foram observadas variações significativas no consumo energético de aquecimento (**Figuras B17 e B18**).

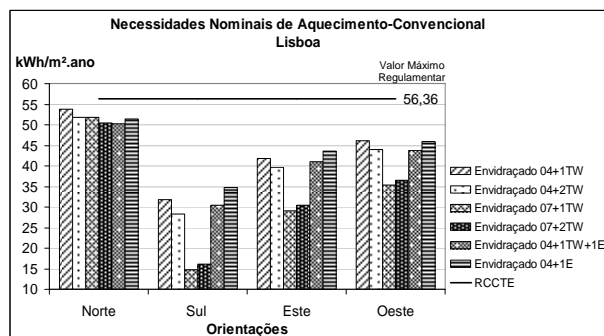


Figura B17. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Lisboa.

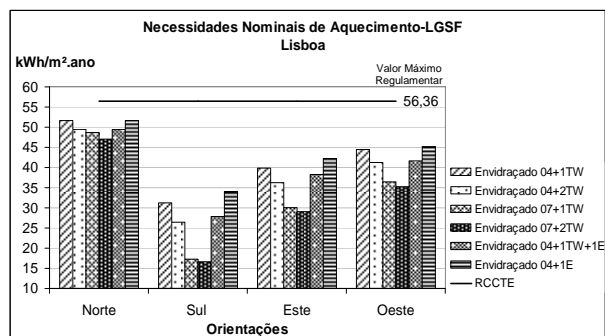


Figura B18. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Lisboa.

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento para Lisboa, observou-se que para a envolvente do sistema convencional o consumo energético foi menor que o calculado de acordo com o RCCTE somente para a orientação norte. Já para o sistema LGSF, as soluções posicionadas nas orientações norte e sul conduziram a valores inferiores a 32,00 kWh/m².ano (**Figuras B19 e B20**).

Para o uso da envolvente em alvenaria convencional, as necessidades nominais de arrefecimento foram elevadas principalmente para as orientações sul e oeste. Novamente, o uso de soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram a o menor consumo energético para arrefecimento.

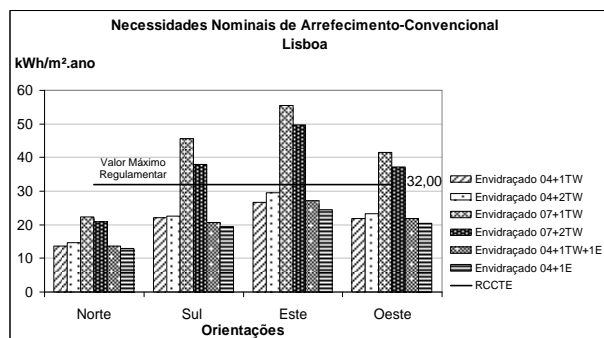


Figura B19. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Lisboa.

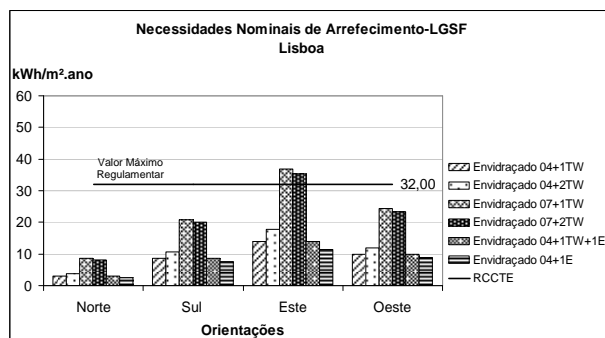


Figura B20. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Lisboa.

Porto: Necessidades Nominais de Aquecimento e Arrefecimento

Para o Porto todas as soluções utilizadas conduziram a necessidades nominais de aquecimento abaixo do recomendado pelo RCCTE (74,66kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF). Novamente o menor consumo foi através do uso de soluções compostas pelo envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) combinado uma ou duas paredes de Trombe (**Figuras B21 e B22**). Neste caso o uso de ambos os tipos de envolvente representou necessidades nominais de aquecimento



próximas. O menor consumo foi observado para a orientação solar sul. Novamente a adição de módulos estufa aos módulos envidraçados 04 não conduziram a variações significativas no consumo energético de aquecimento.

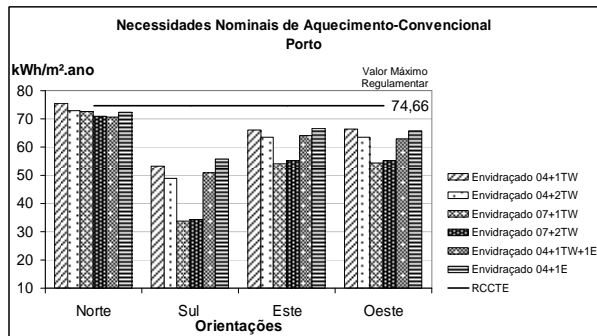


Figura B21. Necessidades Nominais de Aquecimento: Sistema Convencional – Porto.

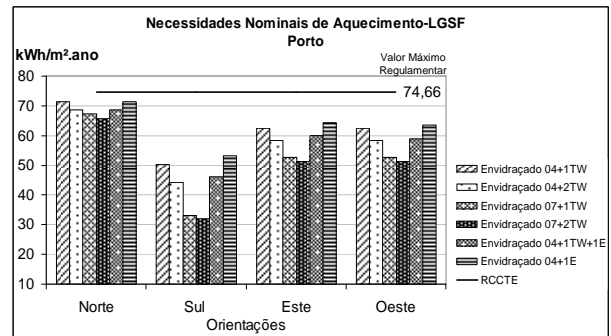


Figura B22. Necessidades Nominais de Aquecimento: LGSF – Porto.

Para os modelos simulados para o Porto, todas as soluções passivas conduziram a necessidades nominais de arrefecimento inferiores ao indicado pelo RCCTE (16kWh/m².ano) para a envolvente do sistema LGSF (Figuras B23 e B24). As soluções passivas combinadas ao envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) conduziram aos menores consumos energéticos para arrefecimento. Os resultados para a solução que combina o envidraçado 07 com uma parede de Trombe conduziram a valores superiores principalmente para a orientação sul e envolvente convencional. Este valor obtido pela simulação se destacou em relação aos demais, imagina-se que ocorreu algum erro no programa, porque mesmo com a repetição da simulação o mesmo valor foi encontrado.

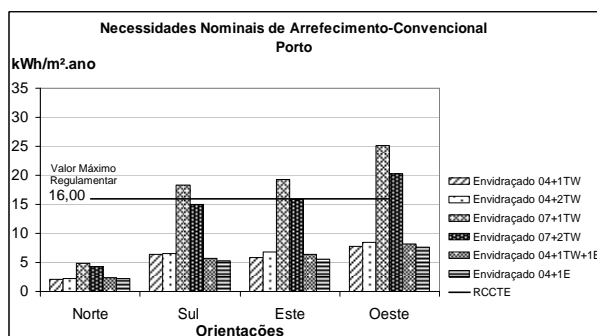


Figura B23. Necessidades Nominais de Arrefecimento: Sistema Convencional – Porto.

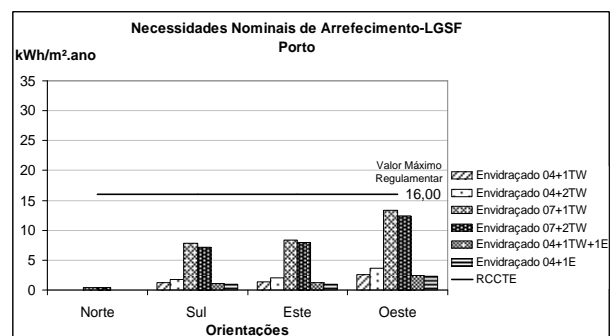


Figura B24. Necessidades Nominais de Arrefecimento: LGSF – Porto.



Anexo C: Simulações Computacionais de Desempenho Lumínico

Évora

Os resultados gráficos para os níveis de iluminância e FLD para cada uma das quatro soluções estudadas são os apresentados nas **Figuras C1 a C4**. A **Tabela C1** apresenta os níveis de iluminância observados para o plano de referência (0,80m) do compartimento analisado. Dentre todas as soluções envidraçadas analisadas, o máximo valor tanto para fator luz do dia quanto para nível de iluminância obtido foi para a solução com uso do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada.

Tabela C1. Évora: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância.

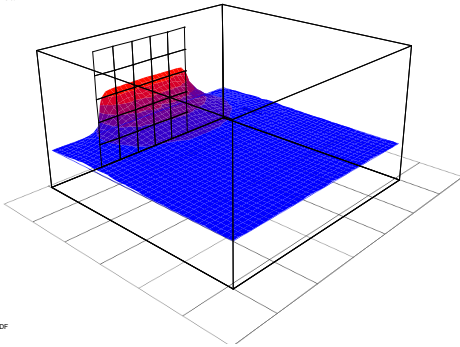
| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,34 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,54 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,86 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,05 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 159,56 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 101,49 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 176,41 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 111,85 | OK | OK | - |

Para os envidraçados com WWR de 19% os valores recomendados para nível de luminância não são atendidos para cozinhas. Face aos resultados apresentados para o fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado no compartimento em estudo garantem os valores recomendados para todas as zonas, identificadas como sala de estar, quarto e cozinha.

Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que os mesmos atendem as recomendações. Os valores do FLD indicados são válidos para qualquer momento e para todas as orientações solares, visto que é considerado céu encoberto, porém são dependentes do tamanho e posição das janelas. Já em termos de nível de iluminância é interessante observar em dias específicos como será apresentado posteriormente.



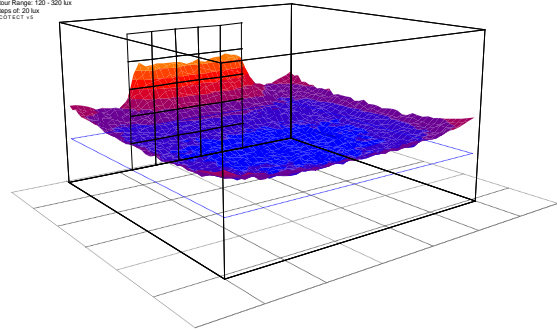
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.8 - 21.8 NDF
In Steps of 2.0 NDF
© ECOTECT v.8



Average Value: 3.34 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 120 - 320 lux
In Steps of 20 lux
© ECOTECT v.8

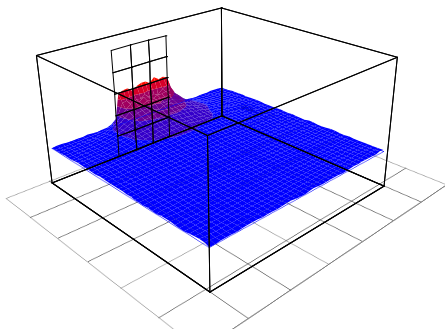


Average Value: 159.66 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C1. Évora: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

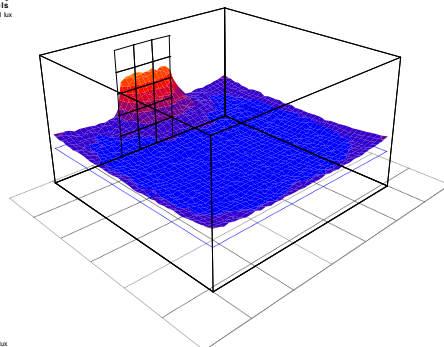
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.4 - 21.4 NDF
In Steps of 2.0 NDF
© ECOTECT v.8



