

há uma revolução no solar fotovoltaico?



António Joyce
Investigador Principal
da Unidade de Energia
Solar do LNEG

Os sistemas fotovoltaicos caracterizando-se por serem modulares, não disporem de partes móveis, e não produzem ruído nem emissões durante o seu funcionamento, tiveram as suas primeiras aplicações, há cerca de 60 anos, no domínio espacial. O seu custo era, na altura, praticamente proibitivo para as aplicações terrestres.

Só nos anos setenta do século passado e com a crise dos combustíveis fósseis se começaram a ver as primeiras aplicações terrestres do fotovoltaico em aplicações autónomas, desligadas da rede para locais onde era quase impossível o acesso da rede elétrica e onde também era difícil fazer chegar combustíveis para alimentar geradores elétricos. A conversão fotovoltaica era ainda associada a um pequeno nicho de mercado e o seu custo continuava elevado.

Na sequência de fortes apoios de diferentes governos e também da União Europeia no final dos anos 80 e durante toda a era de 90 do século passado, as aplicações ligadas à rede elétrica e, em geral, associadas à integração em edifícios como, por exemplo, o caso do programa alemão dos 100 000 telhados fotovoltaicos, começaram a ter expressão.

Mas foi só em meados da primeira década deste século que sistemas fotovoltaicos de grande dimensão (tipicamente superiores a 1 MW) começaram a ser instalados beneficiando também do forte apoio a nível Europeu através das tarifas bonificadas de fornecimento de energia elétrica proveniente de Fontes Renováveis. Este mecanismo de suporte ficou designado por *Feed in Tariffs* (FIT). Em geral, quase todos os países da União Europeia, com a Alemanha à cabeça, tiveram esquemas de incentivo deste tipo, com objetivos específicos de instalação de sistemas fotovoltaicos mais ou menos ambiciosos e que contribuíram para sedimentar um mercado importante em torno desta tecnologia.

Paralelamente a entrada neste mercado de países com economias de grande crescimento como, por exemplo, a China e a Índia colocaram o mercado do solar fotovoltaico como um dos mais prometedores em termos da produção de eletricidade nesta primeira metade da segunda década deste século.

A tecnologia de conversão dominante era e continua a ser a das células de silício cristalino mas, quer as tecnologias de películas finas, quer as novas tecnologias emergentes, com soluções verdadeiramente inovadoras, posicionam-se para terem contribuições importantes nomeadamente ao nível da produção distribuída e da integração de energias renováveis nos edifícios.

Coloca-se então a questão: "Há uma revolução no Fotovoltaico?". Será que essa revolução é inerente à tecnologia em si ou na sua base estão questões económicas ou até questões ambientais? A resposta é clara: Sim. Há uma verdadeira revolução no setor do Fotovoltaico

e todos os fatores, o tecnológico e também os associados a aspetos de sustentabilidade contribuem para que esta tecnologia se posicione como uma das mais importantes tecnologias de produção de energia elétrica por via renovável.

Nos próximos parágrafos tentaremos justificar esta afirmação.

1. A Tecnologia

A tecnologia que tem dominado o mercado, desde o início, é a tecnologia do silício cristalino (c-Si) com eficiências que hoje rondam os 20%. Muito do abaixamento do custo global do fotovoltaico a que hoje se assiste tem estado ligado, quer à diminuição dos custos de produção no mercado mundial do silício ultra puro (99,999%) necessário para a produção de células fotovoltaicas, quer à utilização de menos silício ultra puro por célula através da redução da espessura das mesmas, quer ainda ao aparecimento de unidades fabris integradas de grande dimensão, com produções acima de 1 GW de módulos fotovoltaicos por ano.

Seguramente a tecnologia do silício cristalino utilizando um material de base que é abundante, a sílica (Dióxido de Silício), é bem conhecida e muita da evolução do mercado fotovoltaico nos próximos anos será ainda assegurada por esta tecnologia. No entanto, uma coisa é certa, as células de silício cristalino necessitam de obter silício de elevado grau de pureza a partir da sílica e isto traduz-se em consumos energéticos e de reagentes químicos que são relevantes. Acresce o facto dos contactos metálicos associados a esta tecnologia serem em prata o que coloca um problema adicional do custo e da eventual escassez daquele metal nobre.

