

Caixa para protecção de instalações fotovoltaicas

Soluções à medida de cada instalação para total segurança

Protecção para o lado AC e DC

Com ou sem Disjuntor / Interruptor

Ligação Plug & Play. Personalização com Logótipo e avisos de segurança



Weidmüller

dossier
solar de concentração

artigos técnicos
gestão de energia na Iluminação Pública
sistema de venda de energia eléctrica à rede
protecção de instalações fotovoltaicas
óleos de elevadas performances

especial sinerclima 2010
EXPOSALÃO promove 3.ª edição da SINERCLIMA

investigação e tecnologia
novas tecnologias fotovoltaicas - filmes finos

mundo académico
Projecto GreenIsland

o solar fotovoltaico de concentração



Nos próximos anos assistir-se-á a uma cada vez maior produção de energia eléctrica a partir de Energia Solar, nomeadamente a partir da conversão directa da energia solar em electricidade pelos sistemas fotovoltaicos.

António Joyce
Investigador Principal da Unidade de Energia Solar, Eólica e dos Oceanos do LNEG,
Professor Catedrático Convidado da Universidade de Évora
Vice Presidente da Sociedade Portuguesa de Energia Solar
antonio.joyce@neti.pt

A redução do custo de produção dos sistemas baseados na tecnologia do Silício, a utilização de sistemas da chamada segunda geração, baseados em películas finas e o aparecimento de sistemas baseados em células de alta eficiência, que podemos considerar de terceira geração, associadas a sistemas de Concentração vão tornar, a breve trecho, o fotovoltaico competitivo com outras formas de produção de energia eléctrica. Os valores do custo do kWh produzido por estes sistemas aproximam-se, já, nos países do Sul da Europa, do custo da electricidade em baixa tensão ao consumidor final o que se traduz pela chamada "paridade com a rede".

Recentemente o Governo Português lançou um concurso para instalação de novas centrais fotovoltaicas de concentração de 1 MW de potência em que é dada a tónica da ligação destes projectos a entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional.

Deste modo faz todo o sentido que neste primeiro número da Revista "renováveis magazine" se aborde o tema específico da tecnologia Solar Fotovoltaica de Concentração, que na terminologia inglesa é referida como CPV (Concentration Photovoltaics).

1. Introdução

Os sistemas fotovoltaicos de concentração (CPV) utilizam espelhos ou lentes para concentrar a radiação solar em células fotovoltaicas. O objectivo é baixar o custo da produção da electricidade destes sistemas ao substituir área de células ou de módulos fotovoltaicos, em geral de custo elevado, por ópticas de concentração de menor custo.

São sistemas que podem atingir eficiências superiores a 25 % na produção de electricidade a partir de Energia Solar, e atingir valores da ordem dos 75 % de eficiência global se também se tiver em conta o aproveitamento da energia térmica dissipada nas células.

Dado que funcionam tipicamente com a radiação que provém directamente do disco Solar (radiação directa) são particularmente indicados para zonas da Terra onde a intensidade média da irradiação solar directa seja elevada. Portugal, de um modo geral, e muito em particular a zona Sul do País, está entre as zonas de maior interesse a nível mundial para a utilização desta tecnologia.

Recorre-se a ópticas que podem ser de baixa concentração, tipicamente até concentra-

ções de 20 x (ou também 20 Sois), sendo neste caso utilizados módulos idênticos aos utilizados em sistemas sem concentração, ou a sistemas ópticos de muito alta concentração (High Concentration Photovoltaics - HCPV), tipicamente superior a 500 x, mas em conjunto com células fotovoltaicas de alta eficiência, idênticas às que se utilizam na tecnologia espacial.

As ópticas de baixa concentração ou são instaladas em sistemas estacionários ou requerem algum seguimento do movimento aparente do Sol, mas não necessariamente muito preciso. Por outro lado nos sistemas de muito alta concentração torna-se imperioso o seguimento quer em azimute quer em altura do Sol (seguimento a 2 eixos), e com uma precisão muito elevada.

