



ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE FACHADAS FOTOVOLTAICAS EM PORTUGAL

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

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, hmsacht@civil.uminho.pt

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, braganca@civil.uminho.pt

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:m Almeida@civil.uminho.pt)

(4) PhD, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo-IAU, USP São Carlos, rcaram@sc.usp.br
Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Física e Tecnologia das
Construções, Guimarães, Portugal, 4800 – 058.

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 (Porto, Lisboa e Faro) 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 Faro. 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 Faro 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. Foram definidas pela Comissão Europeia três grandes metas para serem alcançadas até 2020: economizar 20% no consumo anual de energia primária melhorando a eficiência energética, reduzir em 20% as emissões dos gases de efeito estufa e aumentar em 20% a utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Estes objetivos são conhecidos como “metas 20-20-20” e abrangem os setores de transportes, residencial, serviços, indústria e o Estado (DIRECTIVA 2010/31/EU, 2010).

Diante disso, o uso de painéis fotovoltaicos em fachadas surge como uma solução alternativa ao consumo de energias fósseis e pode contribuir para a estética do edifício, de acordo com a configuração planejada para o arranjo dos painéis e com as características arquitetônicas que se pretende adotar no edifício. 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 entre outros (SACHT, 2010). A Figura 1 e 2 apresentam o uso de painéis fotovoltaicos em fachadas no Edifício Solar XXI e no Edifício Natura Towers, ambos em Lisboa.



Figura 1 - Edifício Solar XXI (INETI, 2005).



Figura 2 - Edifício Natura Towers (SAPA SOLAR, 2009).

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 3). 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 4) (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 5).

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 6).

Outro sério competidor no mercado fotovoltaico, também em aplicações integradas a edificações é a família dos compostos baseados no disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2 , ou simplesmente CIS), e disseleneto de cobre, gálio e índio (Cu(InGa)Se_2 , 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 7).

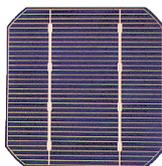


Figura 3- Célula Monocristalina.

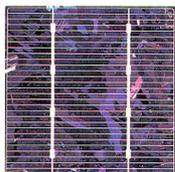


Figura 4- Célula Policristalina.



Figura 5- Célula Amorfa.

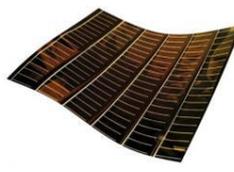


Figura 6- Célula CdTe.



Figura 7- 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).

Na Europa, a fachada fotovoltaica está entre as soluções utilizadas para ganhos em eficiência energética e desempenho ambiental das edificações. Existe essa tendência, já que mais do que envolver o edifício, esse tipo de fachada aproveita a radiação solar como energia, contribuindo para o melhor desempenho energético-ambiental das edificações. Um exemplo disso são algumas empresas (BASF, Bosch, Merck e Schott) que tem trabalhado com o apoio dos governos para incrementar o uso desse tipo de sistema em grandes áreas e desenvolver em grande escala, até 2015, películas transparentes e flexíveis, capazes de transformar luz em energia. A ideia é obter materiais que, diferentemente das rígidas células fotovoltaicas atuais possa ser curvado, enrolado e conformado e tenha alta performance. Em alguns casos, os painéis fotovoltaicos substituem os envidraçados das fachadas, os dispositivos de proteção solar e outros elementos dos edifícios, como é detalhado nos exemplos de utilização apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Soluções de Fachadas com Fotovoltaicos (SACHT, 2013 elaborado a partir de THOMAS & GRAINGER, 1999).

Soluções de Fachadas com Fotovoltaicos			
Exemplos	Posição dos Painéis	Tipo de Sistema	Características
	Vertical	Fachada cortina	É o mais utilizado, principalmente por ter menor custo. Os painéis podem ser utilizados em conjunto com materiais opacos e semitransparentes na fachada.
	Vertical	Proteção contra chuva	Esse tipo de fachada incorpora uma abertura para ventilação, na qual a vantagem é a liberação do calor. Esse mesmo espaço pode ser usado para passagem de cabos e instalações.
	Vertical e inclinado	Vidro ou Proteção contra chuva	Para esse tipo de utilização a eficiência dos painéis é melhorada, porém existe uma maior complexidade na execução da fachada. Os elementos podem funcionar como sombreadores, porém os painéis não devem ser sobrepostos.
	Inclinado	Envidraçado	É a solução mais aprimorada e permite uma maior eficiência quando comparado a painéis na posição vertical.
	Proteção solar fixa	Envidraçado	Pode ser interessante em termos arquitetônicos, porém confere uma perda da iluminação natural.
	Proteção solar móvel	Envidraçado	Também proporciona um aspecto interessante em termos de estética, mas pode propiciar uma diminuição da iluminação natural como no uso dos painéis como proteção fixa. O desempenho é superior se comparado a todos os sistemas fixos.

