

SISTEMAS DE FACHADAS INOVADORES E CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO EM PORTUGAL

Innovative Façade Systems and Thermal Comfort: Study in Portugal

Resumo:

Apresenta-se neste estudo parte do desenvolvimento de um novo sistema de fachadas: "Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios" destinado inicialmente a Portugal, focando nesta fase, no desempenho térmico de elementos modulares compostos por vidros duplos. Os elementos modulares analisados nesta fase são compostos por vidros de elevado desempenho térmico. Para o desenvolvimento da pesquisa em questão foi empregado o software *DesignBuilder* (interface gráfica para o software *EnergyPlus*), considerando: três tipos de vidros duplos, quatro orientações solares; dois tipos de envolvente e quatro climas portugueses (Bragança, Coimbra, Évora e Faro). São apresentados os resultados de simulações computacionais de desempenho térmico para um modelo típico (25m²). Foram calculadas as necessidades de aquecimento e arrefecimento para climas analisados de acordo com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) de Portugal. Tais valores foram utilizados na análise dos resultados. Os resultados indicaram um melhor desempenho térmico para os módulos que combinam vidro de controle solar verde e vidro de auto-limpeza com vidro *float* extra claro. E ainda, pode ser indicado um tipo de vidro duplo ideal para as localidades nas quais a prioridade são as necessidades de aquecimento (invernos rigorosos); e outro tipo para as localidades onde são maiores as necessidades de arrefecimento (invernos menos rigorosos).

Palavras-chave: Fachada. Eficiência energética. Vidros de elevado desempenho.

Abstract:

This paper presents a study on a new facade concept: "Facade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings", focusing at this stage, especially on thermal performance of double glazing modules for Portugal. Glazing modules is composed by high thermal performance glass. Computational simulation was done with the Design Builder software (*EnergyPlus* simulation engine) for three different double glazing types; four solar orientations; two envelopes and four Portuguese climates (Bragança, Coimbra, Évora e Faro). A typical dwelling room (25m²) was used in the thermal performance simulation. Heating and cooling needs were calculated for analyzed climates, according to *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE* from Portugal. These values were used in the results analysis. Results showed a better performance to glazing compositions that combines solar control and self-cleaning glass with extra clear float glass. Moreover, can be indicated a type of glazing ideal for locations where heating needs are the priority (colder winters) and another one for locations where cooling needs are the priority (least rigorous winters).

Keywords: Façade. Energy Efficiency. High Thermal Performance Glazing.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Fachadas e Eficiência Energética

A função principal da fachada é criar condições de habitabilidade para o edifício, protegendo o ambiente interior contra a ação indesejável dos diversos agentes atuantes (calor, frio, sol, chuva, vento, umidade, ruídos, etc.) controlando-os. As fachadas contribuem de forma significativa para a redução dos consumos de energia nos edifícios ao funcionar como uma barreira seletiva em relação às condições climáticas, permitindo manter condições de conforto interiores, sem recurso a sistemas mecânicos de climatização, ou pelo menos, reduzindo ao mínimo a necessidade de recorrer a este tipo de sistemas.

Dentre os diversos elementos constituintes dos edifícios, as fachadas surgem, então, como um meio privilegiado para atuar e propor soluções, uma vez que influenciam no consumo de energia do edifício e no conforto dos seus ocupantes. Assim, atualmente as fachadas têm de ser abordadas como um elemento importante que carece de estudo aprofundado de forma que sejam encontradas as soluções mais adequadas e que estas possam ser otimizadas.

A complexidade do projeto de fachadas tem alcançado um nível de aperfeiçoamento no qual se pode citar a chamada “fachada inteligente”. Esse termo refere-se às fachadas que respondem dinamicamente às exigências do ambiente exterior e da ocupação interior, seguindo princípios de consumo consciente de energia. Porém, existe um número variado de elementos, configurações e soluções que podem ser escolhidos, devendo-se na sua análise considerar parâmetros como: custo, estética, orientação, aberturas (janelas), vidros, entre outras questões (OCHOA; CAPELUTO, 2008). Compagno (2002), por exemplo, denomina esse tipo de fachada como “Fachadas Envidraçadas Inteligentes”, nas quais são utilizados vidros de elevado desempenho (reflexivos, auto-limpantes, *low-e*, etc).

O esquema da Figura 1 apresenta alguns dos requisitos e aspectos que devem ser considerados durante a concepção de uma fachada.

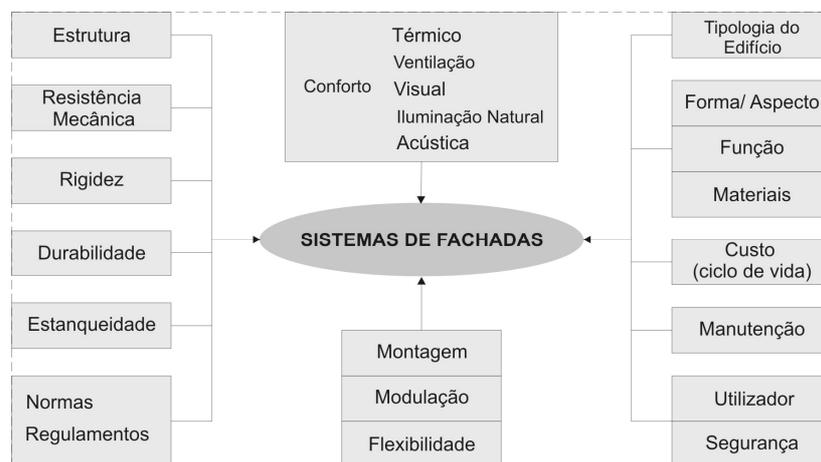


Figura 1. Esquema ilustrativo dos parâmetros e aspectos que devem ser considerados durante a concepção de uma fachada.

Fonte: SACHT, 2010.