Average Value: 2.54 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Steps of 20 lux
© ECOTECT v.8

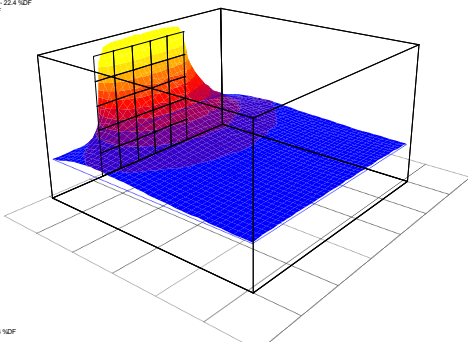


Average Value: 101.49 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C2. Évora: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

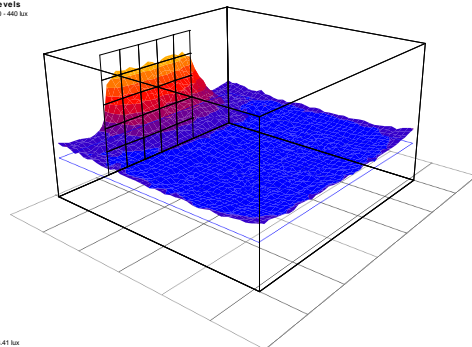
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 2.4 - 22.4 NDF
In Steps of 2.0 NDF
© ECOTECT v.8



Average Value: 5.86 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 140 - 440 lux
In Steps of 30 lux
© ECOTECT v.8

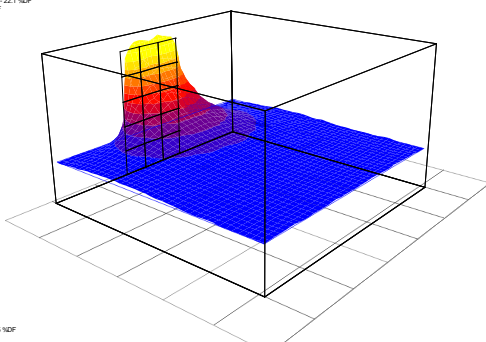


Average Value: 176.41 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C3. Évora: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

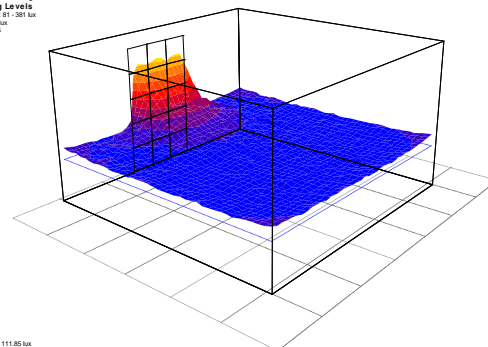
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 2.1 - 22.1 NDF
In Steps of 2.0 NDF
© ECOTECT v.8



Average Value: 4.05 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Steps of 30 lux
© ECOTECT v.8



Average Value: 111.86 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C4. Évora: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



Nas figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance* apresentadas abaixo é possível observar o nível de iluminância para os solstícios de inverno e verão analisados. Em tais figuras os níveis de iluminação natural apresentam-se satisfatórios, sendo superiores para o solstício de inverno e envidraçados com WWR de 31,6% (**Figuras C5 a C8**).

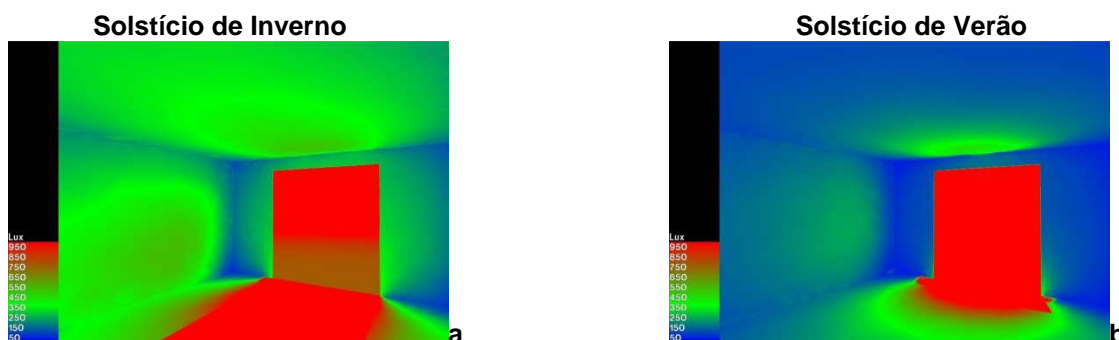


Figura C5. Évora: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

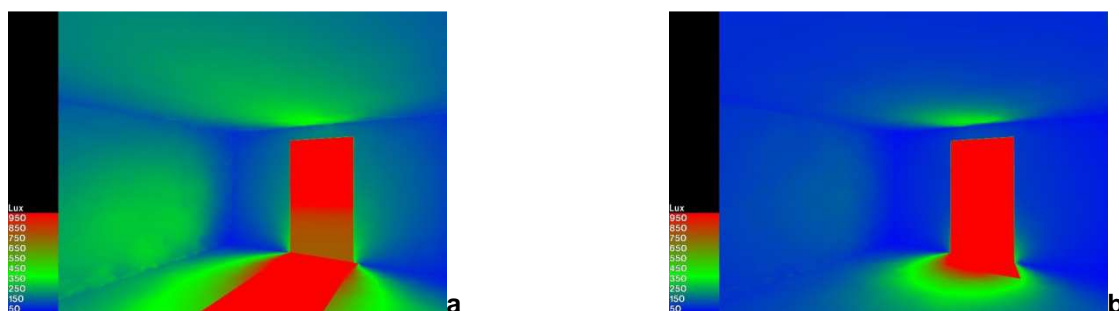


Figura C6. Évora: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

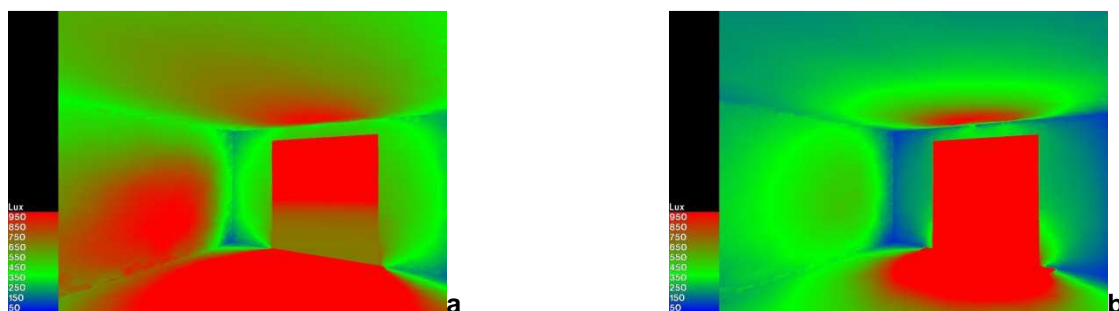


Figura C7. Évora-Fachada 07 5x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

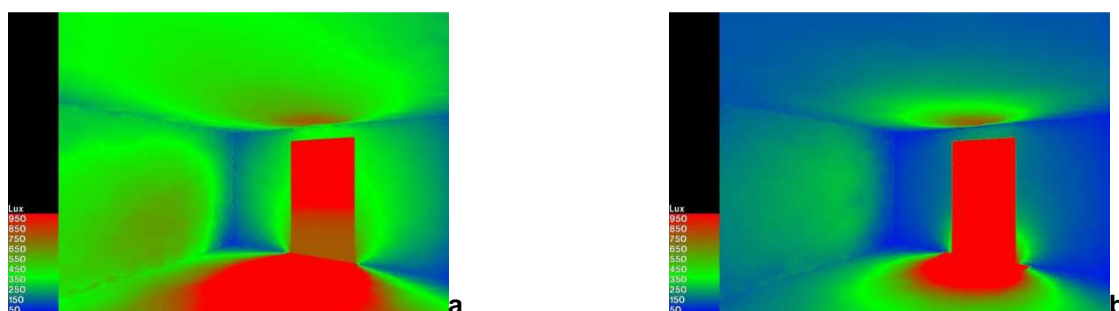


Figura C8. Évora-Fachada 07 3x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)



Funchal - Madeira

As **Figuras C9 a C12** apresentam os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) os níveis de iluminância. A **Tabela C2** apresenta uma síntese do fator luz do dia e níveis de iluminância para o compartimento analisado. Os valores de fator luz do dia foram importados do software *Desktop Radiance* para o software *Ecotect*. O melhor nível médio de iluminância obtido foi com utilização do Envidraçado 07 com WWR de 31,6%. O envidraçado 04 com WWR de 19,0% conduziu a desempenho inferior dentre os demais envidraçados analisados.

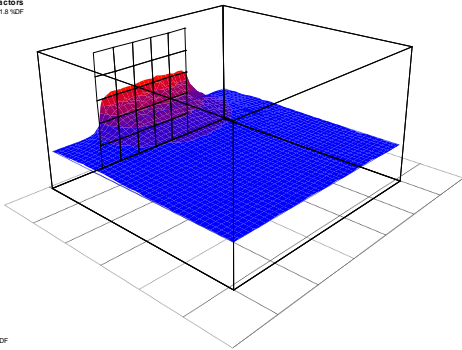
Tabela C2 Funchal - Madeira: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,25 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,54 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,86 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,15 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 193,75 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 123,23 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 214,2 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 135,83 | OK | OK | - |

Em relação aos níveis médios de iluminância obtidos para céu encoberto, tais valores não são atendidos para o compartimento cozinha (WWR de 19%) em ambos os envidraçados. Porém, maiores níveis de iluminação podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado no compartimento em estudo garantem os valores recomendados para todas as zonas verificadas.