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; SACHT, 2013).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um estudo sobre uso de sistemas de fachadas que incorporam painéis fotovoltaicos para diferentes latitudes de Portugal (Porto, Lisboa e Faro) e analisar as características dos painéis mais eficientes, bem como a influência do seu posicionamento na geração energética.

3. MÉTODO

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

3.1. Critérios para o Sistema Fotovoltaico destinado à Fachadas

Para as simulações do módulo fotovoltaico foram consideradas, três cidades portuguesas, sendo: Porto, Lisboa e Faro 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

3.2 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.

3.2.1 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 8).

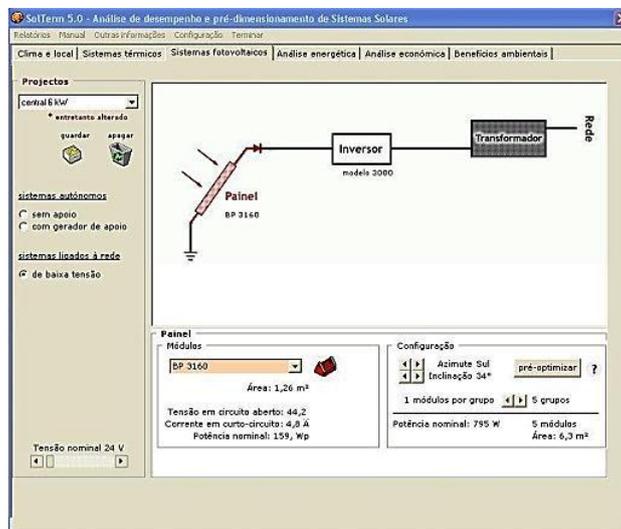


Figura 8 - Exemplo da Interface do software Solterm.

O programa permite simular uma variedade de configurações de sistemas solares, inclusive em termos de custo e de benefícios ambientais, porém em relação aos painéis fotovoltaicos, o banco de dados de painéis está restrito a três tipos que são certificados para uso em Portugal. No caso de sistemas fotovoltaicos, a interface do programa apresenta as seguintes colunas de valores mensais, bem como o valor anual (INETI, 2007):

- E (rad) – energia diária média na radiação solar global à face do painel fotovoltaico (kWh);
- E (pv) – energia diária média na radiação solar convertida pelos módulos do painel fotovoltaico (kWh).
- E (exc) – energia média diária que o painel fotovoltaico converte mas que o sistema tem de dissipar (kWh);
- E (sist) - (no caso de sistemas autónomos sem apoio ou ligados à rede) - energia diária média que o sistema fornece para consumo (kWh). Trata-se de energia final útil, efetivamente entregue;
- E (apoio) (apenas no caso de sistemas autónomos com apoio) - energia média diária fornecida para consumo pelo sistema de apoio, para complementar a energia fornecida pelo sistema solar (kWh);
- Carga – valor diário da energia solicitada para consumo (kWh).

4. ANÁLISE DE 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. Por fim apresenta-se a ideia desenvolvida para um módulo fotovoltaico móvel (“girassol”), destinado à fachadas, considerando um melhor desempenho para captação de energia.

4.1 Porto

Para o Porto, 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 9). 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.

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 indicam uma mesma geração energética até o mês de novembro.

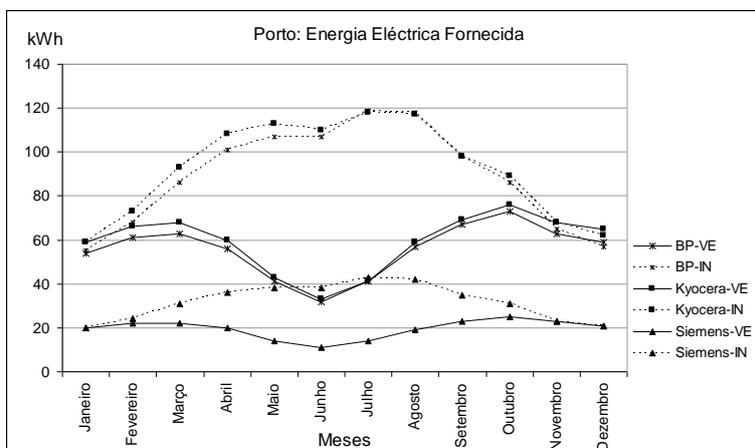


Figura 9 - Porto: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

4.2 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 10).

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.