1.2 Fachadas Inovadoras

Nas últimas décadas a tecnologia na área de fachadas sofreu avanços significativos, integrando elementos específicos para se adaptarem às condições externas e às exigências do usuário. Esses avanços foram tanto em termos de qualidade de materiais e componentes como na concepção global e design do sistema. Inclui soluções passivas, vidros duplos,

proteção solar, sistemas de ventilação, entre outros tipos de soluções (CASTRILLÓN, 2009). A seguir serão apresentados alguns exemplos desses tipos de fachadas.

O edifício *Capricorn Düsseldorf* (Figura 2) é um exemplo de uso de fachada com componentes ativos. O design da fachada inclui componentes transparentes e opacos, que combinam visibilidade, entrada de luz natural e redução de ganhos solares, se comparados com a tradicional fachada cortina, e incorporando, além disso, tecnologia e equipamentos para regular o clima interior. O painel metálico interior é perfurado para promover absorção sonora.

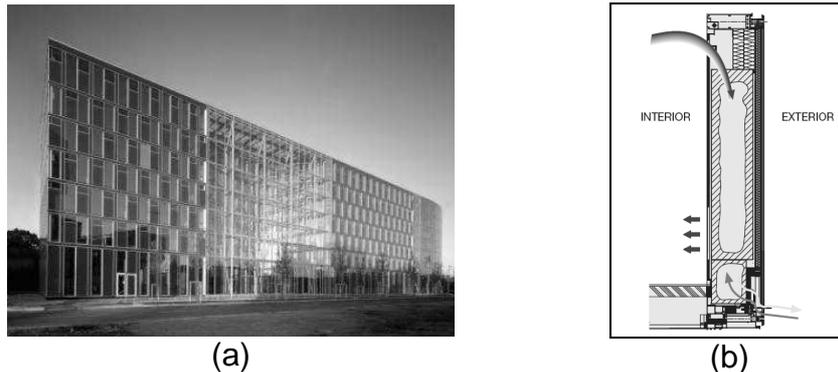


Figura 2. *Capricorn Haus, Düsseldorf* (a) e Detalhe da Secção da Fachada (b)
Fonte: FSL, 2010.

O próximo exemplo (Figura 3a) apresenta um componente para fachadas composto por duas folhas de vidro separadas por um caixilho-espaçador de alumínio que abriga uma grelha. A grelha possui superfícies côncavas e convexas que asseguram que toda luz refletida seja difundida, minimizando o efeito “espelho” quando vista externamente. Vista internamente (Figura 3b), a aparência das grelhas é mais ou menos pronunciada, dependendo do ângulo e da distância em que se encontra o observador.

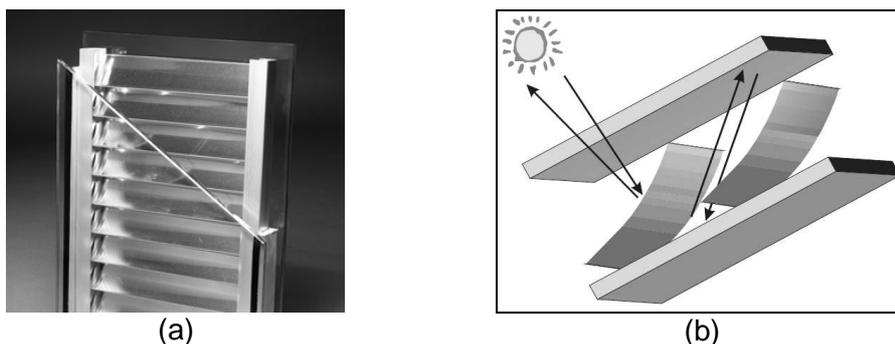
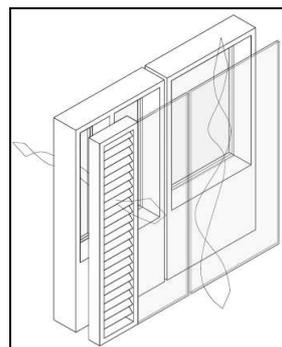


Figura 3. O componente para fachadas (a) e detalhe da grelha e funcionamento(b).
Fonte: IEA, 2000.

A fachada do tipo alternada também é um exemplo de uso de vidro que pode ser citado. Basicamente é uma fachada simples que pode ser convertida em fachada dupla por meio da adição de uma “segunda pele”. No Edifício *Debitel Headquarters* em Stuttgart na Alemanha foi empregada uma fachada simples de vidro seguida de um painel fixo de venezianas (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4. Fachada Alternada, Edifício *Debitel Headquarters*, Stuttgart, RKW Architektur & Städtebau 2002(a), Detalhe do módulo da fachada (b).

Fonte: Knaack et al., 2007.

A companhia *Wicono-Hydro*, a *Fachhochschule Biberach*, e a Universidade de Dortmund desenvolveram um protótipo de fachada que inclui um número significativo de funções, como a otimização do controle energético, ajuste automático de necessidades em termos de aquecimento e arrefecimento além de ventilação natural e mecânica. Existem também na fachada componentes para proteção contra radiação em excesso e encadeamento, que permitem regular a intensidade de iluminação natural e artificial (CASTRILLÓN, 2009) (**Figura 5**). A característica principal é a integração de um elemento vertical operável na fachada que permite ventilação natural e inclui um espaço para instalação do equipamento que provê aquecimento e ventilação mecânica quando necessário. O componente de janela é separado do sistema de ventilação, permitindo a entrada direta de ar fresco. Inclui características adicionais que são a reflexão da luz natural e a integração de iluminação artificial no módulo. O fato de ser modular permite que sejam planejados diferentes aspectos de configuração da fachada (**Figura 6**).