Deste modo existe hoje toda uma fileira de investigação que visa a diminuição dos custos de produção de células, que tem em conta critérios de maior sustentabilidade ou seja utilização de menos material de base, utilização de materiais alternativos igualmente abundantes, processos de fabrico com menor impacto ambiental e menor consumo energético no fabrico.

As tecnologias de películas finas foram uma primeira aposta neste sentido e, de espessuras de células da ordem dos 200 microns (1/5 do milímetro), passou-se para células com espessuras da ordem de muito poucos microns (1 a 5 microns ou seja 1/1000 a 1/200 do milímetro) e em que os contactos metálicos ao nível superior da célula deixaram de ser de prata e passaram a ser de óxidos transparentes condutores (TCO - *Transparent Conductive Oxides*). As tecnologias de fabrico passaram a ser basicamente apoiadas em deposições de películas finas em sistemas de vácuo, ainda com algum consumo energético relevante, sobre substratos rígidos (tipicamente vidro). Alguns dos materiais utilizados não são, contudo, abundantes e outros

As células de silício cristalino necessitam de obter silício de elevado grau de pureza a partir da sílica e isto traduz-se em consumos energéticos e de reagentes químicos que são relevantes.

apresentam restrições ambientais importantes como, por exemplo, a utilização do Cádmio em algumas destas tecnologias.

O aparecimento de novos conceitos e novas tecnologias emergentes associados à conversão fotovoltaica nomeadamente através de novas células, já não associadas apenas a uma única junção *pn*, como no caso da tecnologia clássica do silício cristalino, mas sim a várias junções (células multijunção) permitiu um maior aproveitamento do espetro solar e, conseqüentemente, maiores eficiências globais com valores que atingem hoje os 45%. Estas células, em geral, têm custos muito elevados pelo que a sua utilização é feita associada a sistemas de concentração (CPV).

Recentemente tem-se assistido ao desenvolvimento de células com junções constituídas por materiais distintos (heterojunções) e em que se procura, não só utilizar materiais orgânicos e inorgânicos mais abundantes, mas também desenvolver processos que permitam um melhor aproveitamento da radiação solar, quer no aspeto espectral, quer no aspeto de distribuição angular, pelo recurso à chamada "Photonics" e às Nanotecnologias. Estão neste grupo de tecnologias as células orgânicas e as células excitadas por pigmentos (DSSC – *Dye Sensitized Solar Cells*) ou ainda as células inorgânicas do tipo CZTS (Cobre, Zinco, Estanho e Enxofre ou Selénio). A integração nos edifícios permitindo células e módulos mais adequados às fachadas e coberturas dos edifícios, eventualmente sobre substratos flexíveis com alguma transparência é também um dos objetivos destes novos conceitos. Acresce que a utilização de processos de fabrico, muito menos consumidores de energia, e de muito baixo custo em termos de equipamentos e de linhas de montagem, como por exemplo as técnicas de *spin coating* ou a sinterização vai traduzir-se numa maior sustentabilidade do processo. Aqui estamos perante uma verdadeira revolução nas tecnologias de conversão fotovoltaica. Um dos avanços recentes neste domínio é a utilização de materiais sintetizados com base em precursores abundantes e com a estrutura das chamadas Perovskites, com eficiências já comprovadas acima de 15% e com grandes espetativas de aumento.

Na Figura 1 mostra-se um equipamento de *spin coating* e células DSSC desenvolvidas no LNEG.

Além das tecnologias de conversão fotovoltaica e tendo em vista a integração de sistemas fotovoltaicos nos edifícios começa também a ter interesse o desenvolvimento de módulos solares multifuncionais que envolvam, por exemplo, o funcionamento como revestimento de edifícios, ou a produção, no mesmo módulo, de eletricidade e de calor



Figura 1 Células do tipo DSSC por *spin coating* (LNEG).