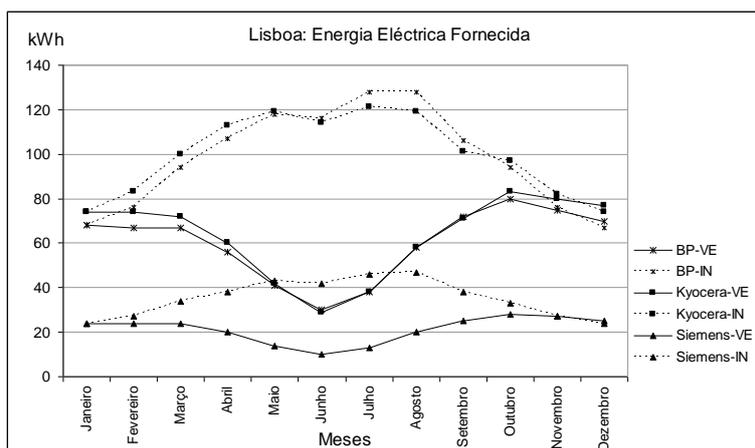


Figura 10 - Lisboa: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

4.3 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 11).

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. Novamente, com esses mesmos painéis posicionados na vertical, observa-se que para alguns meses a produção de energia alcança valores semelhantes.

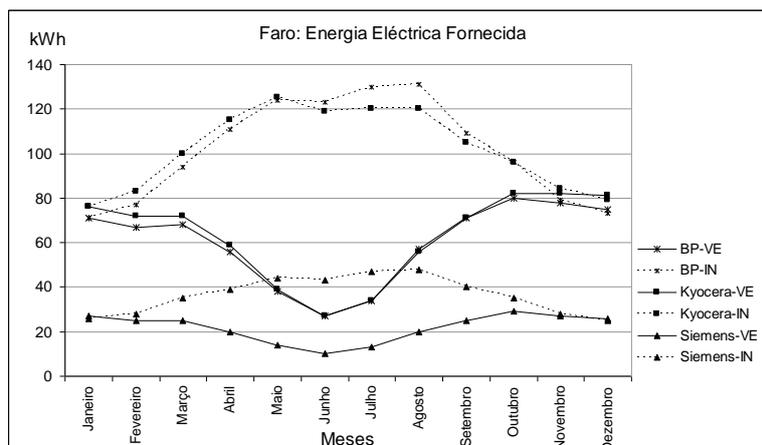


Figura 11 - Faro: Energia elétrica fornecida pelo sistema fotovoltaico.

4.4 Consumo de Energia Primária de Origem Fóssil e Emissões de Gases de Efeito Estufa Evitados

Além dos dados de geração energética, observou-se nos resultados das simulações 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 economia no consumo de energia primária de origem fóssil (Figura 12). O mesmo ocorreu para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (Figura 13), onde as emissões são evitadas em maior quantidade para o uso dos sistemas com uma inclinação otimizada.

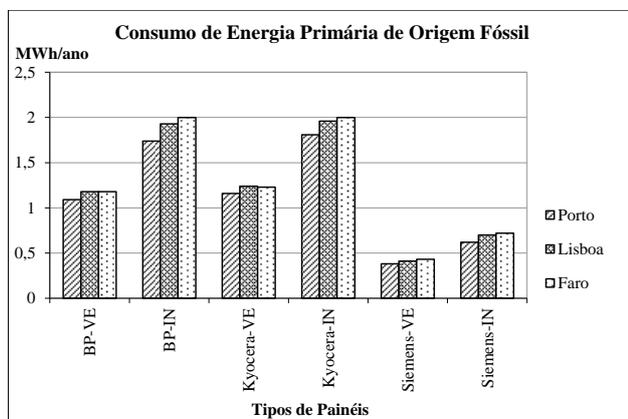


Figura 12 - Consumo de energia primária de origem fóssil evitado com o uso do sistema.

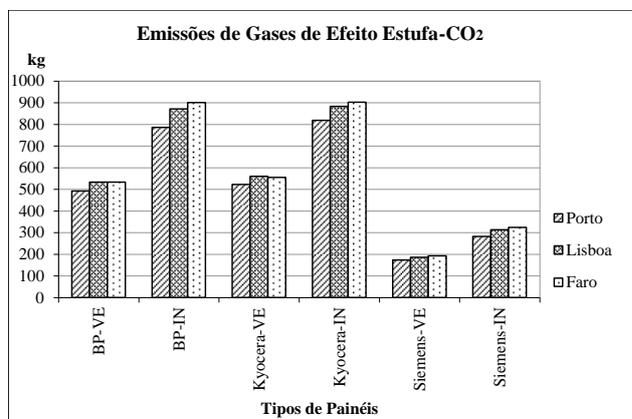


Figura 13 - Emissão de gases com efeito estufa.