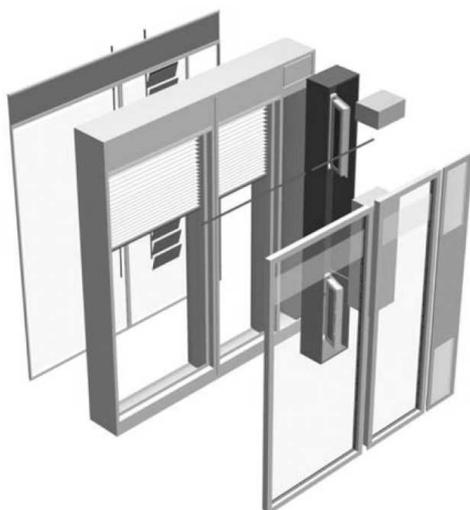


Figura 5. Fachada Temotion.

Fonte: Wicono Productos y Referencias, 2011.

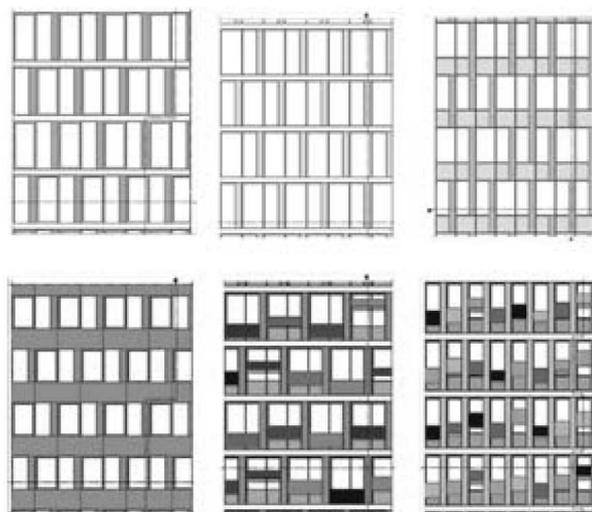


Figura 6. Fachada Temotion: Possibilidades de configuração

Fonte: Wicono Productos y Referencias, 2011.

Diante disso, apresentam-se neste artigo os estudos iniciais sobre os módulos envidraçados destinados a um novo sistema de fachada denominado: “Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios” em desenvolvimento inicialmente para Portugal.

A ênfase maior de tal sistema está baseada na incorporação, em grande parte dos módulos de elementos envidraçados de elevado desempenho. Trata-se de um sistema de fachada modular de pequenos componentes ajustáveis e intercambiáveis entre si (módulo padrão-envidraçado, módulo parede de trombe¹, módulo estufa, módulo de ventilação, módulo fotovoltaico e dispositivo de proteção solar) visando à eficiência energética (SACHT et al., 2010a).

Espera-se que este sistema seja uma tecnologia que se enquadre na nova e crescente necessidade de produtos que solucionem as exigências legais, funcionais e estéticas, cumprindo os objetivos de reduzir os gastos energéticos com a climatização e iluminação nos edifícios, potenciando os benefícios do aproveitamento da radiação solar. E, além disso, ser um produto versátil, inovador e atraente, susceptível de ser aplicado em todo o tipo de edifícios, quer já construídos (soluções de reabilitação) quer a construir (edifícios novos).

Este estudo trata de parte do desenvolvimento de tal sistema, focando nesta fase, em elementos modulares compostos por vidros de elevado desempenho. Serão apresentados alguns resultados de simulações computacionais de desempenho térmico executadas para quatro cidades portuguesas, considerando a utilização de tais módulos, de forma a analisar sua influência nas necessidades de aquecimento e arrefecimento de um compartimento tipo.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa em questão foi empregado o software *Design Builder* (interface gráfica para o software *EnergyPlus*), para um modelo (25m²), considerando três tipos de composição de envidraçados, quatro orientações solares e dois tipos de envolvente: um sistema construtivo convencional português em alvenaria dupla e um sistema *light gauge steel framing* (LGSF)².

2.1 Definição das cidades para execução das Simulações

Na definição das cidades para as simulações computacionais foram consideradas i) a localização em diferentes pontos do território, ii) a representatividade das zonas climáticas existentes em Portugal e, além disso, iii) a disponibilidade de arquivos climáticos para utilização no software (Tabela 1). Foram executadas simulações para as orientações norte, sul, leste e oeste para as cidades de Bragança, Coimbra, Évora e Faro, considerando um período anual. Com base no RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) de Portugal foram calculadas as necessidades de aquecimento e arrefecimento para as diversas localidades e os valores obtidos utilizados posteriormente na análise dos resultados.

¹ O americano Edward Morse foi o primeiro a descrever o conceito de parede de Trombe em uma patente de 1881 (MORSE, 1881). Porém, somente em 1972 esse conceito foi popularizado e repatenteado pelo engenheiro Felix Trombe e pelo arquiteto Jacques Michel (TROMBE, 1972). Trata-se de um sistema constituído por um vidro exterior orientado a Sul (no caso do hemisfério norte), uma caixa de ar e uma parede de grande densidade e espessura (normalmente em concreto, pedra, ou tijolo maciço), o que garante grande inércia térmica. Esse sistema capta a energia do sol, faz o armazenamento no interior da parede e irradia o calor para dentro da divisão adjacente durante a noite, auxiliando no aquecimento do ambiente.

² A definição da composição da envolvente do sistema LGSF está baseada no trabalho de Santos et al. (2009).

Tabela 1. Cidades para Simulações computacionais.

Climas	Zonas Climáticas		Duração do Inverno
	Inverno	Verão	
Bragança	I ₃	V ₃	8,0
Coimbra	I ₁	V ₂	6,0
Évora	I ₁	V ₃	5,7
Faro	I ₁	V ₂	4,3

2.2 O Software Design Builder

O software *Design Builder* é uma interface gráfica para o programa de simulação térmica *EnergyPlus*, na qual a inserção de dados de soluções mais complexas pode ser feita graficamente (Figura 7). Essa ferramenta permite o desenho, a modelação e obtenção de dados do comportamento físico e ambiental dos edifícios, bem como a obter imagens a qualquer estágio do desenvolvimento do modelo. E, além disso, permite a coleta de dados concretos sobre o funcionamento do edifício para utilização no processo de concepção.

