

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE FACHADAS FOTOVOLTAICAS DESTINADAS À DIFERENTES LATITUDES DE PORTUGAL

Helenice M. Sacht⁽¹⁾; Luis Bragança⁽²⁾; Manuela Almeida⁽³⁾; Rosana Caram⁽⁴⁾

(1) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: hmsacht@civil.uminho.pt

(2) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: braganca@civil.uminho.pt

(3) Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, e-mail: malmeida@civil.uminho.pt

(4) Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: rcaram@sc.usp.br

Resumo

A redução dos níveis de CO₂ emitidos para a atmosfera, resultantes do consumo energético, vem constituindo ao longo dos últimos anos uma preocupação global. Neste sentido, a União Europeia vem desenvolvendo um conjunto de documentos que visam a regulamentação da redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito estufa, e aumento da quota de energias renováveis até 2020. O uso de sistemas fotovoltaicos em fachadas se insere nesse contexto de aumento da quota de energias renováveis. Os ganhos que a fachada fotovoltaica apresenta são referentes à eficiência energética e ao desempenho ambiental dos edifícios. Diante desses aspectos foi executado um estudo para Portugal sobre uso de painéis fotovoltaicos em fachadas por meio de simulação computacional no qual foram analisadas as características dos painéis mais eficientes. Para alcançar tais resultados, a metodologia incluiu simulações computacionais realizadas com o software SolTerm 5.0. Com base nos resultados, observou-se que existe um potencial para o uso de painéis fotovoltaicos em Portugal, principalmente para latitudes próximas à Évora. Além disso, observou-se que o tipo de tecnologia com maior rendimento são os painéis de silício policristalino na posição inclinada, sendo que o tipo de painel fotovoltaico mais eficiente foi o Kyocera KC167G-2, seguido do painel BP 3160. Através da comparação dos resultados de simulação computacional com outros estudos, verificou-se que a ferramenta computacional utilizada se apresenta viável para a análise da eficiência energética deste tipo de sistema.

Palavras-chave: Fachadas Fotovoltaicas; Painéis fotovoltaicos; BIPV; Energias renováveis.

Abstract

The reduction in CO₂ emitted in the atmosphere resulting from energy consumption has constituted a global concern over the past years. Thus, the EU has developed a set of proposals in order to reduce the energy consumption and emissions of greenhouse gases, encouraging the use of renewable energy until 2020. On this topic, the photovoltaic facade is known to be a solution that allows both energy efficiency and environmental performance of buildings. In this respect, a study of facade systems that incorporate photovoltaic panels, considering computational simulations for Portugal, is presented in this work. The main objective of the present research is to analyze the characteristics and parameters that define of more efficient systems based on computer simulations. On this purpose, the version 5.0 of SolTerm computer program was used. The results show that there is a high potential on the use of the proposed technology in Portugal, especially in Évora region, because of its latitude. Besides, inclined polycrystalline silicon solar panels achieved the best results. Considering the energy efficiency and environmental performance, the most efficient panel was the Kyocera KC167G-2, followed by BP 3160. It should be noted that the comparison of results obtained by numerical simulation and the ones presented in literature show that the use of computer programs is viable to the analysis of energy efficiency of the photovoltaic systems in façades.

Keywords: PV facade; Photovoltaic solar panel; BIPV; Renewable energy.

1. INTRODUÇÃO

A redução dos níveis de CO₂ emitidos para a atmosfera, resultantes do consumo energético, vem constituindo ao longo dos últimos anos uma preocupação global. Neste sentido, a União Europeia vem desenvolvendo um conjunto de documentos que visam a regulamentação da redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito estufa e de aumento da quota de energias renováveis até 2020 (DIRECTIVA 2010/31/EU, 2010).

As fachadas fotovoltaicas se inserem no contexto de aumento da quota de energias renováveis e estão entre as soluções utilizadas para ganhos em eficiência energética e desempenho ambiental das edificações. Existe essa tendência, pois além de envolver o edifício, esse tipo de fachada aproveita a radiação solar como energia, contribuindo para o melhor desempenho energético-ambiental das edificações. Em alguns casos os painéis fotovoltaicos substituem os envidraçados das fachadas, os dispositivos de proteção solar e outros elementos dos edifícios (SACHT, 2010).