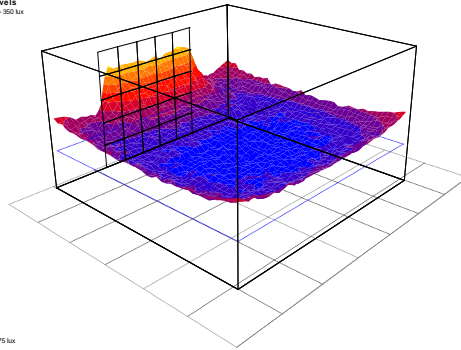
Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.8 - 21.8 %DF
 In Steps of 2.0 %DF
 © ECOTECT v.6



Average Value: 3.25 %DF
 Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 150 - 350 lux
 In Steps of 20 lux
 © ECOTECT v.6

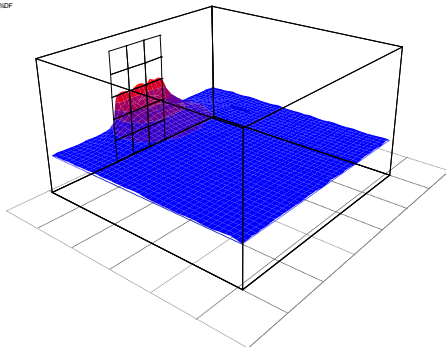


Average Value: 193.75 lux
 Visible Nodes: 1600

b

Figura C9. Funchal-Madeira: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

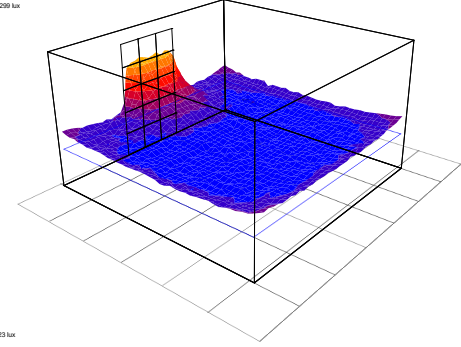
Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.4 - 21.4 %DF
 In Steps of 2.0 %DF
 © ECOTECT v.6



Average Value: 2.54 %DF
 Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 99 - 299 lux
 In Steps of 20 lux
 © ECOTECT v.6

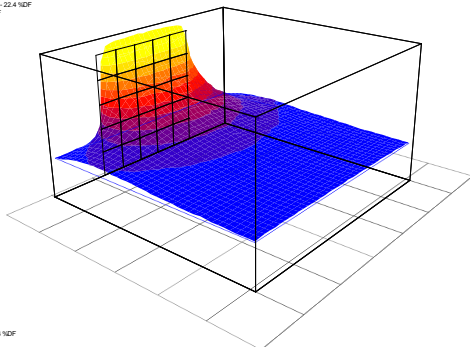


Average Value: 123.23 lux
 Visible Nodes: 1600

b

Figura C10. Funchal-Madeira: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

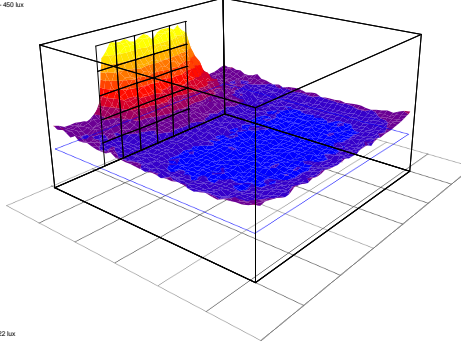
Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 2.4 - 21.4 %DF
 In Steps of 2.0 %DF
 © ECOTECT v.6



Average Value: 5.86 %DF
 Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 150 - 450 lux
 In Steps of 30 lux
 © ECOTECT v.6

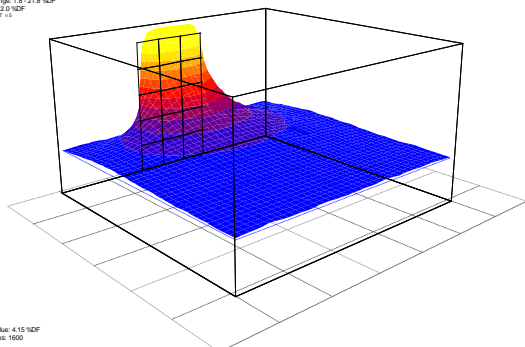


Average Value: 214.22 lux
 Visible Nodes: 1600

b

Figura C11. Funchal Madeira: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

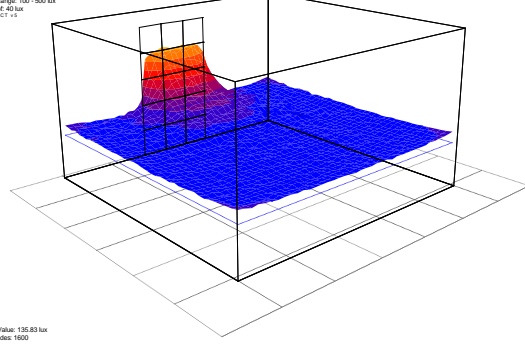
Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.8 - 21.8 %DF
 In Steps of 2.0 %DF
 © ECOTECT v.6



Average Value: 4.15 %DF
 Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 100 - 500 lux
 In Steps of 40 lux
 © ECOTECT v.6



Average Value: 135.93 lux
 Visible Nodes: 1600

b

Figura C12. Funchal-Madeira: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



Guimarães

São apresentados nas **Figuras C17 a C20** os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) e os níveis de iluminância para cada uma das quatro soluções envidraçadas analisadas. A **Tabela C3** apresenta uma síntese de tais valores determinados para o plano de referência do compartimento analisado. O melhor nível médio de iluminância foi obtido com a utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada. Para o uso do envidraçado 04 com WWR de 19,0% foi observado desempenho inferior. Os valores de FLD recomendados são ultrapassados em todos os casos analisados.

Tabela C3. Guimarães: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,26 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,53 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,86 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 3,63 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 147,91 | OK | OK | - |
| Envidraçado 04 19,0% | 94,21 | - | - | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 163,81 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 103,87 | OK | OK | - |

A partir dos níveis médios de iluminância obtidos para céu encoberto foi verificado que tais valores não são atendidos para o compartimento cozinha; sendo que no caso do envidraçado 04 com WWR de 19% para nenhum dos compartimentos analisados. No entanto, maiores níveis de iluminação podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Tais valores foram obtidos pelo software *Ecotect* em condições de céu encoberto CIE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis.

Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que todos os elementos envidraçados analisados atendem aos valores recomendados. Salienta-se que os valores do FLD indicadas são válidos para qualquer momento e para todas as orientações solares, visto que é considerado céu encoberto, porém são dependentes do tamanho e posição das janelas.

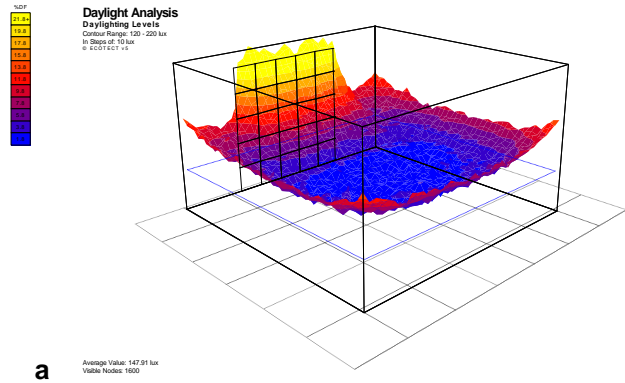
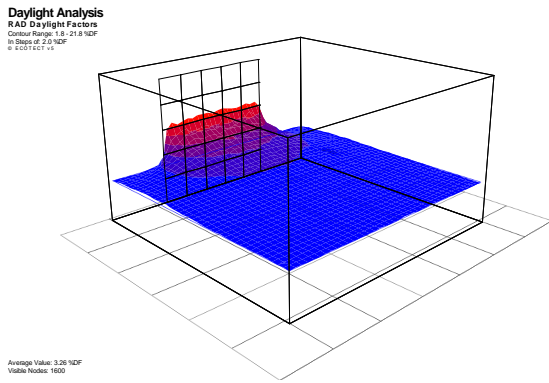


Figura C17. Guimarães: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

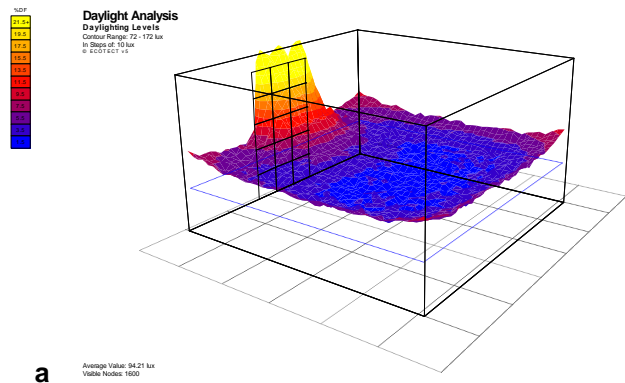
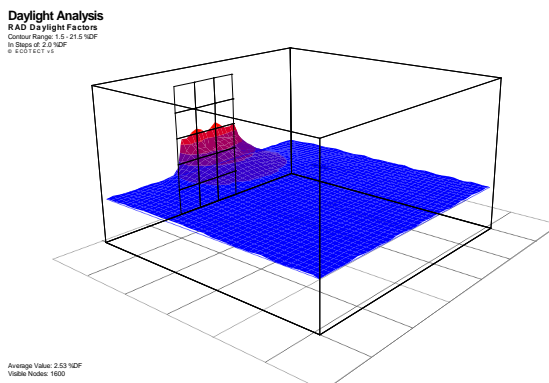


Figura C18. Guimarães: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

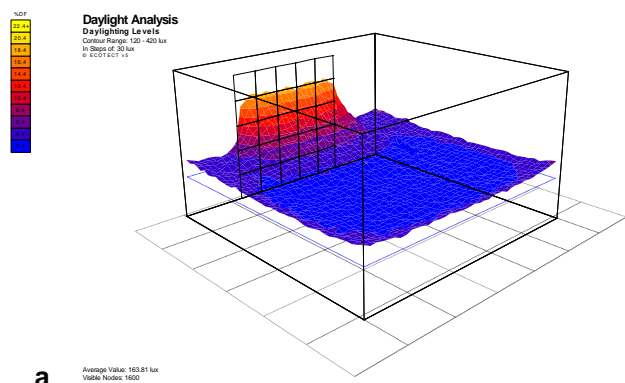
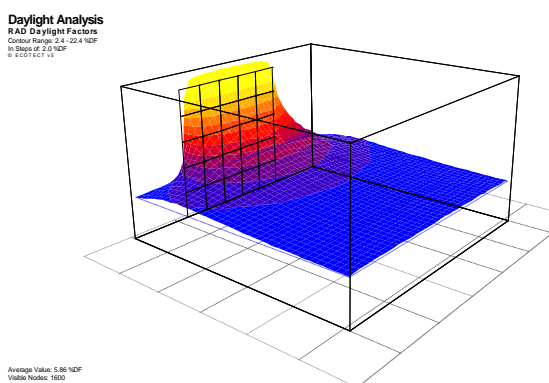


Figura C19. Guimarães: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

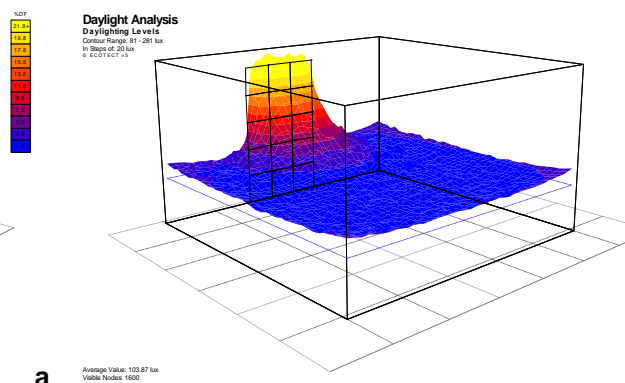
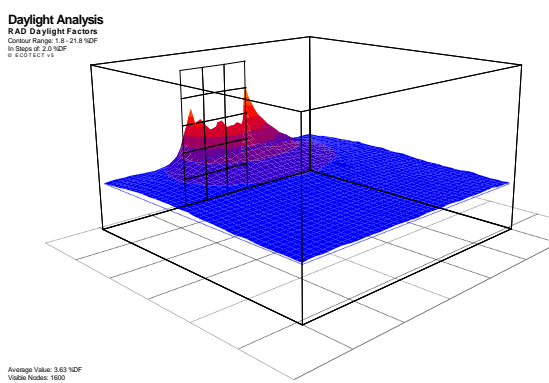


Figura C20. Guimarães: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



Para os solstícios de inverno e verão foram obtidas através do software *Desktop Radiance*, imagens realísticas *falsecolor* com o nível de iluminância das fachadas envidraçadas estudadas. Observa-se que os níveis de iluminância são satisfatórios. Para as fachadas com maiores vãos envidraçados foram observados níveis de iluminância mais elevados (**Figuras C21 a 8.147**).