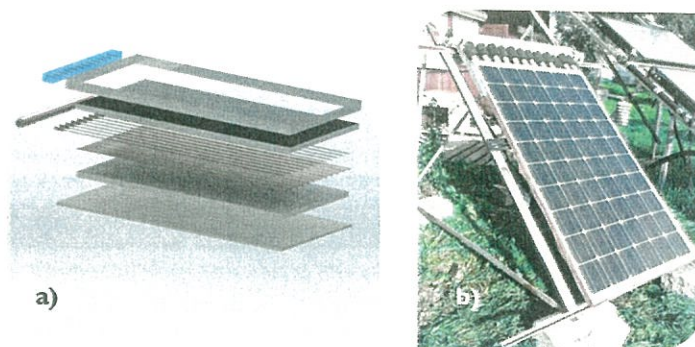


Figura 2 Módulo PV/T: a) estrutura b) módulo em teste (LNEG).

nos chamados módulos híbridos PV/T, eventualmente com armazenamento incluído com materiais de mudança de fase, permitindo alcançar rendimentos elevados, tipicamente acima de 60%, para o aproveitamento do recurso solar. Na Figura 2 mostra-se um exemplo de um destes coletores PV/T, em desenvolvimento no LNEG (projeto no âmbito do QREN) e que poderão ser o "coração energético" de unidades de trigeriação solar, ou seja, a produção de eletricidade, calor e frio, através do recurso solar.

Além da tecnologia de conversão propriamente dita ou seja, as células e os módulos, também ao nível dos outros componentes dos sistemas como, por exemplo, os conversores de potência e os inversores, tem havido uma grande evolução. O desenvolvimento de micro inversores possibilitando a existência de módulos de corrente alterna é um exemplo, assim como a gestão integrada com a rede elétrica permitindo modificar os pontos de funcionamento dos módulos de acordo com as necessidades da rede e até a ligação ao setor dos transportes, onde o veículo elétrico e a sua contribuição para o armazenamento distribuído podem ter um papel muito importante no contexto das chamadas Cidades Inteligentes. Aqui o papel das tecnologias de informação é fundamental.

O *Joint Programme* de Fotovoltaicos da *European Energy Research Alliance*, EERA, (www.eera-set.eu/eera-joint-programmes-jps/15-eera-joint-programmes/photovoltaic-solar-energy/) onde Portugal está representado, desenvolveu um plano de atuação para cobrir os vários aspetos de Investigação e Desenvolvimento em toda a cadeia do fotovoltaico.

O projeto CHEETAH, da União Europeia, em que Portugal também participa através do LNEG aborda todo o desenvolvimento das novas tecnologias de conversão fotovoltaica que permitam chegar a custos muito baixos e com menor impacto ambiental. No *website*, www.cheetah-exchange.eu/index.asp, podem ser analisadas várias das opções descritas acima, assim como conhecer as instituições Europeias de Investigação e Desenvolvimento a trabalhar nestes domínios. Na Figura 3 vê-se o logótipo e a página de abertura do projeto CHEETAH.



Figura 3 Portal do projeto CHEETAH.

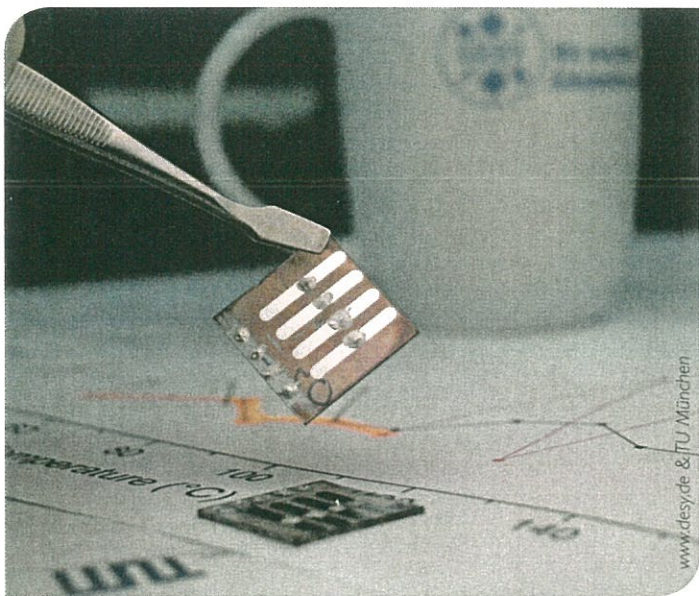
2. A Indústria

A indústria fotovoltaica tem crescido rapidamente nos últimos anos. Este crescimento foi muito alavancado pelas *Feed in Tariffs*, nomeadamente na Europa onde este mecanismo de suporte teve na Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica (EPIA – www.epia.org) um grande impulsionador.