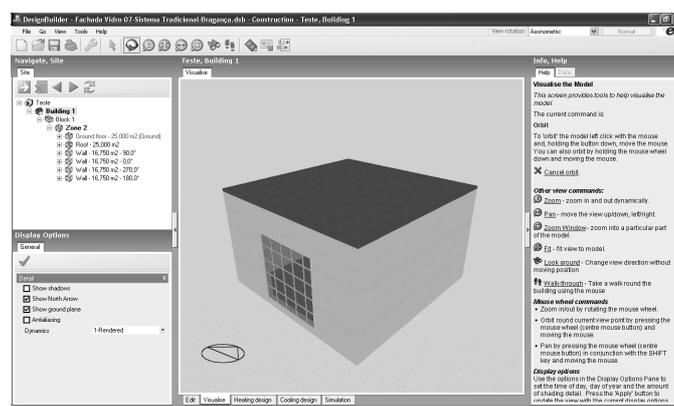


Figura 7. Exemplo da tela principal do software *DesignBuilder*.

2.3 Definição do Modelo de Simulação

Para a definição do “modelo base” para as simulações, considerou-se um compartimento térreo isolado, com geometria regular 5,0 x 5,0 (25m²) com pé direito de 2,80m, e uma dimensão total de 2,5 x 2,5 (6,25m²) para o conjunto de módulos da fachada (Figura 8). Essas dimensões procuram estar próximas das recomendações do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 2007) de Portugal.

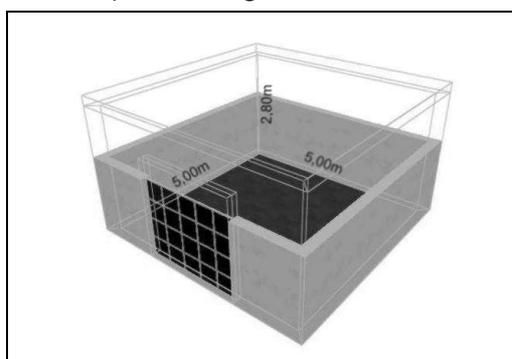


Figura 8. Modelo Base.

2.4 Envolvente

Para a envolvente opaca foi considerado no modelo o uso do sistema construtivo convencional português em alvenaria dupla e do sistema construtivo usualmente empregado no sistema *light gauge steel framing* (LGSF). O sistema convencional considerado é composto por lajes de concreto leves com isolamento (lã de rocha); paredes exteriores em alvenaria de tijolo furado duplo com isolamento interior e reboco em argamassa de cimento. O sistema *light gauge steel framing* também é composto por lajes de concreto leve e outros componentes isolantes (Poliestireno Expandido Extrudido) e as paredes são compostas por EIFS³ (*Exterior Insulation and Finish System*), placas OSB, lã de rocha e placas de gesso acartonado.

A Tabela 2 apresenta uma síntese da envolvente de acordo com o tipo de sistema e os valores do coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

Tabela 2. Síntese: Coeficiente de Transmissão Térmica ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Coeficiente de Transmissão Térmica - Sistema Convencional		
Elemento-Envolvente	Espessura (cm)	U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
Paredes Exteriores	0,37	0,49
Laje de Cobertura	0,28	0,56
Coeficiente de Transmissão Térmica - Sistema LGSF		
Elemento-Envolvente	Espessura (cm)	U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
Paredes Exteriores	0,20	0,14
Laje de Cobertura	0,34	0,25

2.5 Tipos de Vidros

Em relação à escolha dos vidros para o módulo padrão, os aspectos importantes a serem observados sob o ponto de vista de ganho e perda de calor são: o fator solar, o coeficiente de sombreamento e o coeficiente de ganho de calor solar. Os vidros selecionados para as simulações computacionais sendo todos do fabricante *Saint-Gobain Glass*, principalmente pela disponibilidade de informações sobre os produtos para inserção no software (Tabela 3).

Tabela 3. Vidros para módulo padrão.

Propriedades	Vidros ⁴				
	Cool Lite KNT 155 - Verde	Bioclean	Planilux	Planitherm Total	Planitherm Futur Ultra N
Espessura	4mm	4mm	4mm	4mm	4mm
Factor Solar g	0.45	0.84	0.85	0.66	0.63
Coeficiente de Sombreamento	0.52	0.97	0.98	0.78	0.72
Coeficiente U (W/m^2K)	5.75	5.87	5.80	5.74	5.73

³ EIFS é um acrônimo de *External Insulation and Finishing System*, termo usado nos Estados Unidos para descrever o reboco térmico pelo exterior. Este sistema de revestimento de fachadas é conhecido na Europa pela sigla ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*). Na Espanha costuma ser designado por SATE (*Sistema de Aislamiento Térmico Exterior*). Esse termo usualmente aplicado para definir os sistemas compostos que se aplicam pelo exterior dos edifícios e que cumprem duas funções essenciais de proteção, garantindo ainda um bom aspecto estético e fornecendo conforto interno à habitação, eliminando pontes térmicas.

⁴ Sendo: "Cool Lite KNT 155 - Verde" um vidro de cor verde com capa de origem metálica que lhe confere características de controle solar; "Bioclean" um vidro auto-limpante com capa de baixa emissividade; "Planilux" um vidro *float* incolor; "Planitherm Total" um vidro com capa de baixa emissividade e "Planitherm Futur Ultra N" um vidro com emissividade extremamente baixa.

A Tabela 4 apresenta uma síntese das propriedades dos envidraçados duplos (LBNL, 2011) que foram considerados nas simulações computacionais de forma a obter as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para diferentes localidades. Em todos os casos foi considerado entre os vidros um espaço de ar de 12mm.

Tabela 4. Síntese das Propriedades dos Envidraçados.