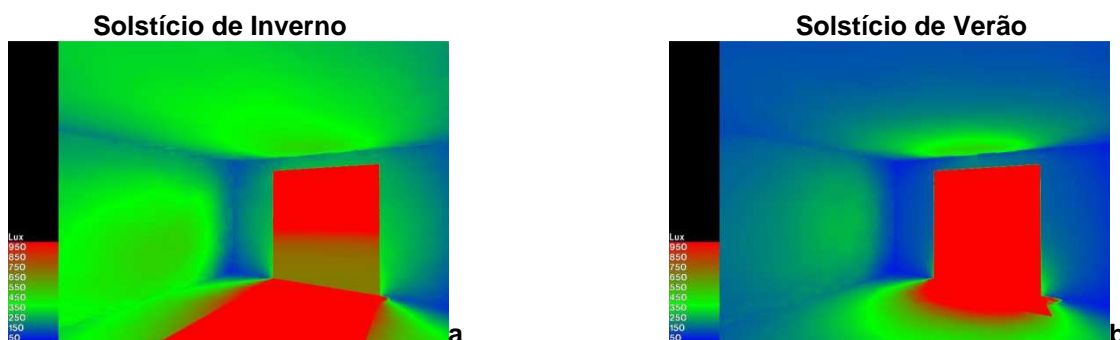


Figura C21. Guimarães: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

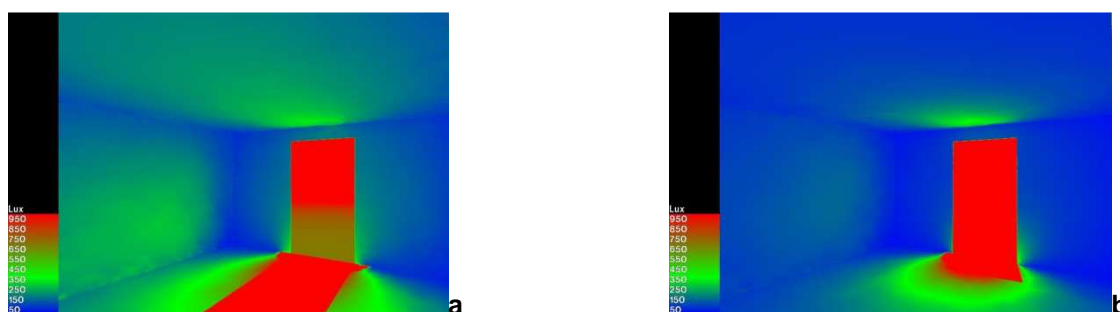


Figura C22. Guimarães: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

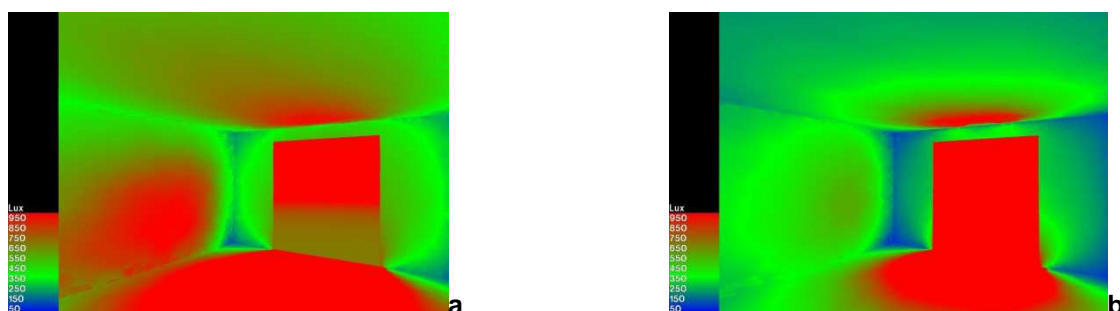


Figura C23. Guimarães: Fachada 07 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

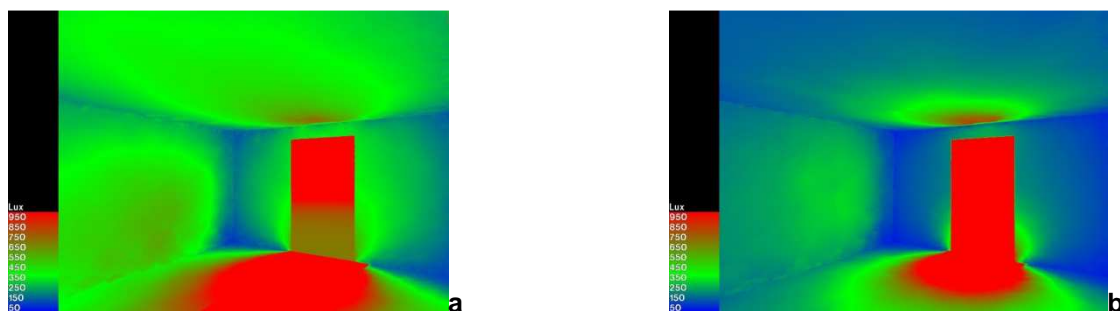


Figura C24. Guimarães: Fachada 07 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)



Lajes - Açores

Os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) e os níveis de iluminância são os apresentados nas **Figuras C25 a C28** para cada uma das quatro soluções. A **Tabela C4** apresenta uma síntese dos valores de fator luz do dia e níveis de iluminância. Tanto para o FLD quanto para o nível médio de iluminância no plano de referência (0.8m), o valor máximo obtido foi para a solução com utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada, como nos casos anteriores. Em relação aos valores de FLD, todos os resultados obtidos por simulação ultrapassam os valores recomendados.

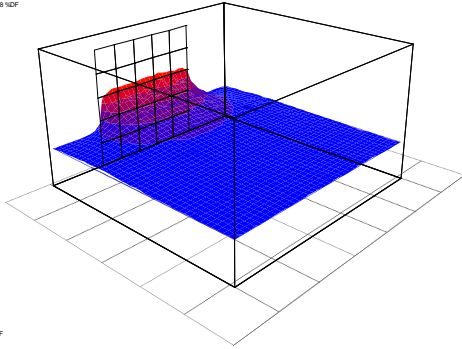
Tabela C4. Lajes - Açores: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,25 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,61 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,80 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,15 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 159,56 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 101,45 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 176,41 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 111,86 | OK | OK | - |

Novamente em termos de nível de iluminância, os valores não são atendidos para o compartimento cozinha para os envidraçados com WWR de 19%. Porém, quando necessários, níveis de iluminância mais elevados podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Salienta-se que tais valores foram obtidos pelo software *Ecotect* em condições de céu encoberto CIE e pelo método BRE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis. Verificou-se que a forma e as dimensões das fachadas envidraçadas em estudo garantem os valores recomendados em relação ao fator luz do dia para todas as zonas verificadas.



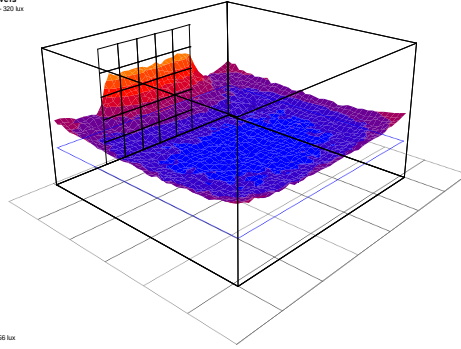
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.8 - 21.8 NDF
In Slope of 2.0 NDF
© ECOTECT v.6



Average Value: 3.25 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 120 - 320 lux
In Slope of 20 lux
© ECOTECT v.6

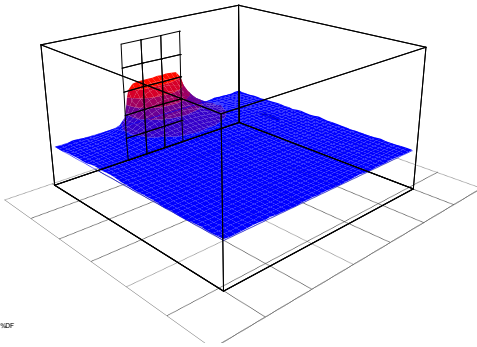


Average Value: 159.66 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C25. Lajes-Açores-Fachada 04 5x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

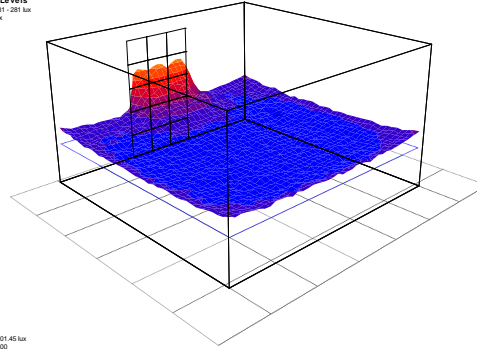
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.5 - 21.5 NDF
In Slope of 2.0 NDF
© ECOTECT v.6



Average Value: 2.61 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Slope of 20 lux
© ECOTECT v.6

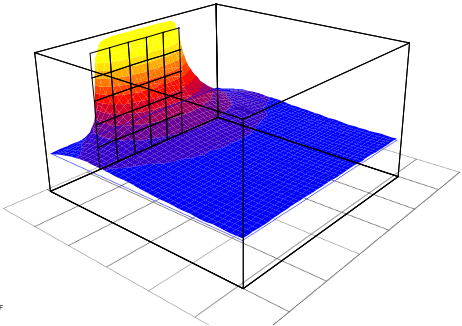


Average Value: 101.45 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C26. Lajes-Açores: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

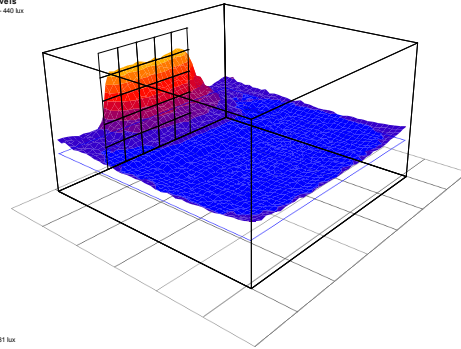
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 2.4 - 22.4 NDF
In Slope of 2.0 NDF
© ECOTECT v.6



Average Value: 6.90 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 140 - 440 lux
In Slope of 20 lux
© ECOTECT v.6

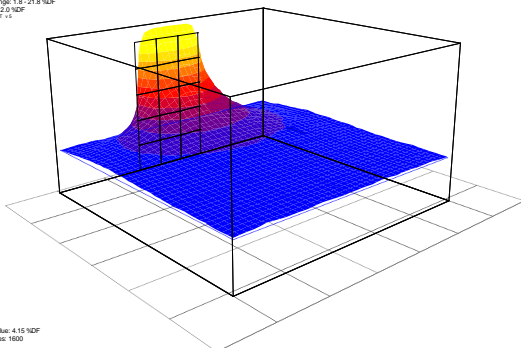


Average Value: 176.81 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C27. Lajes-Açores: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

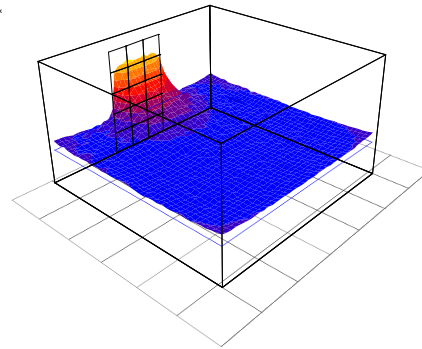
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.8 - 21.8 NDF
In Slope of 2.0 NDF
© ECOTECT v.6



Average Value: 4.15 NDF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Slope of 20 lux
© ECOTECT v.6



Average Value: 111.95 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C28. Lajes-Açores: Fachada 07 3x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



São apresentadas abaixo as figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance* do nível de iluminância para os solstícios de inverno e verão analisados. Em tais figuras, observa-se que os níveis de iluminância são satisfatórios, destaca-se um maior nível de iluminância para as fachadas com maior área envidraçada. Além disso, observou-se também um nível de iluminância mais elevado para as análises no solstício de inverno. Isso se explica pelo posicionamento do sol nesta época do ano (Figuras C29 a C32).