Apesar de em 2005 se ter assistido a um aumento do custo do silício ultra puro no mercado mundial, a indústria fotovoltaica conseguiu superar este problema, nomeadamente através de uma maior automatização das linhas de fabrico e também de uma tendência para produções em fábricas em que os processos são mais integrados e com uma cada vez maior capacidade de fabrico anual. As típicas linhas de montagem de 50 MW por ano começaram a dar origem a fábricas com capacidades da ordem de 1 GW e mais por ano.

Estas novas fábricas de produção de sistemas fotovoltaicos estão hoje concentradas na Ásia e, em particular, na China que lidera o *Top Ten* de fabricantes de módulos fotovoltaicos.

Também ao nível industrial, o fotovoltaico apresenta um grande dinamismo crendo-se que o futuro vá ser impulsionado pelos novos desenvolvimentos tecnológicos acima descritos. Aqui é previsível que, paralelamente à indústria tradicional do silício cristalino, com a sua grande escala de produção, possam aparecer pequenas indústrias nas tecnologias emergentes que, como vimos, utilizam materiais mais abundantes, e com processos de fabrico distintos, menos consumidores de energia e de um modo geral mais sustentáveis. Abrem-se então oportunidades interessantes para novas indústrias do fotovoltaico e muito em particular aquelas que estão associadas à integração do fotovoltaico nos Edifícios.



3. O custo da eletricidade produzida

O custo atualizado da energia produzida pela tecnologia fotovoltaica ao longo do tempo de vida dos sistemas é avaliado tendo em conta quer o investimento de capital, normalmente designado por CAPEX, quer o custo de operação e manutenção, designado por OPEX, divididos pela Energia que o sistema produz durante o tempo de vida dos sistemas, que é tipicamente de 25 anos. A este indicador dá-se a designação de LCOE (*Levelized Cost of Electricity*) e permite comparar os custos de diferentes tecnologias de produção de eletricidade.

O valor do LCOE para a tecnologia fotovoltaica tem vindo a baixar drasticamente nos últimos anos de tal forma que a energia solar fotovoltaica é, já hoje, uma tecnologia renovável de baixo custo contrariamente

ao que foi durante muitos anos apontado como um dos principais problemas associados ao fotovoltaico.

Por exemplo na Alemanha o LCOE de centrais fotovoltaicas de grande dimensão era em 2005 de cerca de 40 c€/kWh, enquanto que esse indicador, analisado em 2014, foi de 9 c€/kWh. Nota-se ainda que valores mais baixos são possíveis em países com maior disponibilidade de radiação solar como, por exemplo, Portugal.

Cenários conservadores de evolução económica em que não são considerados grandes avanços tecnológicos apontam para uma continuidade da redução dos custos prevendo-se que, dependendo da disponibilidade de radiação o LCOE em 2025 possa ser da ordem de 4 a 6 c€/kWh e em 2050 entre 2 e 4 c€/kWh. Será, no entanto, espectável atingirem-se rapidamente valores inferiores a 1 c€/kWh.

4. Onde está o mercado?

O abaixamento dos custos de produção, já anteriormente referido, e as novas tecnologias em desenvolvimento nomeadamente aquelas que permitem a integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios, trouxeram como consequência a rentabilidade destes sistemas de produção de energia elétrica por via renovável sem praticamente necessidade de apoios nomeadamente ao nível de FITs. As designadas legislações de autoconsumo começaram a generalizar-se e Portugal não foi exceção, com a aprovação em outubro de 2014 do Decreto-Lei 153/2014 que veio dar sequência às anteriores legislações de micro e de miniprodução, através da criação da modalidade de Unidades de Pequena Produção (UPP), mas, acima de tudo, criar a nova figura das Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) em que é permitido instalar sistemas de energias renováveis, que se destinem especificamente para satisfazer o consumo próprio de energia elétrica. Esta ideia de associar a produção de energia elétrica renovável diretamente ao consumo retirou o peso negativo, que alguns atribuíram, nomeadamente ao fotovoltaico, de estar a ser um "negócio" muito lucrativo para alguns, mas subsidiado por todos os consumidores de eletricidade. No entanto a venda de eventuais excessos de produção em relação ao consumo que, por vezes, possam existir deveria ser feita, como por exemplo acontece em alguns estados dos Estados Unidos da América, em regime de *net metering*, ou seja, venda de eletricidade produzida ao mesmo custo da aquisição. Desta forma dava-se uma indicação clara de aposta na produção de eletricidade renovável e, simultaneamente, facilitava-se toda a gestão e faturação do sistema produtor/consumidor (*prosumers*).