4.5 Análise Geral

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 bem próximos (Figura 14). 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 em média 4,7 vezes inferior ao melhor desempenho que foi observado para o painel fotovoltaico Kyocera KC167G-2 inclinado.

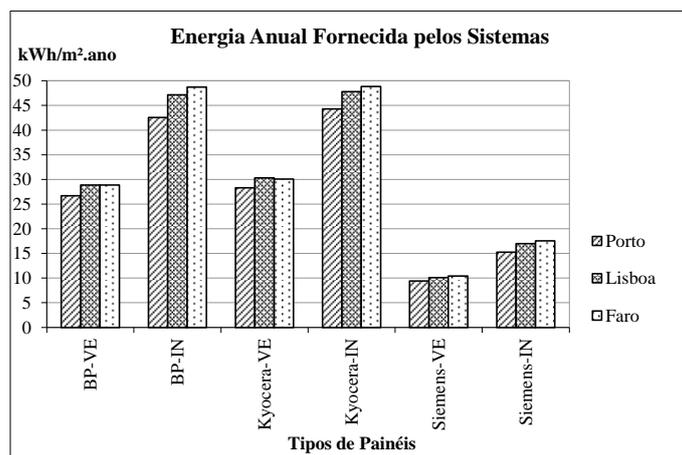


Figura 14 - Energia Anual Fornecida pelos Sistemas.

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 2 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 2- 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

4.5 Módulo Fotovoltaico “Girassol”

Após o estudo por meio de simulação computacional dos tipos de painéis certificados para Portugal e seu desempenho na geração energética foi proposto um módulo fotovoltaico “girassol” de forma a otimizar os ganhos solares e ser viável sua instalação em diferentes orientações solares, buscando a radiação solar (Figura 15) (SACHT, 2013). Por meio dessa mobilidade, o módulo possibilita a movimentação, tanto em torno de um eixo vertical quanto horizontal. Desta forma pode-se direcionar o módulo para a orientação solar sul, que é a melhor em termos de captação de radiação solar para Portugal (hemisfério norte) (Figura 16).



Figura 15 - Módulo Fotovoltaico.

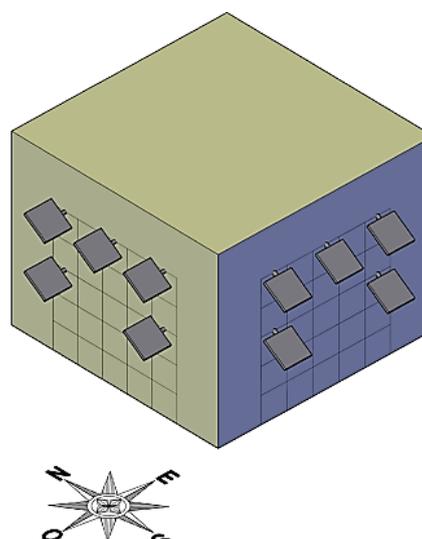


Figura 16 - Utilização dos módulos na busca pela orientação solar sul.

5. 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.

Como esperado e confirmado nos resultados para Faro, quanto mais ao sul a latitude da cidade (próximo à linha do Equador) maior será a geração energética. As regiões do sul recebem maior quantidade de radiação solar devido à menor inclinação dos raios solares.

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 da radiação solar. 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, 2013) ter sido proposto um módulo fotovoltaico “girassol”, de forma a obter maior eficiência em termos de captação da radiação e consequentemente maior geração de energia elétrica. A mobilidade de um módulo fotovoltaico destinado à fachadas possibilita 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.

Através da comparação dos resultados de simulação computacional com os valores de eficiência das células encontrados na literatura, verificou-se que a ferramenta computacional utilizada se apresenta viável para a análise da eficiência energética deste tipo de sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTENER PROGRAMA COMUNITÁRIO GREENPRO. **Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Projecto Europeu. 2004. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 25 Mar. 2013.
- CASTRO, R. M. G. **Introdução à Energia Fotovoltaica**. 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>. Acesso em: 25 Mar. 2013.
- 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.
- 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, Portugal, 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.
- _____. (INETI). **Edifício SOLAR XXI**: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal. Lisboa, Dez. 2005. Disponível em: <http://www.lneg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf>. Acesso em: 25 Mar. 2013.
- 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. (no prelo). **Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios**. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil). Universidade do Minho. Guimarães, Portugal: 2013.
- SAPA SOLAR. **Painéis fotovoltaicos Sapa iluminam Natura Towers em Lisboa**. 2009. Disponível em: <<http://www.sapagroup.com/pt/Company-sites/Sapa-Building-System-Portugal/Noticias/Paineis-fotovoltaicos-Sapa-iluminam-Natura-Towers-em-Lisboa/>>. Acesso em: 25 Mar. 2013.
- 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.