São três os principais tipos de células fotovoltaicas que podem ser utilizadas em fachadas: as células de silício monocristalinas, as células de silício policristalinas e as células de silício amorfo, também conhecidas como filmes finos. As células monocristalinas são as mais usadas na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado (Figura 1). O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. O processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino (Figura 2) (ALTENER, 2004). As células amorfas (thin film) são compostas por um suporte de vidro ou de outra matéria sintética, na qual é deposta uma camada fina de silício. O rendimento deste tipo de células é menor do que nas células cristalinas, mas mesmo assim, a corrente produzida é razoável (Figura 3).

Na forma de filmes finos existe também a célula do tipo CdTe. Para aplicações em calculadoras este material já vem sendo usado há mais de uma década, posteriormente começaram a ser comercializados módulos solares de grandes áreas. Estes módulos, normalmente sob a forma de placas de vidro num tom marrom/azul escuro, apresentam um bom atrativo estético. O custo de produção do CdTe são baixos para produção em grande escala e esta tecnologia está despontando como um sério competidor no mercado fotovoltaico para a geração energética. A maior eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica é um dos principais atrativos desta tecnologia (Figura 4).

Outro sério competidor no mercado fotovoltaico, também em aplicações integradas a edificações é a família dos compostos baseados no disseleneto de cobre e índio (CuInSe₂, ou simplesmente CIS), e disseleneto de cobre, gálio e índio (Cu(InGa)Se₂, ou simplesmente CIGS), principalmente por seu potencial de atingir eficiências relativamente elevadas. Dentre os filmes finos comercialmente disponíveis, módulos de CIGS são os que apresentam o melhor rendimento fotovoltaico, razão pela qual várias empresas vêm investindo nesta tecnologia (RÜTTER, 2004). A vantagem das células de CIGS em oposição a células de silício tradicionais é que pode ser impressa sobre um material em rolo, sendo mais facilmente transportado, e mais facilmente instalada. As aplicações na construção civil são ilimitadas, podendo ser aplicadas em fachadas, telhados, marquises, etc (Figura 5).

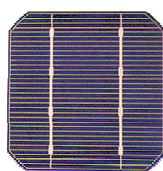


Figura 1- Célula Monocristalina.

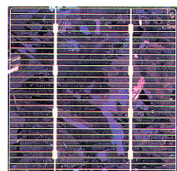


Figura 2- Célula Policristalina.



Figura 3- Célula Amorfa.



Figura 4- Célula CdTe.

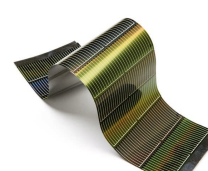


Figura 5- Célula CIGS.

A Tabela 1 apresenta a eficiência para cada uma das tecnologias apresentadas anteriormente além de outras mais recentes.

Tabela 1- Máxima Eficiência Fotovoltaica por Tecnologia.

Células	Eficiência da Célula η_z
Silício Monocristalino	25,0%
Silício Policristalino	20,4%
Silício Amorfo	16,7%
CdTe	16,7%
CIGS	19,6%
Arsenieto de gálio (GaAs)	27,6%
Nanocristalina sensibilizadas por corante	9,9%
Polímero orgânico	8,3%

Fonte: GREEN et al. 2010.

Existe atualmente uma série de ferramentas computacionais que permitem maiores estudos sobre o uso de painéis fotovoltaicos. Num estudo realizado por Gonçalves (2011), ao comparar os resultados das simulações computacionais realizados no software Português Solterm com estudos de caso realizados para o edifício Solar XXI e o Natura Towers ambos em Lisboa, verificou-se que se obtêm valores muito próximos da realidade. (Tabela 2) (GONÇALVES, 2011). É previsível uma discrepância entre as simulações e a realidade, porém, este tipo de ferramenta está cada vez mais próxima do realidade.