Estas ópticas ou são conseguidas à custa de espelhos (reflexão da luz), em geral parabólicos, ou de lentes (refracção da luz) de Fresnel para que a espessura da lente em altas concentrações seja pequena.

Do ponto de vista das células podem utilizar-se diferentes tecnologias, como a do silício cristalino, a tecnologia das películas finas

e outras. É no entanto nas células de alta eficiência, que aproveitam da melhor forma o espectro solar, que está, actualmente, a grande aposta dos sistemas de alta concentração.

Os sistemas de seguimento do movimento aparente do Sol para os sistemas de alta concentração são sofisticados, quer do ponto de vista do projecto mecânico quer do ponto de vista do controlo electrónico.

A electrónica de potência associada é semelhante à dos sistemas fotovoltaicos sem concentração havendo, contudo, que ter em conta o facto de ter que trabalhar com um sistema fotovoltaico que pode muito rapidamente passar da potência máxima à potência zero com a simples passagem de uma nuvem.

Em sistemas de produção centralizada, associados à utilização de alta concentração, a ocupação típica do terreno é da ordem de 4 ha por MW.

Estas tecnologias, em desenvolvimento desde os anos 80 do século passado, começam a ter uma maior utilização e são uma das grandes apostas para trazer o custo do fotovoltaico para valores próximos ou mesmo abaixo da "paridade" com a rede. O nosso país encontra-se muito bem posicionado para o desenvolvimento e aplicação desta tecnologia não só pelo recurso solar que possui mas também pela experiência, capacidade e conhecimento em áreas como a indústria de moldes para fabricação das lentes, a indústria metalomecânica necessária para os sistemas de seguimento, a indústria de electrónica de potência e a área dos sistemas de controlo. O envolvimento das entidades do Sistema Científico e Tecnológico nacional neste desenvolvimento é fundamental, quer na procura de soluções inovadoras ao nível da óptica, da mecânica, da electrónica e dos materiais a utilizar quer na própria qualificação e certificação de um mercado que vai ser crescente nestas tecnologias.

2. As Tecnologias

O mercado mundial dos sistemas CPV apresenta uma oferta importante de tecnologias, algumas já com uma grande maturação e com um considerável número de aplicações,

fundamentalmente de produção centralizada de energia eléctrica, e outras ainda em desenvolvimento e a tentarem impor-se em alguns nichos de aplicação como por exemplo a integração em edifícios ou a micro geração. Na Tabela anexa, obtida a partir de websites disponíveis na Internet, e a título meramente informativo, apresenta-se uma síntese das principais características dos diferentes sistemas. Nos parágrafos que se seguem abordamos as principais características diferenciadoras destas tecnologias nomeadamente os aspectos, da óptica de concentração, do sistema de seguimento e do tipo de células ou módulos utilizados.

Tipo de óptica

Concentração solar significa basicamente colocar a radiação num receptor que será verdadeiramente a célula fotovoltaica e que é muito menor que a área de abertura ou de entrada da radiação (ver Figura 1). O sistema óptico a utilizar, aqui simbolizado por uma caixa a tracejado, terá que fazer com que a radiação que entra pela abertura (rectângulo a azul) seja colocada de uma forma eficiente (com poucas perdas) no receptor onde será colocada a célula fotovoltaica (rectângulo a vermelho).

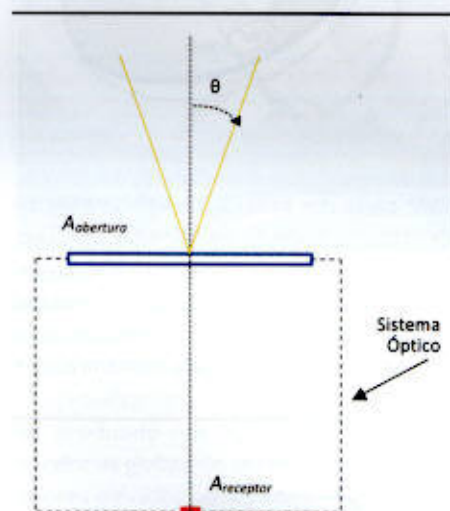


Figura 1 Esquema de concentração

Define-se concentração C , como o quociente entre a área de abertura à radiação solar e a área do receptor;

$$C = \frac{A_{abertura}}{A_{receptor}}$$

Para uma dada óptica a concentração máxima que se pode obter está ligada ao semi-ângulo de aceitação da radiação solar θ .