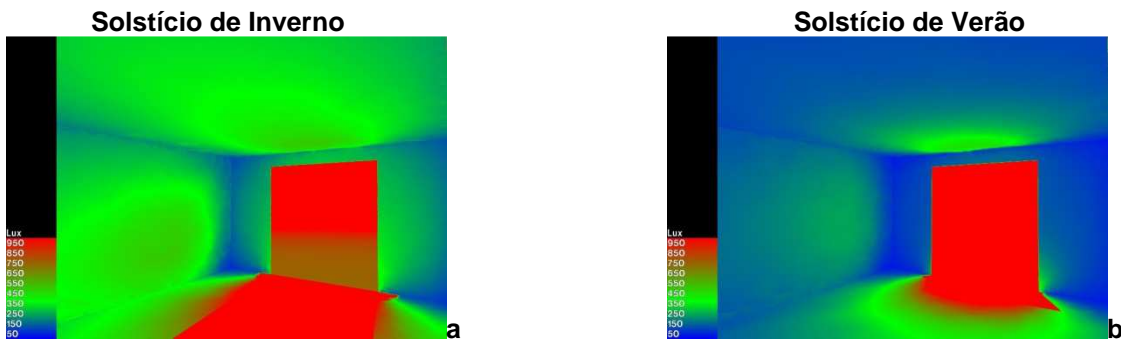


Figura C29. Lajes-Açores-Fachada 04 5x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

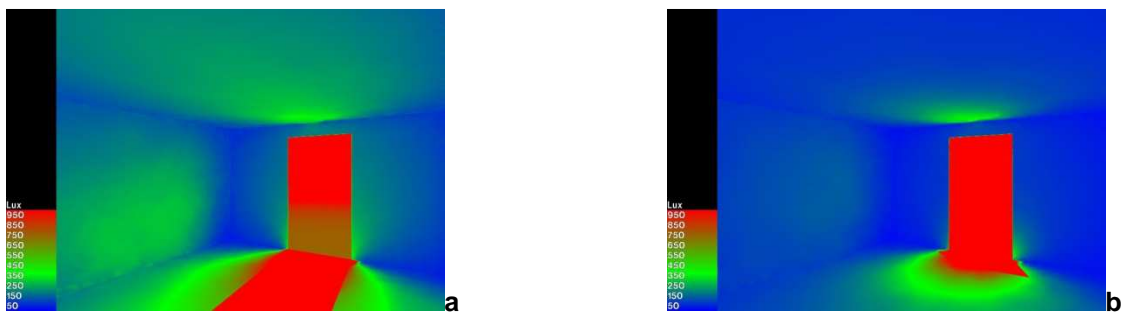


Figura C30. Lajes-Açores-Fachada 04 3x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

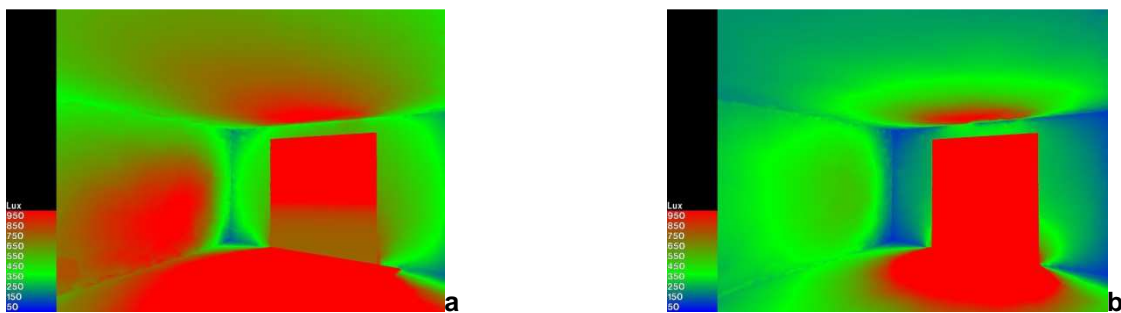


Figura C31. Lajes-Açores - Fachada 07 5x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

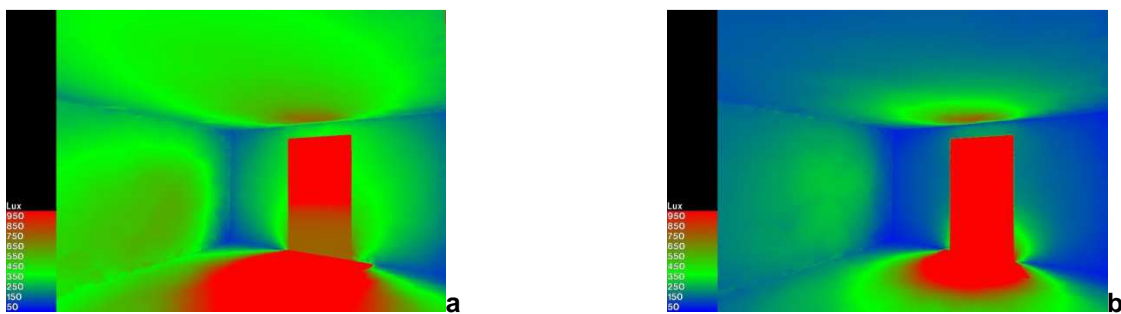


Figura C32. Lajes-Açores - Fachada 07 3x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)



Lisboa

As **Figuras C33 a C36** apresentam os resultados gráficos para o fator luz do dia (FLD) e para os níveis de iluminância. A **Tabela C5** apresenta uma síntese de tais valores no plano de referência (0,8m) do compartimento analisado. Os valores de fator luz do dia foram importados do software *Desktop Radiance* para o software *Ecotect*. O nível médio de iluminância mais elevado foi obtido com a utilização do Envidraçado 07 e WWR de 31,6%. O envidraçado 04 com WWR de 19,0% conduziu a desempenho inferior dentre os demais envidraçados analisados.

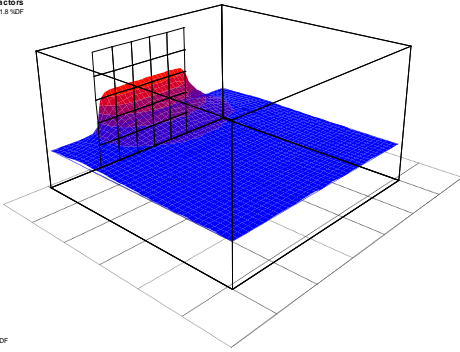
Tabela C5. Lisboa: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,35 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,58 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,86 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,04 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 159,29 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 101,45 | OK | OK | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 176,41 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 111,86 | OK | OK | - |

Em relação aos níveis médios de iluminância obtidos para céu encoberto, tais valores não são atendidos para ambos os envidraçados com WWR de 19% para o compartimento cozinha. Porém, maiores níveis de iluminação podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Em relação ao fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado garantem os valores recomendados para todas as zonas verificadas.



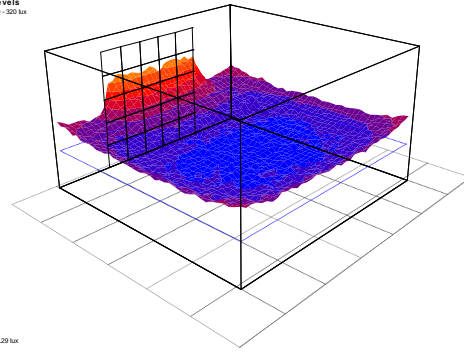
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.8 - 21.8 %DF
In Steps of 2.0 %DF
© ECOTECT v.8



Average Value: 3.35 %DF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 120 - 320 lux
In Steps of 20 lux
© ECOTECT v.8

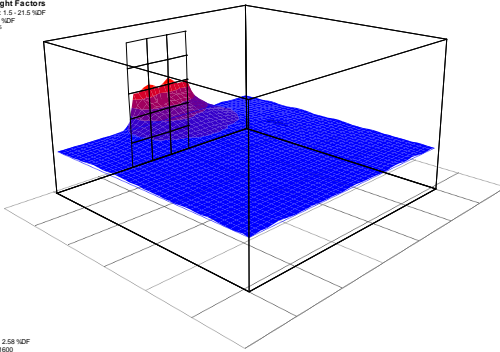


Average Value: 159.29 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C33. Lisboa-Fachada 04 5x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

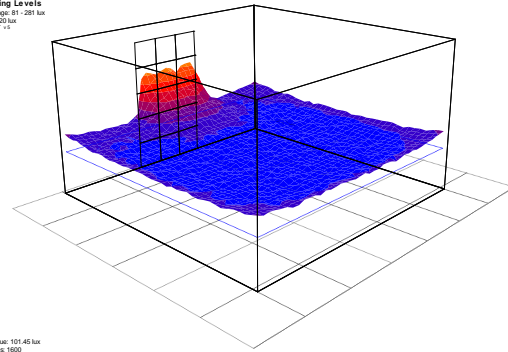
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 1.5 - 21.5 %DF
In Steps of 2.0 %DF
© ECOTECT v.8



Average Value: 2.58 %DF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Steps of 20 lux
© ECOTECT v.8

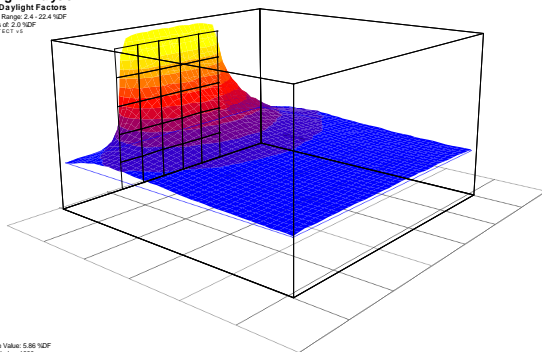


Average Value: 101.45 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C34. Lisboa-Fachada 04 3x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

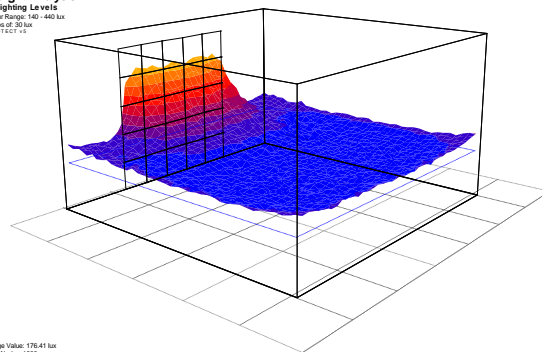
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 2.4 - 22.4 %DF
In Steps of 2.0 %DF
© ECOTECT v.8



Average Value: 5.86 %DF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 140 - 440 lux
In Steps of 30 lux
© ECOTECT v.8