Tabela 2- Resultados obtidos por Gonçalves (2011).

Características	Natura Towers	Edifício Solar XXI	Solterm	
Área (m ²)	217,4	96,0	100,8	100,8
Tipo de células	Policristalina	Policristalina	Policristalina	Policristalina
Marca das células		BP 3160 S	BP 3160	BP 3160
Tipo de sistema	Autônomo	Ligado à rede	Autônomo	Ligado à rede
Produção (kwh/ano)	21925	12108	11776	11740
Produção (kwh/ano.m ²)	101	126	117	116

A literatura reporta que ao utilizar os painéis fotovoltaicos em planos inclinados, é maximizada a radiação solar absorvida e para isso o ideal é o painel ter uma inclinação aproximadamente igual à latitude do local. Deve também notar-se que no hemisfério norte os conversores fotovoltaicos devem ser orientados a sul (CASTRO, 2011). O presente trabalho é parte de uma pesquisa mais abrangente denominada: “Módulos de fachada para reabilitação eco-eficiente de edifícios em Portugal”, que incluiu dentre os componentes desenvolvidos, um

módulo fotovoltaico móvel (Sacht et. al, 2010; Sacht, 2010). Diante desses aspectos, realizou-se um estudo sobre uso de sistemas de fachadas que incorporam painéis fotovoltaicos para diferentes latitudes de Portugal e analisadas as características dos painéis mais eficientes.




2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho incluiu as seguintes etapas: Elaboração de critérios para o sistema fotovoltaico destinado à fachadas; execução de simulações de desempenho de geração energética e comparação dos resultados obtidos.

2.1. Critérios para o Sistema Fotovoltaico destinado à Fachadas

Para as simulações do módulo fotovoltaico foram consideradas, três cidades portuguesas, sendo: Bragança, Coimbra e Évora e orientação solar sul, ideal para este tipo de sistema em localidades do hemisfério norte. Foi considerado ainda o painel em duas posições, vertical e inclinado. O critério para seleção das cidades se centra na sua localização geográfica, principalmente a latitude, fator diretamente relacionado à radiação solar recebida e também nos valores de irradiação solar. A inclinação dos painéis varia por cidade, pois o programa permite executar uma otimização da inclinação que para Portugal, que geralmente está próxima aos 30°. A base de dados com que o SolTerm contém três únicos tipos de módulos fotovoltaicos que são certificados para utilização em Portugal, por isso, somente tais painéis foram utilizados nas simulações computacionais (Tabela 3).

Tabela 3- Painéis fotovoltaicos simulados.

Painel	BP 3160 	M75S 	KC167G-2 
Fabricante	BP Solar	Siemens	Kyocera
Tecnologia	Silício Policristalino	Silício Monocristalino	Silício Policristalino
Potência _{max} (W)	160	74.8	167
Tensão Nominal (V)	24.0	12.0	12.0
Tensão de Circuito Aberto(V)	44.2	22.0	28.9
Corrente (A)	4.55	4.40	7.20
Corrente de Curto-Circuito (A)	4.80	4.80	8.00
Eficiência (%)	12.7	-	16.0

2.2. Simulações de Desempenho de Geração Energética dos Módulos Fotovoltaicos

A análise do tipo de sistemas e células fotovoltaicas a utilizar no módulo fotovoltaico foi feita com base no programa SolTerm 5.0. A escolha do programa Solterm deve-se ao facto de constituir um programa, de uso obrigatório em Portugal pela legislação em vigor, ao quantificar-se a contribuição dos painéis solares para efeitos do “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios” (RCCTE, 2006). A legislação de Portugal refere explicitamente que este é o software que deve ser usado para esta finalidade.

2.2.1. SolTerm 5.0

O Solterm é um software de análise do desempenho de sistemas solares não gratuito, que foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG) na área da energia, especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal. Nestas simulações são usadas informações sobre: configuração/dimensionamento do sistema; estratégias de controle e operação; radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base

horária; obstruções e sombreamentos; características técnicas dos componentes e consumo do sistema em base horária média mensal (INETI, 2007) (Figura 6).