Pode demonstrar-se que para geometrias tridimensionais, a relação entre a concentração máxima que se pode obter e o semi-ângulo de aceitação θ é a expressa abaixo:

$$C_{max} = \frac{n^2}{\sin^2\theta}$$

onde n é o índice de refração do meio onde se encontra o sistema receptor.

Desta equação podem extrair-se várias conclusões, nomeadamente:

- Para obter concentrações elevadas os ângulos de aceitação terão de ser pequenos, pelo que o sistema óptico terá que seguir o movimento aparente do Sol.
- Pode aumentar-se a concentração utilizando meios ópticos com índices de refração elevados.
- A concentração máxima que é possível obter para a radiação solar tendo em vista o ângulo mínimo de aceitação para a Geometria Sol-Terra ($0,25^\circ$) é de cerca de 500.000.

Do ponto de vista da óptica dos sistemas fotovoltaicos de concentração são várias as opções disponíveis, mas basicamente podem distinguir-se três processos:

- Sistemas ópticos de baixa concentração utilizados normalmente com módulos fotovoltaicos convencionais. São normalmente constituídos por reflectores planos que redireccionam a radiação sobre os módulos. Na Figura 2 apresenta-se um sistema de baixa concentração desenvolvido e comercializado em Portugal.
- Sistemas ópticos de reflexão que utilizam espelhos, geralmente do tipo parabólico, que reflectem a radiação incidente para o foco que pode ser pontual, no caso dos parabolóides de revolução, ou linear no caso de parábolas bidimensionais. São constituídos tipicamente por estruturas metálicas com espelhos reflectores em alumínio e vidro. A maior parte das vezes a concentração não é obtida num só reflector existindo um conjunto de reflectores secundários e até terciários, que reflectem a radiação até à zona da célula. Em alguns casos o concentrador final é do tipo CPC

O SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONCENTRAÇÃO

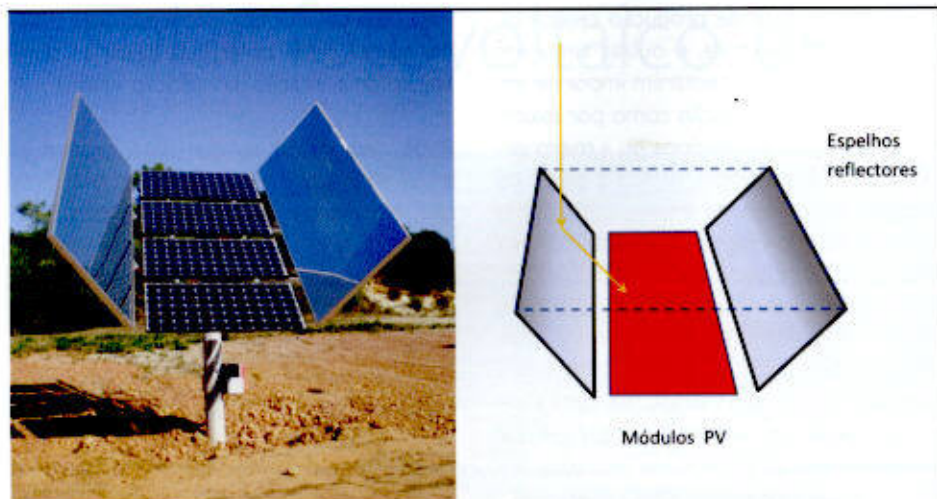


Figura 2 Sistema fotovoltaico de baixa concentração da WS Energia, (C=2) | (foto cedida pela WS Energia)

a uniformidade da distribuição da radiação sobre as células solares é, em geral, obtida com recurso a ópticas secundárias. Em geral o sistema óptico e a célula formam uma caixa fechada. Na Figura 4 pode ver-se um exemplo de uma óptica deste tipo de um fabricante nacional destes sistemas:

Tipo de células

Em sistemas de baixa concentração podem utilizar-se células ou módulos das tecnologias do silício cristalino ou mesmo de películas finas. Nos sistemas de muito alta concentração utilizam-se, em geral, células de alta eficiência, capazes de suportar não só os fluxos elevados de radiação incidente, mas também as elevadas temperaturas envolvidas. Estas células baseadas em multi-junção e constituídas por elementos dos grupos III e V da Tabela Periódica, permitem aproveitar melhor todo o espectro da radiação incidente. Inicialmente este tipo de células foi concebido para utilizações espaciais e são basicamente feitas à base de Junções de Arsenieto de Gálio, de Índio e de Germânio permitindo, já hoje, em células comerciais, eficiências acima dos 36%. Recentemente foi anunciado por um dos grandes fabricantes mundiais de células de multi-junção (a Spectrolab associada ao grupo Boeing) a obtenção em laboratório de uma eficiência de 41,6%, que constitui o actual recorde de eficiência. Por outro lado espera-se que estas células venham a evoluir nos próximos anos e que eficiências da ordem dos 50% possam ser atingidas.

(Compound Parabolic Concentrator) que permite atingir o máximo de concentração para um determinado ângulo de aceitação da radiação. Na Figura 3 mostra-se um exemplo típico de um sistema óptico baseado em reflexão.



Figura 3 Óptica do tipo Reflexão utilizada na tecnologia Solfocus (C=650) | (foto do autor)

- Sistemas ópticos baseados em lentes, que, na maior parte dos sistemas de CPV comercializados, assumem a configuração de Fresnel para se obterem lentes de menor espessura. Também aqui se podem ter ou focos pontuais e as lentes têm simetria circular em torno do seu eixo, ou focos lineares em que a lente tem uma geometria tipicamente rectangular. O material de fabrico destas lentes é tipicamente o PMM (Poli Metil Metacrilato) pela sua leveza, embora seja também utilizado o vidro dado que tem maior durabilidade. A elevada concentração e

O seu custo é, porém, muito elevado e por isso são utilizadas as elevadas concentrações para que a área de célula seja pequena, tipicamente 1 cm x 1 cm.

Tipo de sistemas de seguimento

Os sistemas de concentração podem ser estacionários mas, de acordo, com a expressão da concentração máxima acima referida a concentração estará, nestes casos, limitada a valores relativamente baixos, até cerca de 3 a 4 vezes. Para concentrações superiores torna-se necessário algum tipo de seguimento do movimento aparente do Sol, e no caso particular de concentrações elevadas, tipicamente acima de 500 x, como as que são hoje praticadas nos grandes sistemas comerciais, torna-se imperioso ter um sistema de seguimento com elevado grau de precisão. Para sistemas em

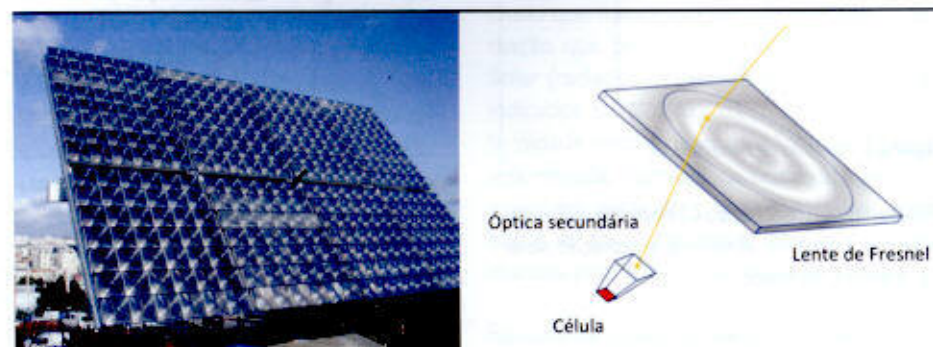


Figura 4 Óptica do tipo Lente de Fresnel utilizada na tecnologia magpower | (foto do autor)