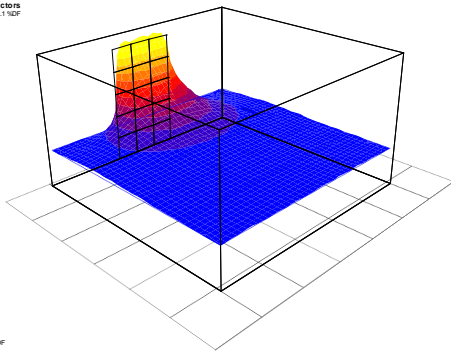


Average Value: 176.41 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C35. Lisboa-Fachada 07 5x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

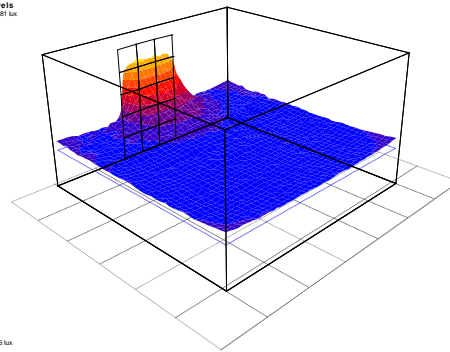
Daylight Analysis
RAD Daylight Factors
Contour Range: 2.1 - 22.1 %DF
In Steps of 2.0 %DF
© ECOTECT v.8



Average Value: 4.04 %DF
Visible Nodes: 1600

a

Daylight Analysis
Daylighting Levels
Contour Range: 81 - 281 lux
In Steps of 30 lux
© ECOTECT v.8



Average Value: 111.86 lux
Visible Nodes: 1600

b

Figura C36. Lisboa-Fachada 07 3x5 módulos: Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



As figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance* do nível de iluminância para os solstícios de inverno e verão são apresentadas abaixo. Em tais figuras observa-se que os níveis de iluminância são satisfatórios. Observa-se para o inverno um nível de iluminância mais elevado, isso se explica devido ao posicionamento do sol em relação à Terra nesta época do ano (**Figuras C37 a C40**).

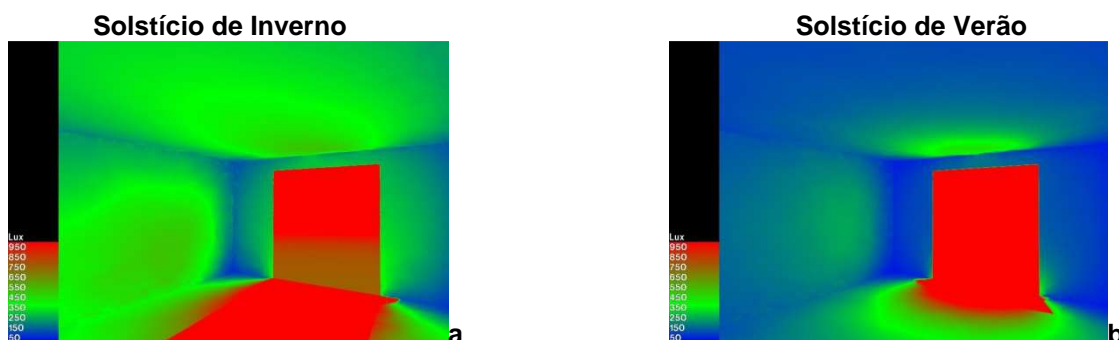


Figura C37. Lisboa-Fachada 04 5x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

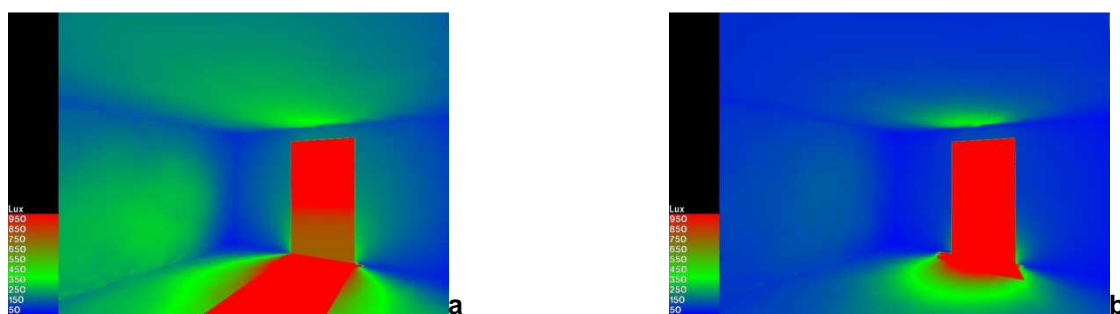


Figura C38. Lisboa-Fachada 04 3x5 módulos: inverno (a) e verão (b)

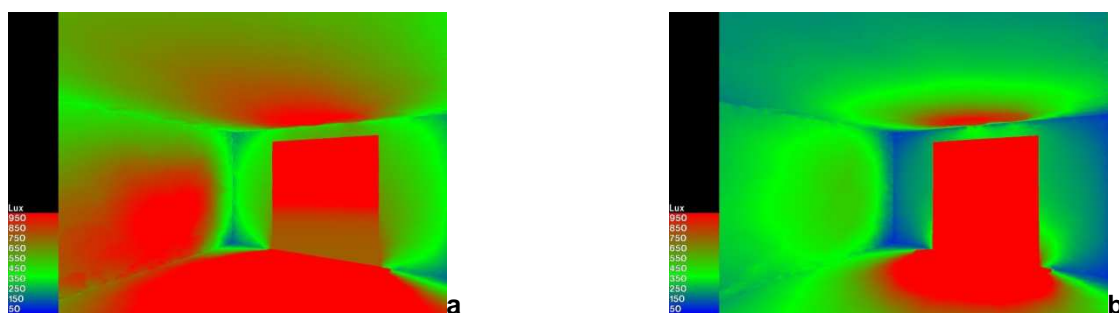


Figura C39. Lisboa-Fachada 07 5x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)

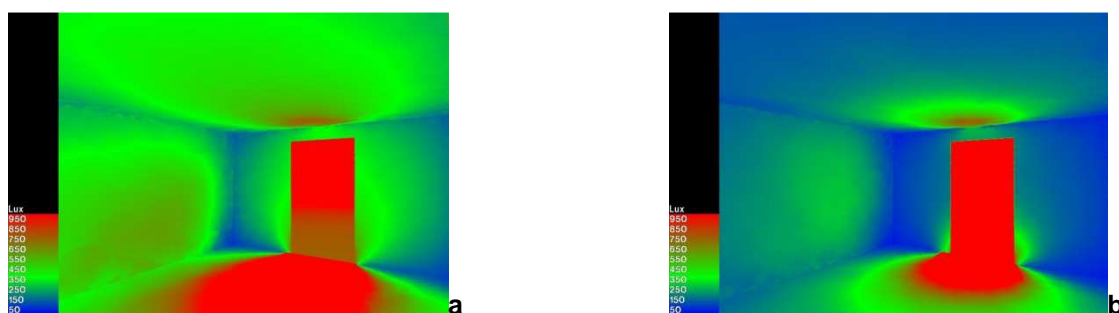


Figura C40. Lisboa-Fachada 07 3x5 módulos: Inverno (a) e Verão (b)



Porto

Os resultados gráficos para os níveis de iluminância e FLD para cada uma das quatro soluções são os apresentados nas **Figuras C41 a C44**. A **Tabela C6** apresenta uma síntese dos valores obtidos para o compartimento analisado. O nível médio de iluminância mais elevado foi obtido para o plano de referência (0.8m) para a solução com utilização do Envidraçado 07 em 31,6% da parede da fachada. O mesmo ocorreu em relação ao nível de luminância Em todos os casos os valores de FLD recomendados são ultrapassados.

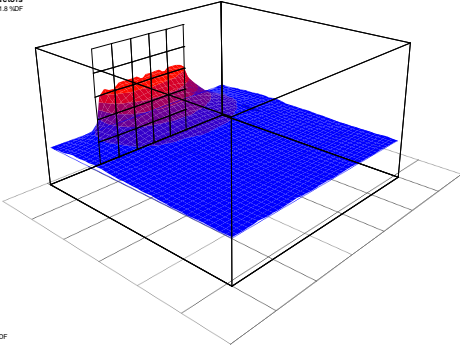
Tabela C6. Porto: Fator Luz do Dia e Nível de Iluminância

| Tipos de Fachadas | FLD (%) | Verificação FLD (%) | | |
|----------------------|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|
| | | Quartos 0.3% a 1% | Salas de Estar 0.5% a 1.5% | Cozinhas 0.6% a 2% |
| Envidraçado 04 31,6% | 3,62 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 04 19,0% | 2,68 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 31,6% | 5,81 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 4,14 | OK | OK | OK |
| Tipos de Fachadas | Nível de Iluminância (Lux) | Verificação Nível de Iluminância (Lux) | | |
| | | Quartos 100-200 lux | Salas de Estar 100- 300 lux | Cozinhas 150-300 lux |
| Envidraçado 04 31,6% | 147,91 | OK | OK | - |
| Envidraçado 04 19,0% | 94,24 | - | - | - |
| Envidraçado 07 31,6% | 163,81 | OK | OK | OK |
| Envidraçado 07 19,0% | 103,86 | OK | OK | - |

Em relação aos níveis médios de iluminância verificados, os mesmos não são atendidos para o envidraçado 04 com WWR de 19%. Somente o uso do envidraçado 07 com WWR de 31,6% atende ao compartimento cozinha. Salienta-se que tais valores foram obtidos pelo software Ecotect em condições de céu encoberto CIE, sendo que sob condições de céu claro provavelmente serão obtidas condições mais favoráveis. Face aos resultados apresentados para o fator luz do dia, verificou-se que a forma e as dimensões do elemento envidraçado no compartimento em estudo garantem os valores recomendados para todas as zonas, identificadas como sala de estar, quarto e cozinha.

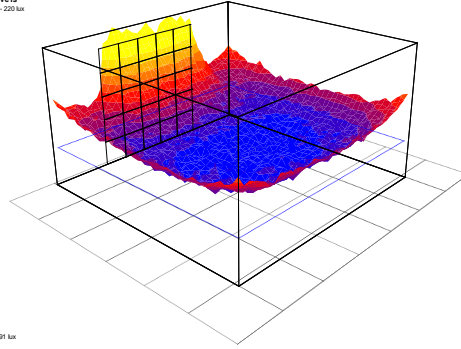


Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.8 - 21.8 NDF
 In Steps of 2.0 NDF
 © ECOTEC 14



a

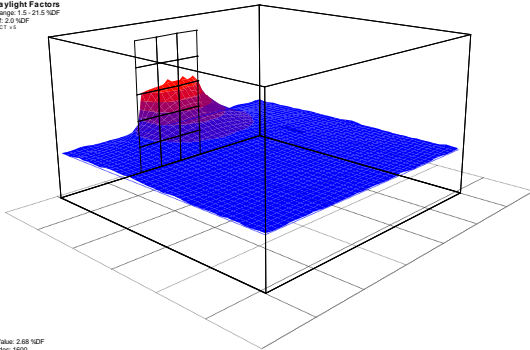
Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 120 - 220 lux
 In Steps of 10 lux
 © ECOTEC 14



b

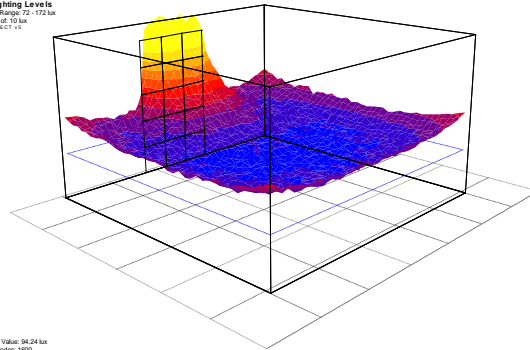
Figura C41. Porto: Fachada 04 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.5 - 21.5 NDF
 In Steps of 2.0 NDF
 © ECOTEC 14