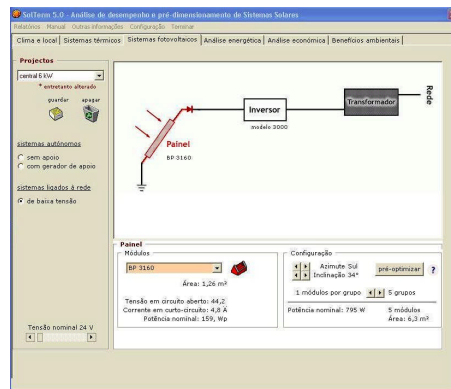


Figura 6- Exemplo da Interface do software Solterm.

3. RESULTADOS

Seguem abaixo os resultados das simulações computacionais para o módulo fotovoltaico, nas quais foram determinadas as soluções com melhor desempenho em termos de geração energética. Para um melhor entendimento do gráfico apresentado, 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.

Com base nos resultados observou-se que para todas as localidades analisadas, a maior geração energética foi observada para os painéis policristalinos Kyocera KC167G-2 e o BP 3160 com valores muito próximos (Figura 7). Para Bragança, o uso 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 apresentou geração energética 4,6 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado. Para Coimbra o incremento em termos de ganhos de energia com a inclinação dos painéis foi de 60,14% para o BP 3160; 56,07% para o Kyocera KC167G-2 e 63,52% para o Siemens M75S. Novamente a menor eficiência foi observada para o painel da Siemens M75S posicionado na vertical. Para Évora o incremento em termos de ganhos de energia com a inclinação dos painéis foi de 63,26% para o BP 3160; 56,22% para o Kyocera KC167G-2 e 68,46% para o Siemens M75S.

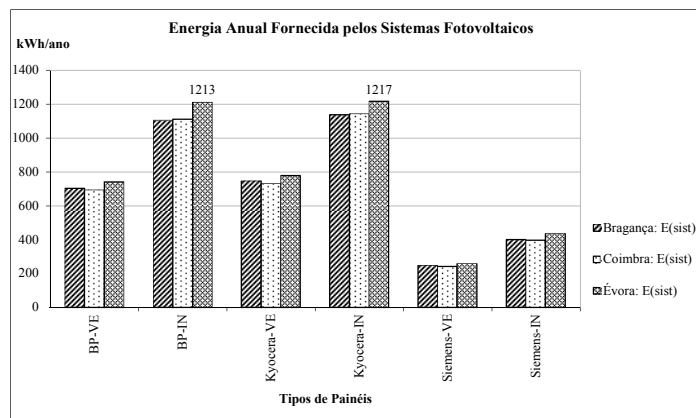


Figura 7- Energia Anual Fornecida pelos Sistemas.

Além dos dados de geração energética, observou-se nos resultados que o consumo de energia primária de origem fóssil evitado foi maior para o uso dos sistemas com uma inclinação otimizada. Os painéis com maior eficiência, apresentaram uma maior poupança no consumo de energia primária de origem fóssil (Figura 8). O mesmo ocorreu para a diminuição da emissão de gases com efeito estufa (Figura 9), onde as emissões são evitadas em maior quantidade para o uso dos sistemas com uma inclinação otimizada.