que a óptica concentra a radiação num foco linear bastará o seguimento a um eixo mas na maior parte dos casos, em que a óptica tem um foco pontual, é necessário um seguimento a dois eixos (azimute e altura do Sol). Efectivamente para este tipo de sistemas de alta concentração com células de pequena dimensão, como as referidas anteriormente, qualquer falha no sistema de seguimento significa não só perda de potência, mas incidência de uma intensidade de radiação muito elevada em zonas da estrutura do sistema que poderão danificá-la devido às elevadas temperaturas que pontualmente se podem obter.

Em termos do sistema mecânico de seguimento várias soluções estão disponíveis no mercado desde o mais tradicional pedestal ou poste que suporta uma estrutura plana que é possível orientar à radiação solar directa como se mostra na Figura 5; que tendo a vantagem de ser relativamente simples apresenta o problema de expor uma



Figura 5 Sistema de seguimento do tipo pedestal | (foto do autor).

superfície grande à influência do vento, até soluções mais ou menos engenhosas e/ou complexas que colocam a óptica reflectora primária, de maior dimensão, em estruturas junto ao solo do tipo mesa giratória e portanto menos influenciadas pelo vento e com a óptica secundária e as células fotovoltaicas instaladas em receptores em estruturas, essas sim, elevadas como se vê na Figura 6.

A produção simultânea de Electricidade e Calor

A concentração da radiação solar sobre as células dá origem a temperaturas elevadas que podem afectar a eficiência das mesmas, embora no caso das células de junção



Figura 6 Sistema de seguimento do tipo mesa giratória | (foto extraído do website da Power SPAR).

múltipla esta influência seja menor do que a observada nas células de silício. Desta forma torna-se necessário extrair calor das células. Em geral esta extracção é feita directamente para o meio ambiente através da utilização de dissipadores térmicos construídos tipicamente em alumínio. No entanto, esta energia pode ser utilizada existindo sistemas de CPV que claramente apostam nesta cogeração. Na Figura 7 mostra-se um destes sistemas.



Figura 7 Sistema de CPV com possibilidade de aproveitamento da energia térmica | (foto extraído do website da Zenith Solar)

O aproveitamento da electricidade e do calor produzido nos sistemas CPV conduz a eficiências globais do sistema que podem ter valores elevados superiores a 75 %.

3. A Qualificação do mercado (normalização e certificação)

Portugal dispõe de uma Comissão Técnica de Normalização para os sistemas Fotovoltaicos, a CTE 82, que segue os trabalhos que, a este nível, se desenvolvem internacionalmente nomeadamente os da Comissão

Electrotécnica Internacional (IEC - International Electrotechnic Commission) e da sua Comissão específica para a área, a TC82. No âmbito da TC 82 e tendo em conta o desenvolvimento dos sistemas de CPV, o seu interesse e a sua introdução crescente no mercado foi desenvolvida e aprovada em 2007 a norma de ensaio IEC 62108 de sistemas fotovoltaicos de concentração. Esta norma especifica as condições normalizadas de ensaio de sistemas fotovoltaicos de concentração (CSTC - Concentration Standard Test Conditions) que são uma irradiância directa normal (DNI - Direct Normal Irradiation) de 900 W/m^2 e uma temperatura da célula de 25° C , estando ainda a ser considerada a questão da normalização do tipo de espectro Solar, podendo vir a ser considerado o espectro de radiação directa AM1.5D.

São, no entanto, ainda poucas as instituições a nível Europeu, acreditadas para esta norma podendo referir-se entre outras o ISFOC de Espanha.