Características		Envidraçados		
		Envidraçado 04	Envidraçado 07	Envidraçado 09
Panos	Exterior	Cool Lite KNT 155 Verde 4mm	Bioclean 4mm	Planilux 4mm
	Interior	Planitherm Futur Ultra N 4mm	Planilux 4mm	Planitherm Total 4mm
U (W/m ² K)		1.66	2.69	1.80
Factor Solar g		0.28	0.40	0.63
Coeficiente de		0.33	0.46	0.72
Transmitância Visível (%)		0.42	0.71	0.77
Ganho Relativo de Calor		217.72	311.28	469.47

2.6 Ganhos Internos

No RCCTE é apresentado um valor de 4W/m² para as cargas internas referentes à soma de todos os perfis (ocupação, iluminação e equipamentos) (RCCTE, 2006). Porém, devido às possibilidades e opções de simulação oferecidas pelo software *Design Builder*, as cargas internas foram consideradas separadas de forma mais realista para os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Ganhos Internos (W/m²)

Ganhos Internos	Valores (W/m ²)
Ocupação	5,6 W/m ² (2 pessoas)
Iluminação	9,4 W/m ²
Equipamentos	8 W/m ²

Como o RCCTE não contempla os perfis (dias da semana e horários) de ocupação, iluminação e uso de equipamento para edifícios de habitação, esses valores foram adotados da pesquisa "Obtenção dos perfis de utilização, iluminação e de equipamentos das habitações residenciais" que é adaptada a realidade portuguesa (SOUSA, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Necessidades Nominais de Aquecimento

3.1.1 Bragança

Observa-se nos resultados para a cidade de Bragança que os três tipos de envidraçados apresentam necessidades nominais de aquecimento de acordo com o RCCTE para os dois tipos de envolvente. Porém, o envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) destacou-se com o menor valor, ou seja, a sua utilização representa uma maior economia de energia para aquecimento (Figura 9). No entanto, devem ser consideradas também as necessidades de arrefecimento.

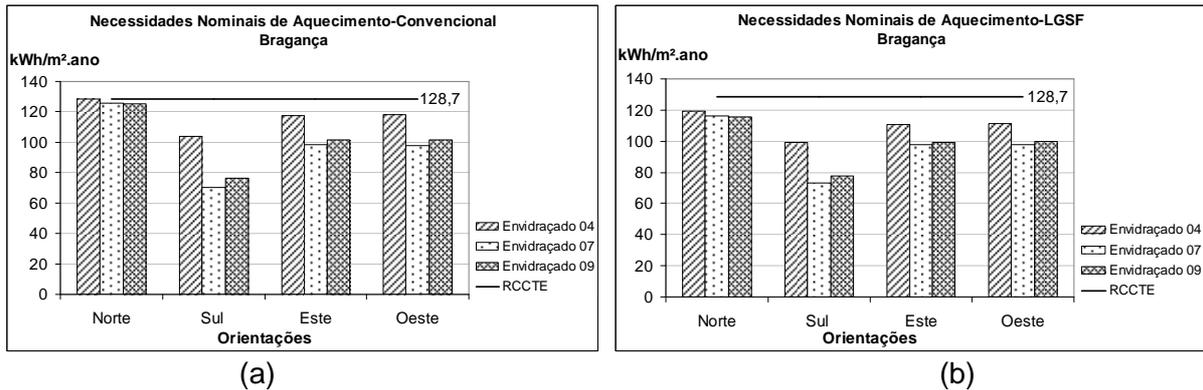


Figura 9. Necessidades Nominais de Aquecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Bragança.

3.1.2 Coimbra

Para a cidade de Coimbra o uso dos três tipos de envidraçados no modelo indicou necessidades nominais de aquecimento de acordo com o RCCTE (68,14kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envolvente (sistema convencional e sistema LGSF). Novamente o menor consumo foi observado para o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). Neste caso, ambos os tipos de envolvente apresentaram necessidades nominais de aquecimento muito semelhantes (Figura 10).

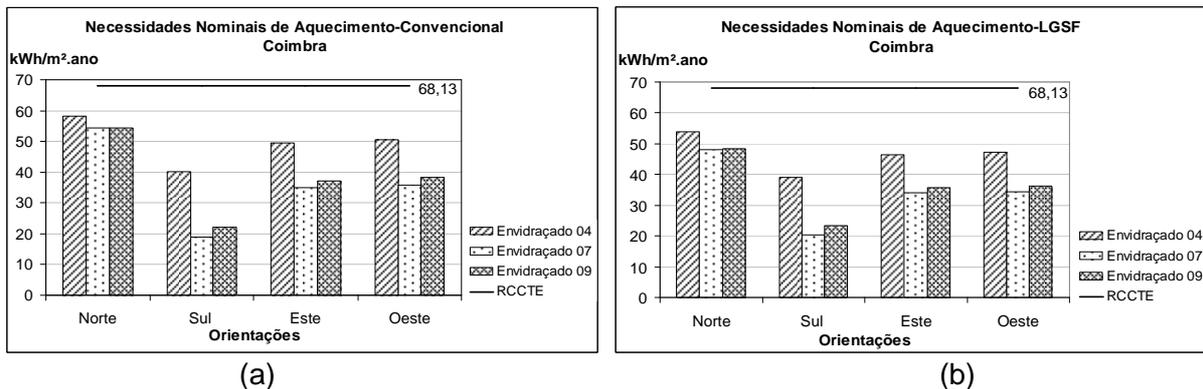


Figura 10. Necessidades Nominais de Aquecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) -Coimbra.

3.1.3 Évora

A modelação dos três tipos de envidraçados para Évora apresentou novamente necessidades energéticas de aquecimento de acordo com o RCCTE (65,08 kWh/m².ano), sendo que o mínimo valor observado foi para o uso envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). Os dois tipos de envolvente apresentaram, novamente, valores próximos (Figura 11).