a

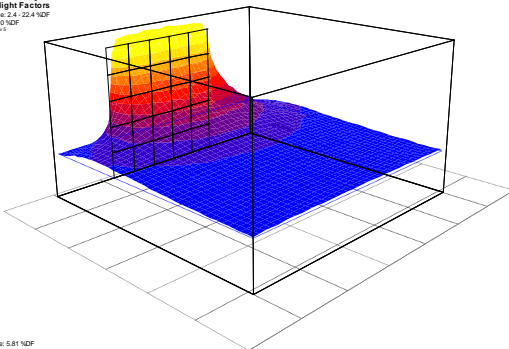
Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 72 - 172 lux
 In Steps of 10 lux
 © ECOTEC 14



b

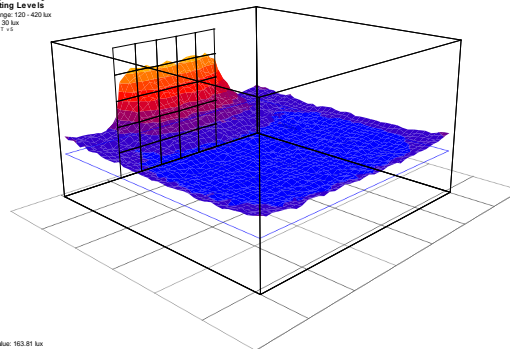
Figura C42. Porto: Fachada 04 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 2.4 - 22.4 NDF
 In Steps of 2.0 NDF
 © ECOTEC 14



a

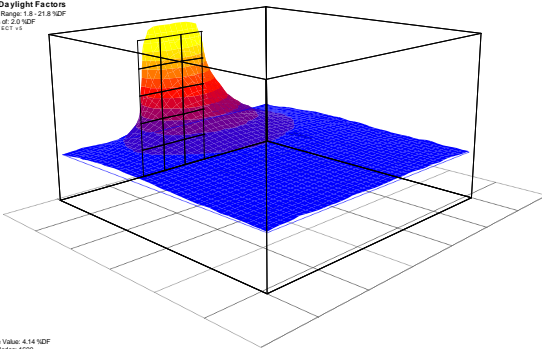
Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 120 - 400 lux
 In Steps of 30 lux
 © ECOTEC 14



b

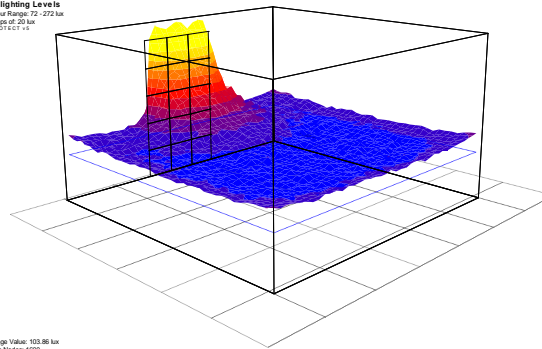
Figura C43. Porto: Fachada 07 5x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)

Daylight Analysis
 RAD Daylight Factors
 Contour Range: 1.8 - 21.8 NDF
 In Steps of 2.0 NDF
 © ECOTEC 14



a

Daylight Analysis
 Daylighting Levels
 Contour Range: 120 - 200 lux
 In Steps of 20 lux
 © ECOTEC 14



b

Figura C44. Porto: Fachada 07 3x5 módulos - Fator Luz do Dia (a) e Nível de iluminância (b)



O nível de iluminância num ponto varia com a sua distância em relação às janelas como se apresenta nas figuras realísticas *falsecolor* obtidas pelo software *Desktop Radiance*. Níveis de iluminação mais elevados podem ser obtidos próximo ao elemento envidraçado. Em dias específicos, como os solstícios de inverno e verão analisados no *Desktop Radiance* os níveis de iluminação natural tais apresentam-se satisfatórios (Figuras C45 a C49).

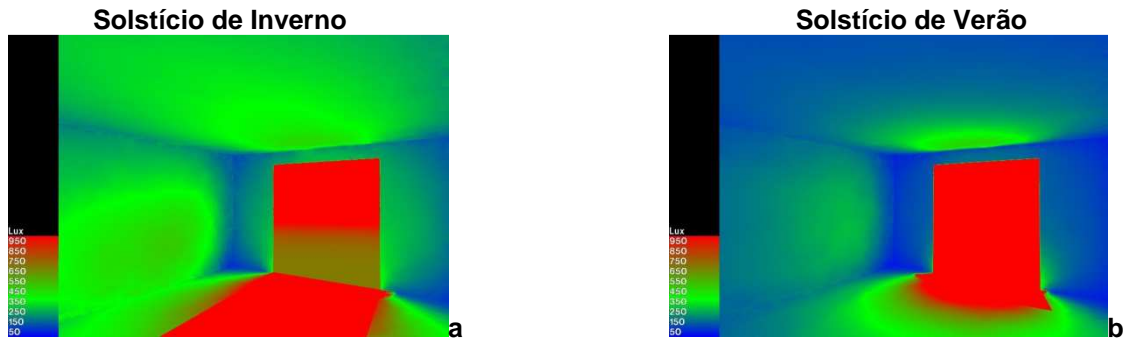


Figura C45. Porto: Fachada 04 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

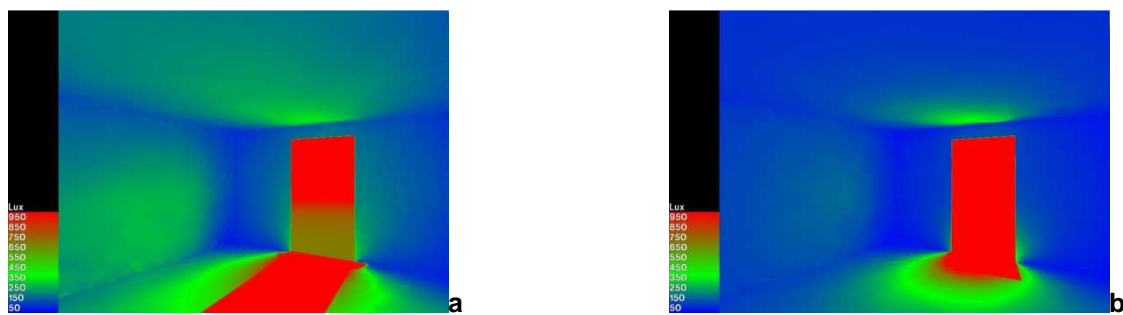


Figura C46. Porto: Fachada 04 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

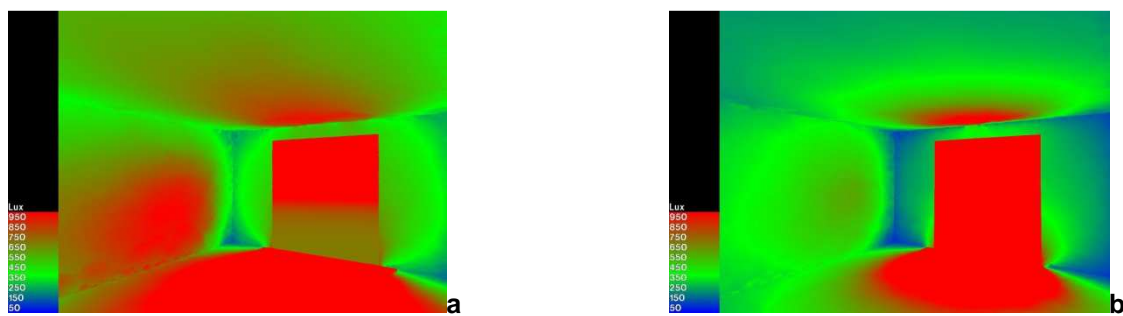


Figura C47. Porto: Fachada 07 5x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)

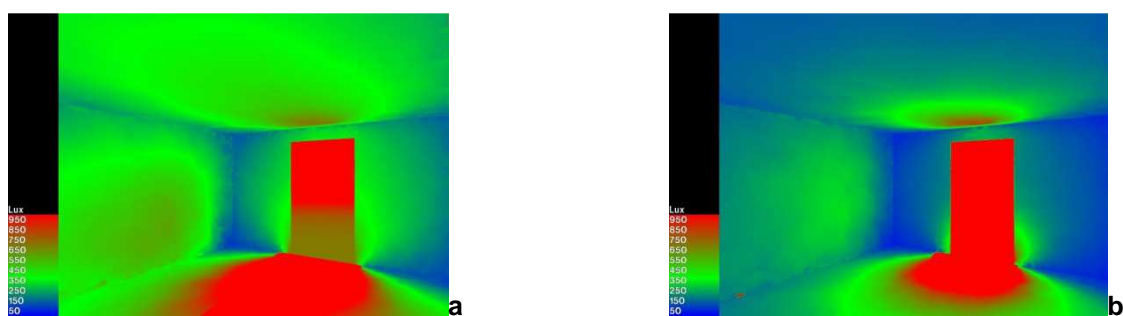


Figura C48. Porto: Fachada 07 3x5 módulos - Inverno (a) e Verão (b)



Anexo D: Simulações Computacionais para Módulo Fotovoltaico

Évora

Nos resultados para a cidade de Évora, com o uso dos módulos inclinados, o incremento em termos de ganhos de energia foi de 63,26% para o BP 3160; 56,22% para o Kyocera KC167G-2 e 68,46% para o Siemens M75S. A menor eficiência foi observada novamente para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 4,7 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura D1**).

Praticamente não houve diferença significativa (0,33%) entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160 para os painéis com posição inclinada, esse fato pode ser observado por meio da **Figura D1**. Os gráficos de ambos, dessa vez se cruzam no mês de maio. Com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia alcança valores bem próximos.

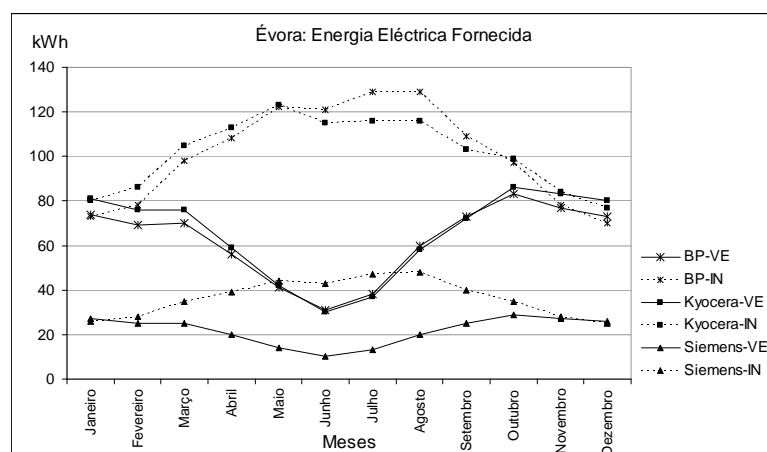


Figura D1. Évora: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Funchal - Madeira

Para a ilha de Funchal - Madeira, novamente se observa as vantagens do posicionamento dos módulos inclinados (**Figura D2**). O incremento em termos de ganhos de energia foi de 94,61% para o BP 3160; 95,16% para o Kyocera KC167G-2 e 98,84% para o Siemens M75S com a inclinação. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 5,8 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado.