Tendo em conta que Portugal tem um importante potencial para aplicação destes sistemas torna-se necessário desenvolver as condições para implementar um Laboratório Acreditado neste domínio, com capacidade para implementar, entre outros, os procedimentos da norma IEC 62108.

4. Os desafios tecnológicos

Os desafios tecnológicos na área dos sistemas de concentração fotovoltaicos são vários, quer ao nível do desenho de novos sistemas ópticos, quer ao nível dos sistemas de seguimento, quer no que se refere às células e de um modo geral aos materiais utilizados e ao aproveitamento simultâneo de electricidade e calor. A título de exemplo consideram-se duas vias já em curso:

- 1) Apostar no desenvolvimento de sistemas com ópticas estacionárias ou quase estacionárias com custos baixos de fabricação e de manutenção, particularmente indicados para utilizações do tipo microgeração ou integração em edifícios e com produção conjunta de electricidade e calor. Pode utilizar-se a óptica não produtora de imagem do tipo CPC simétrica ou assimétrica, em conjunto com módulos com

O SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONCENTRAÇÃO

	Exemplo	Óptica de concentração	Porência sistema [kW]	Concentração	Tipo de células	Seguimento	Eficiência (módulo/sistema)	Empresa	Website
Sistemas de Baixa Concentração		Óptica de reflexão (espelhos planos)	1 a 25 1,4 e 1,6 1,5	3 1,85 1,5 - 2,2	silício silício silício	um eixo dois eixos dois eixos	17% / 15% 12% / 11,2% 14% / 10%	jkcrystals WS Energia Abengoa Solar SA	www.jkcrystals.com www.ws-energia.com www.abengoasolar.com
		Película holográfica	-	3	silício	não possui	14% / 18,7%	Prism Solar Technologies Inc.	www.prismsolar.com
		Colimador (múltiplas reflexões)	1 a 25	20	Multi-junção III - V	dois eixos	-	Entech Solar Inc.	www.entechsolar.com
		Óptica de refração (lentes)	0,1 a 33	1,6 - 120	III - V silício	dois eixos dois eixos	- 17% / -	Sungji Zytech Solar Inc.	www.sungji.com www.zytech.es
Sistemas de Muito Alta Concentração		Óptica de reflexão (espelhos parabólicos)	35	1000 500	Multi-junção III - V	dois eixos	75% (com calor) 35%	Zenith Solar Solar Systems Pty Ltd	www.zenithsolar.com www.solarsystems.com.au
		Óptica de reflexão (espelhos parabólicos)	8,5	500	Multi-junção III - V	dois eixos	25 / 23%	Solfocus Inc.	www.solfocus.com
		Óptica de reflexão (múltiplos espelhos)	7 a 26	1450	Multi-junção III - V	dois eixos	26,4% / 23,2%	Menova Energy Inc.	www.power-spar.com
		Óptica de reflexão (espelhos parabólicos)	1	400	Multi-junção III - V	dois eixos	30%	Cool Earth Solar Inc.	www.cool earthsolar.com
		Óptica de refração (lentes)	3,75	500	III - V	dois eixos	26% / 28%	Opel Inc.	www.opelinc.com
	2,9		700	III - V	dois eixos	-	-	Sharp Corp.	www.sharp.co.jp
	2		600	III - V	dois eixos	24 / 22,7%	Sol3g SL	www.sol3g.com	
	-		470	III - V	dois eixos	-	Telicom Srl	www.telicom.it	
	25		400	silício	dois eixos	18% / 16%	Amonix Inc.	www.amonix.com	
	< 3		476	III - V	dois eixos	25% / -	Anima Eco Energy Tech.	www.animaeco.com	
5,75 a	385		III - V	dois eixos	27% / 23,5%	Concentrix Solar GmbH	www.concentrix-solar.de		
13,8	-		III - V	dois eixos	28,5% / -	Greenvolts	www.greenvolts.com		
3	550		III - V	dois eixos	26% / 22%	Daido Steel Co. Ltd.	www.daido.co.jp		
2,4 a 14	470		III - V	dois eixos	26% / 23%	Delta Electronics Inc.	www.deltaww.com		
1,5 a 7,5	500	III - V	dois eixos	- / 27%	Emcore Corporation	www.emcore.com			
25	1440	III - V	dois eixos	28,8%/23-25%	Energy Innovations	www.energyinnovations.com			
2,5	>300	III - V	dois eixos	>20% / -	Enfocus Engineer Copr.	www.enfocus.us			
-	1370	III - V	dois eixos	34% / 28%	Greend and Gold Energy	www.greanandgoldenergy.com.au			
0,334	400	silício	dois eixos	18% / 16%	Guascor Foton SL	www.guascorfoton.com			
25	476	III - V	dois eixos	23-25% / 20-22%	INER	www.iner.gov.tw			
1,5 a 7,5	1100	III - V	dois eixos	25% / 23%	Isofotón	www.iner.gov.tw			
	Óptica de reflexão total	15 a 45	1000	III - V	dois eixos	24% / 28%	Morgan Solar Inc.	www.morgansolar.com	