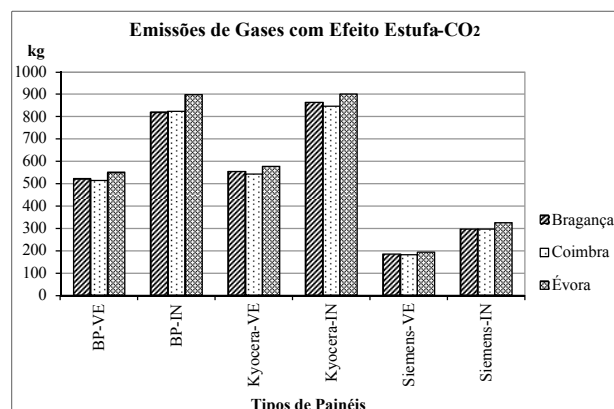
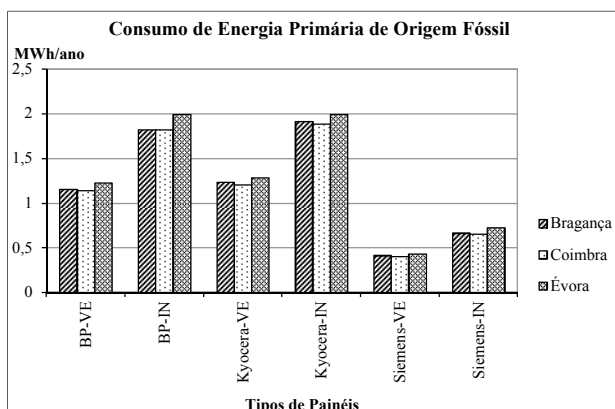


Figura 8- Consumo de energia primária de origem fóssil evitado com o uso do sistema.

Figura 9- Emissão de gases com efeito estufa.

Por meio dos resultados é possível observar 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. O Quadro 1 apresenta uma ordem 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 estão bem próximos.

Quadro 1- Ordem de Eficiência dos Sistemas Fovovoltaicos - Solterm

Ordem de Eficiência dos Sistemas Fovovoltaicos
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

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados observou-se que o uso do painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 (silício policristalino) indicou melhor desempenho dentre os demais, porém o desempenho do painel BP Solar BP 3160 (silício policristalino) foi bem próximo. A partir de uma análise geral, é possível perceber o incremento em termos de ganhos de energia para as simulações que consideraram os painéis inclinados, além disso, o consumo de energia primária de origem fóssil e a emissão de gases com efeito estufa são diminuídos. 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 dentre os tipos certificados no programa SolTerm para aplicação em Portugal. Neste caso, este tipo de módulo deve ser instalado na orientação solar sul (para o hemisfério norte) e orientação solar norte (para o hemisfério sul), como é o caso do Brasil e se possível ser móvel para aumentar a eficiência de captação. Apesar do uso corrente de painéis fotovoltaicos em fachadas considerar os mesmos posicionados na vertical, esse estudo apresenta a possibilidade de uso dos painéis inclinados devido ao fato de na pesquisa principal (SACHT, 2010) ter sido proposto um módulo fotovoltaico “girassol”, de forma a obter maior eficiência em termos de captação da radiação e conseqüentemente maior geração de energia elétrica. A mobilidade de um módulo fotovoltaico destinado à fachadas possibilitaria a busca pelas orientações solares sul, leste e oeste, para o caso de Portugal e norte, leste e oeste numa adaptação do sistema ao Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALTENER PROGRAMA COMUNITÁRIO GREENPRO. Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Projecto Europeu. 2004. [on line] [Consult. 05 Maio 2012] Disponível em: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>
- CASTRO, R. M. G. Introdução à Energia Fotovoltaica. [on line] [Consult. 05 Maio 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
- DECRETO-LEI N.º 80/2006 RCCTE: Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. Diário da República - Série I-A nº. 67. Lisboa: 4 de Abril 2006.
- DIRETIVA 2010/31/EU. Relativa ao desempenho energético dos edifícios (Reformulação). Jornal Oficial da União Europeia L 153 de 19 de Maio de 2010. 2010. p. 14-35.
- 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. Bragança, 2008.
- 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, 2011.
- GREEN. M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W. Solar cell efficiency tables (version 37). Progress in Photovoltaics: Research and Applications. John Wiley & Sons, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (INETI). Manual SolTerm versão 5.0. Lisboa, 2007.

RÜTTER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: Labsolar, 2004.

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. Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios. Plano de Tese - Programa Doutoral em Engenharia Civil, 2010.

THOMAS, R.; GRAINGER, T. Photovoltaics in Buildings: A Design Guide Report No ETSU S/P2/00282/REP. 1999.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Erasmus Mundus ISAC - *Improving Skills Across Continents* pelo apoio financeiro a esta pesquisa.