A nova Lei de autoconsumo, há muito tempo esperada pelo mercado, vai com certeza contribuir para o aumento da produção distribuída de eletricidade por via renovável. Exemplos de aplicação interessante para o fotovoltaico serão todos os locais com consumo ocorrendo nas horas de produção de energia elétrica fotovoltaica, ou seja, durante o período diurno, nomeadamente as grandes superfícies comerciais de venda e de distribuição que, dispendo de grandes áreas de cobertura para instalação de sistemas fotovoltaicos, possuem estruturas de consumo "em fase" com a produção.

Também o setor dos edifícios residenciais e de escritórios poderão significar um mercado importante para o fotovoltaico no âmbito do autoconsumo.

Se a este desenvolvimento da tecnologia de conversão se associar o desenvolvimento de unidades de armazenamento de energia elétrica então praticamente estende-se a gama de utilização de fotovoltaico em autoconsumo a todos os consumidores de energia elétrica.

No que se refere aos sistemas de produção de eletricidade renovável em grandes centrais, elas deverão ter em conta não só o potencial que o nosso país tem em certas zonas para esta produção, potenciando uma cada vez maior fração de eletricidade renovável, mas também as possibilidades que temos neste domínio de exportar energia, desde que sejam

providenciadas as necessárias interligações ao nível do mercado energético europeu. Aqui as tecnologias de produção deverão ser sempre aquelas que produzam anualmente a maior quantidade de energia ao menor custo sendo os sistemas de concentração CPV um sério candidato nas regiões com alta percentagem de radiação direta.

Conclusão


Podemos então concluir que, desde a investigação ao nível das tecnologias de conversão, das novas funcionalidades dos módulos, das componentes de eletrónica de potência e da gestão de energia recorrendo a tecnologias de informação, passando pelo baixo custo de produção dos sistemas fotovoltaicos, o que leva a baixos valores do custo da Energia produzida por esta tecnologia durante o respetivo tempo de vida, até ao nível da nova legislação potenciadora de novas instalações em regime de produção distribuída e de autoconsumo de energia, o Solar Fotovoltaico passa por um período de grande dinamismo um pouco por todo o mundo. Poderá mesmo dizer-se estar em curso uma verdadeira "revolução tecnológica" na produção de energia elétrica.

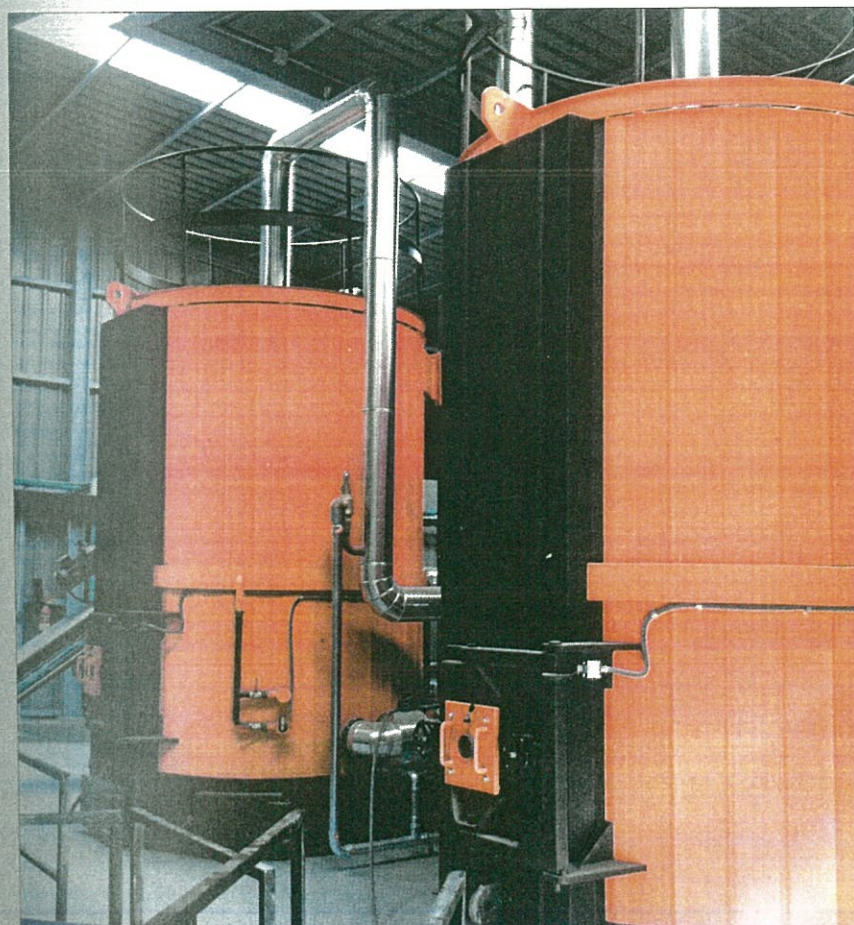
Portugal tem condições de grande recurso solar que urge aproveitar potenciando o respetivo desenvolvimento industrial e a criação de emprego.