Neste caso, houve novamente uma diferença de cerca de 3,4% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160. Os gráficos nesse caso não se cruzam, porém fazem uma trajetória próxima. Com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia é praticamente a mesma.

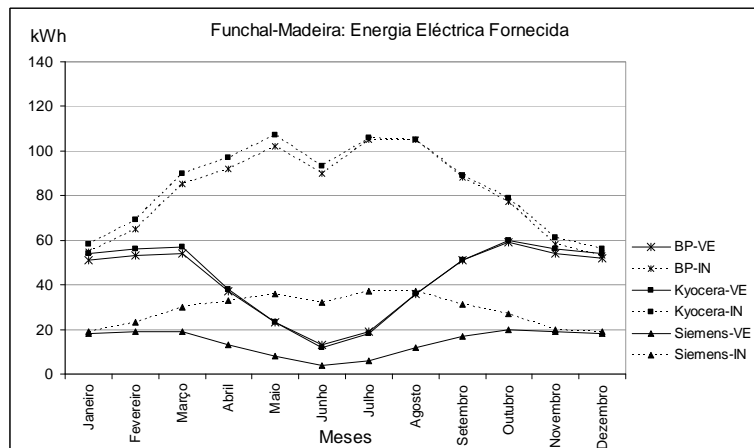


Figura D2. Funchal-Madeira: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Guimarães

Nos resultados para a cidade de Guimarães, com o uso dos módulos inclinados, o incremento em termos de ganhos de energia foi de 58,68% para o BP 3160; 55,03% para o Kyocera KC167G-2 e 62,13% para o Siemens M75S. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 4,6 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura D3**).

Neste caso, houve uma diferença de cerca de 3,1% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160. Os gráficos de ambos se cruzam no mês de junho e fazem uma trajetória próxima. Com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia é a mesma.

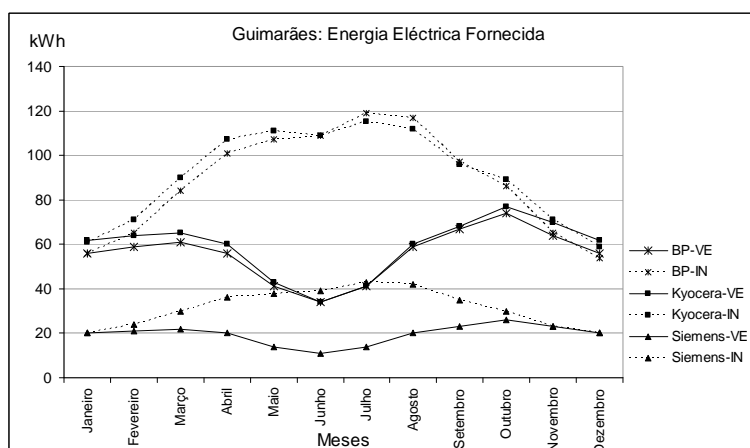


Figura D3. Guimarães: Energia eléctrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Lajes - Açores

Para a ilha de Lajes-Açores o incremento em termos de ganhos de energia foi de 71,23% para o BP 3160; 69,66% para o Kyocera KC167G-2 e 74,75% para o Siemens M75S com a inclinação. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 5 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura D4**).

Neste caso, houve novamente uma diferença de cerca de 2,6% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160. Os gráficos de ambos se cruzam no mês de julho e setembro o que indica a mesma produção energética nesses meses, observa-se também uma trajetória próxima para esses dois tipos de painéis.

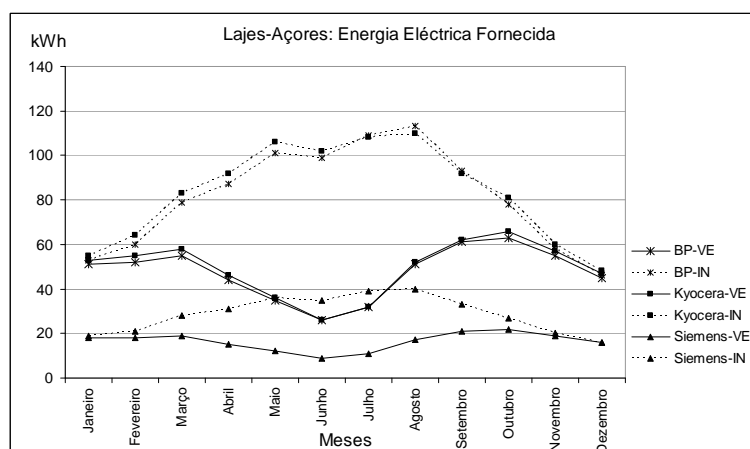


Figura D4. Lajes - Açores: Energia eléctrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Lisboa

Para a capital Lisboa, com o uso dos módulos inclinados, o incremento em termos de ganhos de energia nos painéis foi de 63,52% para o BP 3160; 57,65% para o Kyocera KC167G-2 e 68,25% para o Siemens M75S. A menor eficiência foi observada novamente para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 4,7 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura D5**).

Praticamente não houve diferença significativa (1,36%) entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160 para os painéis com posição inclinada. Os gráficos de ambos, dessa vez se cruzam no mês de maio e entre os meses de setembro e outubro. Novamente, para esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia alcança valores bem próximos.

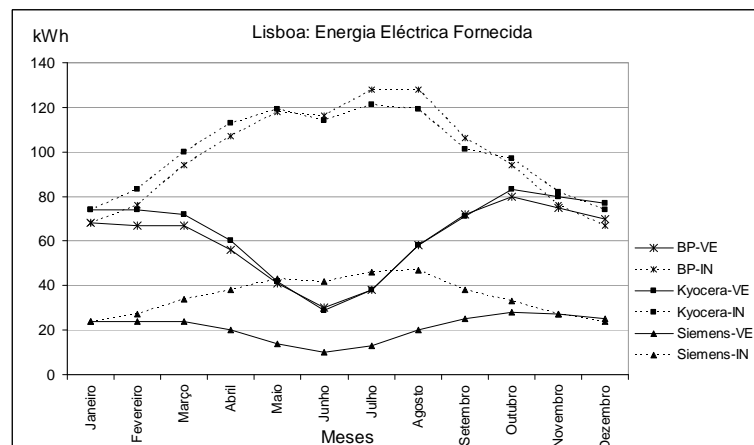


Figura D5. Lisboa: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Porto

Para o Porto, com o uso dos módulos inclinados, o incremento em termos de ganhos de energia foi de 59,52% para o BP 3160; 56,58% para o Kyocera KC167G-2 e 62,13% para o Siemens M75S. A menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical, que conduziu a geração energética 4,6 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado (**Figura D6**).

Neste caso, houve uma diferença de cerca de 4% entre a energia fornecida pelo painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (melhor desempenho) e o BP Solar BP 3160. Os



gráficos de ambos se cruzam no mês de julho e fazem uma trajetória praticamente idêntica até o mês de novembro.

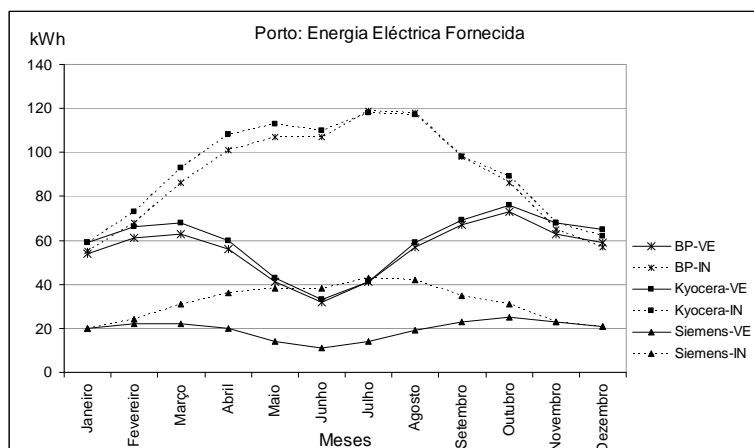


Figura D6. Porto: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

Anexo E: Dados da Pormenorização do Sistema de Fachadas

Peças Componentes do Módulos do Sistema de Fachadas

As Tabelas E1 e E2 apresentam os componentes dos módulos do sistema de fachadas.

Tabela E1. Componentes do Módulo Padrão Fixo, Módulo Parede de Trombe e Módulo de Ventilação

| Módulo Padrão Fixo | | |
|--------------------|---|--------|
| Ref. | Designação | Quant. |
| FE027 | Bite clipável 16 mm | 2L+2H |
| HF024 | Perfil aro – integra o caixilho à fachada | 2L+2H |
| JF002 | Junta bi-função | 2L+2H |
| JF005 | Junta vidro interior 7 mm | 2L+2H |
| CF006 | Calço vidro | 4 |
| CF023 | Esquadro de batente | 4 |
| EE001 | Esquadro de piões 15 x 24 mm | 4 |

Dados:

L (Largura) = 600mm

H (Altura) = 600mm

**Tabela E2. Componentes do Módulo Padrão Projetante**

| Módulo Padrão Projetante | | |
|---------------------------------|---|------------------|
| Ref. | Designação | Quant. |
| 8015 | Perfil haste de cremone | Conforme fechad. |
| FE027 | Perfil bite 16 mm | 2L+2H |
| HF024 | Perfil aro – integra o caixilho à fachada | 2L+2H |
| HF028 | Perfil folha | 2L+2H |
| JF002 | Junta bi-função | 6L+6H |
| JF005 | Junta de vidro interior 8 mm | 2L+2H |
| 2298 | Compasso projetante | 2 |
| CF005 | Calço vidro | 8 |
| CF023 | Esquadro de batente | 4 |
| CF031 | Dobradiça 3 corpos | 2 ou 3 |
| CF032 | Conjunto fixação muleta | 1 |
| CF036 | Gache | 2 |
| EE001 | Esquadro de piões de 15x24 mm | 4 |
| EE156 | Esquadro de piões de 36x20 mm | 4 |
| EE165 | Esquadro de piões de 36x5 mm | 4 |
| KF048 | Ponto de fecho | 2 |
| KF037 | Muleta | 1 |
| KM600 | Espaçador | 1 |

Dados:
L (Largura) = 600mm
H (Altura) = 600mm

Composição do Aro

O aro da caixilharia composta pelo perfil FXi possui os seguintes elementos (TECHNAL, 2006):

- Perfis 52mm tubulares com rutura da ponte térmica;
- Corte a meia esquadria ligado por esquadros de piões, de cavilhas ou de cravar;
- Esquadro de ajuste;
- Enchimento de 14 a 35mm;
- Junta EPDM, qualidade marítima;
- Bites direitos cortados a 90° ou arredondados cortados a meia esquadria;
- Drenagem não aparente no perfil aro (standard) ou opção de drenagem através de rasgos ovalizados e equipados com defletores.



Composição da Folha

A folha da caixilharia composta pelo perfil FXi possui os seguintes elementos (TECHNAL, 2006):

- Perfil módulo 60mm tubulares com rutura da ponte térmica;
- Corte a meia esquadria ligado por esquadros de piões, ou de cravar;
- Esquadro de reforço no tubular exterior;
- Esquadro de ajuste;
- Enchimento de 14 a 35mm;
- Junta EPDM, qualidade marítima;
- Bites direitos cortados a 90° ou arredondados a meia esquadria;
- Drenagem através de rasgos ovalizados escondidos;
- *Bouchon* em alumínio da mesma cor dos perfis para a janela de 2 folhas;
- Batente central arredondado.