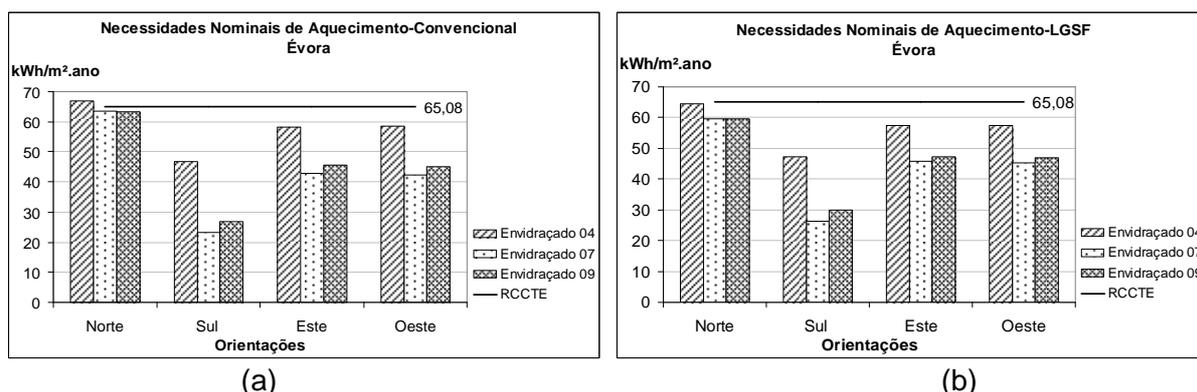


Figura 11. Necessidades Nominais de Aquecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Évora.

3.1.4 Faro

Para Faro os três tipos de envidraçados utilizados apresentaram necessidades nominais de aquecimento muito abaixo do valor máximo admitido pelo RCCTE (50,69 kWh/m².ano), isso para ambos os tipos de envoltivo. Novamente o menor consumo foi observado com o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm). Também neste caso ambos os tipos de envoltivo apresentaram necessidades nominais de aquecimento próximas (Figura 12).

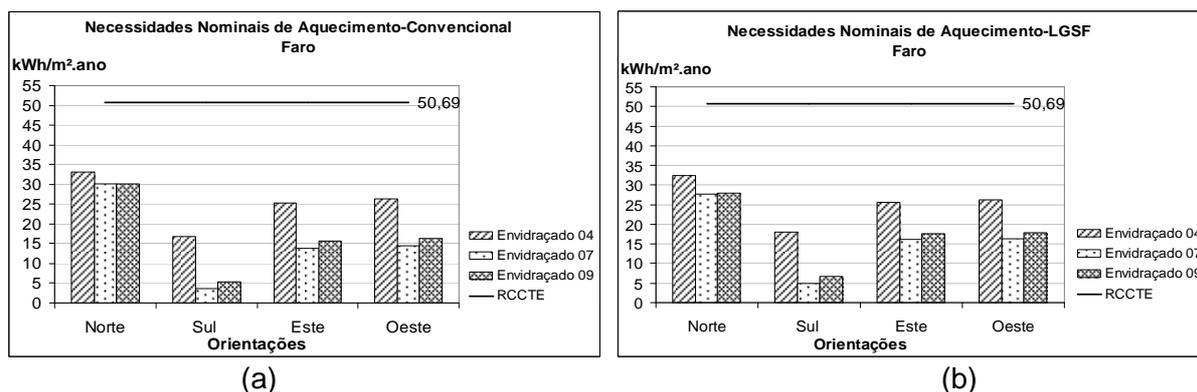


Figura 12. Necessidades Nominais de Aquecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Faro.

3.2 Necessidades Nominais de Arrefecimento

3.2.1 Bragança

Todos os modelos com envoltivo do sistema *light gauge steel frame* apresentaram necessidades nominais de arrefecimento de acordo com o RCCTE para Bragança. Para os modelos com envoltivo em alvenaria dupla (sistema convencional) apenas o uso do envidraçado 4 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) fez com que as necessidades nominais de arrefecimento fossem inferiores a 26kWh/m².ano (Figura 13), que é o valor máximo admitido para esta região climática.

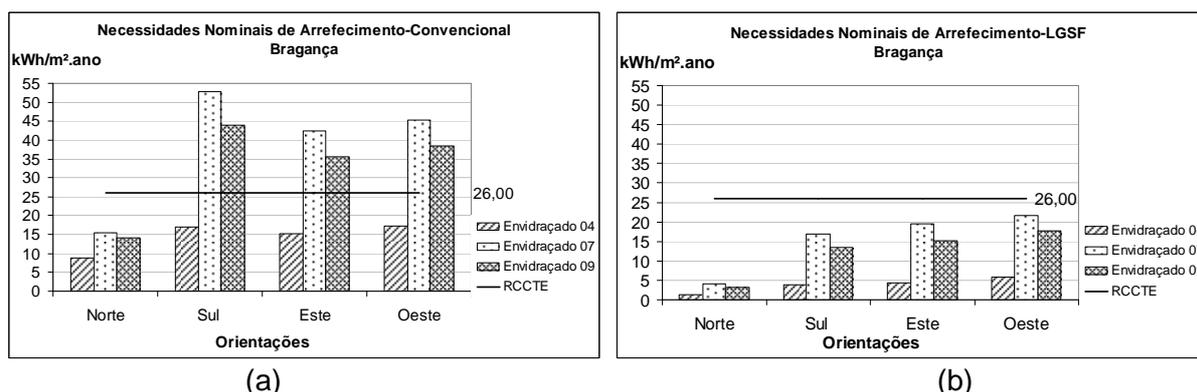


Figura 13. Necessidades Nominais de Arrefecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Bragança

Esses resultados indicam que os envidraçados 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) podem apresentar melhores resultados para aplicação nos locais para os quais as necessidades de arrefecimento sejam mais elevadas.

3.2.2 Coimbra

Para Coimbra, o consumo energético para arrefecimento apresentou-se mais elevado para a envolvente convencional. Para o modelo de envolvente do sistema LGSF, o uso de todos os envidraçados apresentaram necessidades nominais de arrefecimento de acordo com o RCCTE, (16,00 kWh/m².ano) (Figura 12).