Trata-se de uma área de ponta ao nível tecnológico e o país possui conhecimentos técnicos de grande relevância quer ao nível da ciência dos materiais, das nanotecnologias, da eletrónica de potência e outros que poderão suportar todo este desenvolvimento.

Recentemente, em fevereiro de 2015, realizou-se nas Instalações do Laboratório Ibérico Intemacional de Nanotecnologias, INL, em Braga um Encontro Nacional de Investigadores a trabalhar na área da conversão fotovoltaica onde houve oportunidade de troca de impressões sobre as capacidades e áreas de investigação de cada pólo de investigação/instituição e de debater a criação de uma rede nacional de investigação e desenvolvimento em energia solar fotovoltaica. Desta reunião deve-se realçar a confirmação da existência em Portugal de um conjunto significativo de investigadores a trabalhar em diferentes áreas do fotovoltaico e que existem muitas oportunidades de sinergias numa tecnologia cuja contribuição para o consumo europeu de energia elétrica em 2050 poderá atingir os 30% conferindo a esta área um interesse estratégico para a Europa e, em particular, para Portugal.

Bibliografia

- [1] "Assessing the drivers of regional trends in solar photovoltaic manufacturing". Alan C. Goodrich, Douglas M. Powell, Ted L. James, Michael Woodhouse, Tonio Buonassisi. Energy & Environmental Science. Vol 6, 2811-2821, setembro 2013;
- [2] "Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy"- 2014 Edition. International Energy Agency;
- [3] "Current and Future Cost of Photovoltaics: Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems." Agora Energiewende. Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems (ISE). Fevereiro 2015;
- [4] www.materialstoday.com/energy/news/magnetic-nanoparticles-performance-of-solar-cells
- [5] Portal do projecto CHEETAH www.cheetah-project.eu e Knowledge Exchange Web Area do mesmo projecto: www.cheetah-exchange.eu/index.asp. 



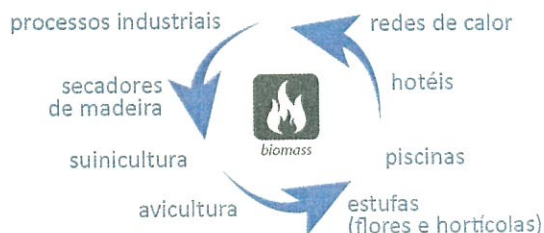
CALDEIRAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA A PARTIR DE BIOMASSA



- PELLETS
- ESTILHA
- SERRIM
- BIOMASSA FLORESTAL

Sabia que para produzir a mesma quantidade de calor a biomassa tem um custo 2 a 3 vezes menor do que os combustíveis tradicionais?

MUDE DE COMBUSTÍVEL, POUPE DINHEIRO!



PARA UM FUTURO SUSTENTÁVEL.

www.ventil.pt

ventil@ventil.pt

tel.: 234 325 085