Características de alguns sistemas CPV existentes no mercado

tecnologia fotovoltaica da 1.ª geração (silício cristalino) ou da 2.ª geração (películas finas), como no exemplo da Figura 8 onde se mostra um sistema estacionário de baixa concentração em desenvolvimento no LNEG, ou ópticas de reflexão total onde a energia solar incidente numa superfície é, como num guia de ondas, direccionada para os topos dessa superfície, onde células de alta eficiência convertem a energia solar em electricidade.



Figura 8 Sistema estacionário de concentração fotovoltaica com concentrador CPC assimétrico (INET/LNEG) | (foto INET).

- 2) Continuar o desenvolvimento de sistemas de muito alta concentração com células de alta eficiência e sistemas de seguimento muito precisos, vocacionados para a produção centralizada de energia eléctrica. Pode considerar-se, aqui também, o aproveitamento do calor que é necessário dissipar nas células o que pode dar origem a sistemas de produção centralizada de calor e frio, com distribuição do tipo District Heating.

5. Conclusão

A tecnologia CPV é, a par do desenvolvimento das técnicas de produção dos sistemas da 1.ª e 2.ª gerações do fotovoltaico, uma das vias promissoras para baixar o custo da electricidade fotovoltaica, tornando esse custo competitivo com outras formas

de produção de energia eléctrica. Portugal tem condições quer de recurso quer de conhecimento, e de capacidade industrial para apostar no desenvolvimento desta tecnologia energética de baixo impacto ambiental e com um forte potencial de exportação. [m](#)

Referências

- Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Editado por António Luque e Steven Hegedus para a Wiley (2005)
- "IEC 62108 Ed.1: Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies - Design qualification and type approval"
- Despacho 18838/2009 do Sr. Director Geral de Energia e Geologia de 6 de Agosto de 2009.
- Consulta de vários Sites sobre CPV entre os quais os dos seguintes fabricantes:
Amonix | www.amonix.com
Concentrix | www.concentrix-solar.de
Emcore | www.emcore.com/solar_photovoltaics
Opel | www.opelinc.com
Solfocus | www.solfocus.com
WS Energy | www.ws-energia.com
Zenith Solar | www.zenithsolar.com



alfasolar[®]
Innovative Solar Systems

alfasolar, porque a experiência é importante

Como não poderíamos melhorar os nossos módulos, melhoramos a nossa equipa

Após 16 anos no campo da energia solar como fornecedor e fabricante de componentes fotovoltaicos, alfasolar GmbH oferece agora uma assistência personalizada através dos seus projectistas, aconselhe-se com a nossa equipa ou deixe o seu projecto nas nossas mãos, porque na alfasolar, nós trabalhamos por você!

Contato: +49 (0)511 / 261 447-19
export@alfasolar.de

www.alfasolar.de