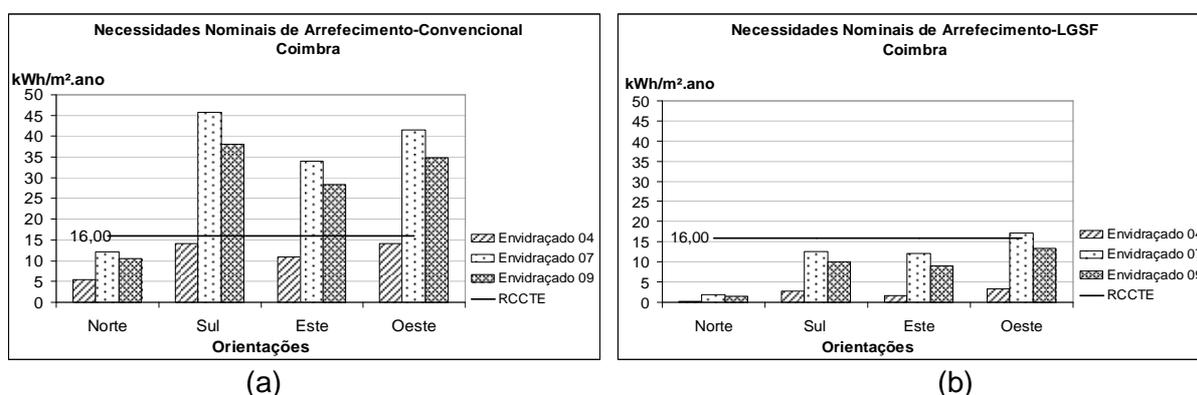


Figura 14 Necessidades Nominais de Arrefecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Coimbra.

3.2.3 Évora

Para a envolvente típica do sistema LGSF, praticamente, o uso dos três tipos de envidraçados apresentou necessidades nominais de arrefecimento abaixo do valor calculado de acordo com o RCCTE (32 kWh/m².ano) (Figura 15). Já para a envolvente convencional, somente o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) apresentou necessidades nominais de arrefecimento inferiores.

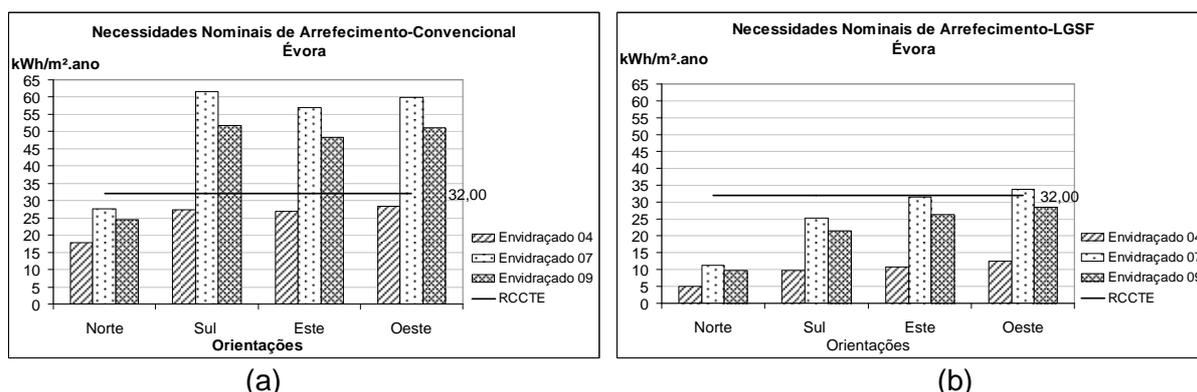


Figura 15. Necessidades Nominais de Arrefecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Évora.

3.2.4 Faro

Por meio da análise das necessidades de arrefecimento, para Faro e para a envolvente do sistema convencional, observou-se que o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) se destacou por ser o único a apresentar valores de necessidades nominais de arrefecimento inferiores ao valor máximo admitido pelo RCCTE (32kWh/m².ano). Para a envolvente do sistema LGSF, os três tipos de envidraçados apresentaram valores inferiores ao RCCTE, com exceção do envidraçado 07 para as orientações Leste e Oeste (Figura 16).

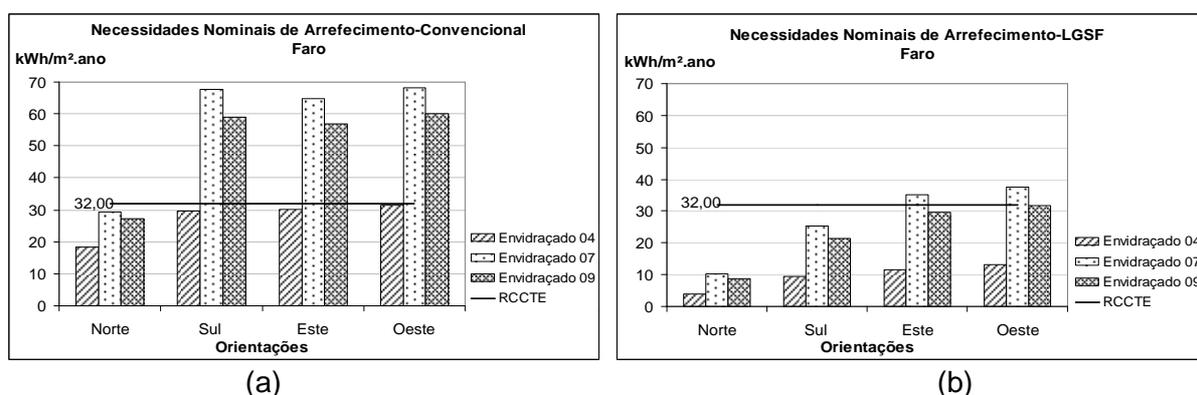


Figura 16. Necessidades Nominais de Arrefecimento – Sistema Convencional (a) e Sistema LGSF (b) - Faro.

A seguir são indicados na Tabela 6, os envidraçados adequados de acordo com a duração da estação de inverno para cada localidade. Para climas onde a duração do inverno for de 5 a 12 meses é indicado o envidraçado com melhor desempenho em relação às necessidades nominais de aquecimento por tratar-se de um clima temperado, caracterizado por invernos moderadamente frios, verões quentes e grandes amplitudes térmicas diárias. O clima apresenta variações significativas que podem ser observadas na classificação de zonas climáticas apresentada no RCCTE.

Tabela 6. Duração das Estações de Acordo com o Clima.

Climas	Duração do Inverno ⁵ (meses)	Vidro Duplo Indicado
Bragança	8,0	Envidraçado 07
Coimbra	6,0	Envidraçado 07
Évora	5,7	Envidraçado 07
Faro	4,3	Envidraçado 04

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados das simulações computacionais para os três tipos de envidraçados, observou-se que grande parte dos casos analisados apresentaram necessidades nominais de aquecimento inferiores aos limites máximos (por cidade) admitidos na legislação portuguesa (RCCTE, 2006). A aproximação dos valores de necessidades energéticas obtidos por simulação computacional dos valores calculados com base na normalização portuguesa (RCCTE, 2006) valida os resultados.

Destacou-se o uso do envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) com necessidades nominais de aquecimento inferiores para todas as localidades analisadas. Em relação às necessidades nominais de arrefecimento, o uso do envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm) se destacou por apresentar valores bem abaixo do RCCTE.

O uso do Envidraçado 04 nos modelos com envolvente em alvenaria dupla (Sistema Convencional Português) em todos os casos foi o único a apresentar necessidades nominais de arrefecimento inferiores ao RCCTE.

Mesmo ao utilizar envolvente de dois tipos de sistemas construtivos (Sistema Convencional Português em alvenaria dupla e Sistema *Light Gauge Steel Framing* - LGSF), essa variação não ocasionou diferenças significativas em termos de necessidades nominais de aquecimento dos modelos simulados. Já em termos de necessidades de arrefecimento foram observadas variações significativas no uso dos dois tipos de envolvente, sendo que as necessidades nominais de arrefecimento foram no mínimo o dobro para os modelos com envolvente do sistema convencional (alvenaria dupla).

Diante dos resultados das simulações computacionais para os envidraçados, tendo em vista que um deles apresentou-se como adequado em relação às necessidades nominais de aquecimento e outro às de arrefecimento, podem ser indicados os seguintes envidraçados para compor dois tipos de módulos de fachada: o Envidraçado 07 (Bioclean 4mm - Planilux 4mm) para as localidades onde as necessidades de aquecimento sejam a prioridade, ou seja, apresentem invernos mais rigorosos; e o Envidraçado 04 (Cool Lite KNT 155 4mm Verde - Planitherm Futur Ultra N 4mm), para as localidades onde as necessidades de arrefecimento sejam a prioridade, ou seja, apresentem invernos menos rigorosos de acordo com a Tabela 6 apresentada anteriormente nos resultados.

⁵ Fonte: RCCTE (2006).

5. REFERÊNCIAS

- CASTRILLÓN, R. D'A. *Integration of Active and Passive Systems in Glass Façades*. Technische Universität Berlin, Berlin, Germany. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES, 8, 2009. Aachen. Germany: August 31st to 3rd September, 2009.
- COMPAGNO, A. *Inteligente Glasfassaden: Material. Anwendung, Gestaltung*. Basel: Birkhäuser. 2002.
- EBBERT, T.; KNAACK, U. *A flexible and upgradeable facade concept for refurbishment*. In: SB07 LISBON - SUSTAINABLE CONSTRUCTION, MATERIALS AND PRACTICES: CHALLENGE OF THE INDUSTRY FOR THE NEW MILLENIUM, 07, 2008., Lisbon. Disponível em: <http://www.irbdirekt.de/daten/iconda/CIB11694.pdf> Acesso em: 05 Set. 2011.
- FASSADEN SYSTEM LÜFTUNG (FSL). *Project information Capricorn House: Decentralised sill ventilation units FSL-B-ZAU PI/FSL/11/EN/2*. Trox Group Company: 2010. Disponível em: http://www.troxtechnik.com/xpool/download/en/technical_documents/air_water_systems/projects/pi_fsl_11_en_2_capricorn.pdf Acesso em: 05 Set. 2011.
- KNAACK, U.; KLEIN, T. *The future envelope 1: a multidisciplinary approach*. Research in Architectural Engineering Series. V. 8. Amsterdam: IOS, Delft University, 2008.
- KNAACK, U.; KLEIN, T.; BILOW, M.; AUER, T. *Façades Principles of Construction*. Berlin: Birkhäuser Verlag AG, 2007.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL). *Window 6.2.33.0*. 2011. Disponível em: <http://windows.lbl.gov/software> Acesso em: 15 Mar. 2011.
- MORSE, E. L. *Warming and Ventilating Apartments by Sun's Rays*. U. S. Patent 246,626, 1881.
- 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.
- REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE). 2006. *Decreto-Lei n.º 80/2006*. Diário da República - Série I-A nº. 67. Lisboa: 4 de Abril 2006.
- REGULAMENTO GERAL DAS EDIFICAÇÕES URBANAS (RGEU). 2007. *Decreto-Lei n.º 290/2007*, de 17 de Agosto.
- SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. *Façades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: An Overview*. In: PORTUGAL SB10 - SUSTAINABLE BUILDING AFFORDABLE TO ALL, 10, 2010, Algarve, 2010a.
- 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 2010b.

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.; 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, 2010c.

SACHT, H. M. *Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios*. Plano de Tese - Programa Doutoral em Engenharia Civil. Julho de 2010.

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.

SOUSA, O. J. S. *Obtenção dos perfis de utilização, iluminação e de equipamentos das habitações residenciais*. Relatório de Projecto Individual. Universidade do Minho, 2009.

TROMBE, F. *US Patent 3. 832,992*, 1972.

WICONA. *Productos y Referencias: Temotion*. Disponível em: <http://www.wicona.es/descargas/archivos/Wicona%20-%20no%20limits.pdf> Acesso em: 05 Set. 2011.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Erasmus Mundus ISAC - *Improving Skills Across Continents* pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.