

17_23

AMBIENTE E CONSTRUÇÃO

A INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS

INTRODUÇÃO

Quando se fala em energias renováveis nos edifícios, pensamos naturalmente e em primeira mão, na utilização da energia solar para aquecimento de água quente sanitária (AQS) e a primeira imagem é a da colocação de colectores solares nos telhados das nossas casas. É no entanto uma visão particularmente redutora porque o novo mundo que a passos largos se aproxima da nossa realidade quotidiana, tem mais a ver com uma daquelas visões futuristas promovida pelos movimentos ecologistas dos finais dos anos setenta, temperada com uma boa dose de incorporação tecnológica emprestada por esta nova era de inovação que varre o mundo em que vivemos, acelerado e acossado pela guerra à volta das questões energéticas do início do novo milénio.

Essa visão chama-se presentemente NZEB – *Near Zero Energy Buildings* – e tem a ver com a percepção do edifício como uma verdadeira central consumidora e produtora de energia, cujo balanço tende a ser nulo, se não positivo, isto é, suficientemente excedentário para contribuir na alimentação da rede pública de distribuição de electricidade e em certos casos – futurista para a nossa realidade mas actual no norte da Europa – para a rede de distribuição de calor ou mesmo de frio.

DRCCTE [DL 80/2006] fala na obrigatoriedade de colocação de colectores solares térmicos nas coberturas, mas um edifício é ele próprio um colector solar, cujas fachadas para além das coberturas vêm o movimento aparente do sol ao longo do dia e do ano, sendo sucessivamente iluminadas e por isso constituem

elas próprias superfícies naturais de captação da radiação solar se para tanto tiverem sido desenhadas e construídas com base nos materiais que possibilitam não só a captação mas também o armazenamento dessa energia para mais tarde ser distribuída.

Os edifícios devem assim ser em primeiro lugar edifícios bioclimáticos, desenhados de acordo com o clima do local, minimizando as necessidades de energia, eléctrica e térmica. Exige-se também uma interacção inteligente e uso eficiente por parte dos seus utilizadores no que serão, no futuro, amplamente auxiliados por sistemas de gestão integrada de energia que promoverão não só essa interacção interna como também a externa, promovendo a sua integração nas chamadas redes inteligentes do futuro, onde a produção distribuída de energia tenderá a ganhar estatuto semelhante à actual produção centralizada de electricidade. O anterior diploma [DL 40/90] foi o primeiro instrumento nacional que impôs determinados requisitos para os projectos de novas edificações bem como para grandes remodelações, salvaguardando a satisfação das condições de conforto térmico e minimizando as necessidades energéticas. No actual diploma RCCTE, e na sequência da Directiva nº 2002/91/CE, o âmbito de aplicação é alargado, obrigando à contabilização das necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS [1].

Espera-se que num futuro próximo, não se venham apenas impor limites de necessidades energéticas mas que, através do conceito NZEB, para além dessa minimização (a qual passa a ser ainda mais restrita) se passe a aumentar de forma eficiente a produção

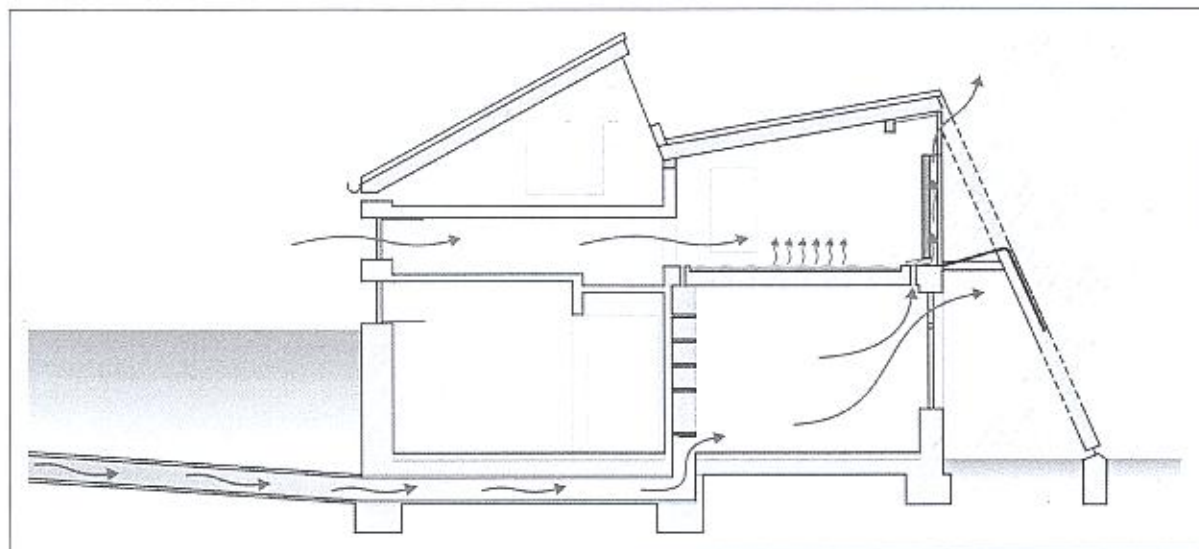
J. Farinha Mendes, Andreia Salgueiro, João Cardasa, Ricardo Encarnação Coelho
LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

descentralizada motivando o aparecimento e proliferação de "edifícios energeticamente autónomos", responsáveis pela satisfação das necessidades energéticas próprias com recurso maioritário a energias renováveis. Encontra-se actualmente em discussão uma proposta de Directiva que conduzirá a edifícios NZEB no horizonte de 2020, prevendo-se para breve a sua votação no Parlamento Europeu [2].

A COMPONENTE CONSTRUTIVA PASSIVA

A integração das energias renováveis e tecnologias complementares não deve descurar a utilização de conceitos bioclimáticos que permitem a redução das necessidades energéticas. O intuito destes sistemas é promover o conforto dos seus ocupantes, evitando o recurso a sistemas activos (mesmo que renováveis), aproveitando ou evitando a radiação solar e a temperatura exterior. Assim, desempenham um papel relevante no seu comportamento térmico, tanto a envolvente opaca, como a transparente, bem como a iluminação e ventilação natural (Figs. 1 e 2).

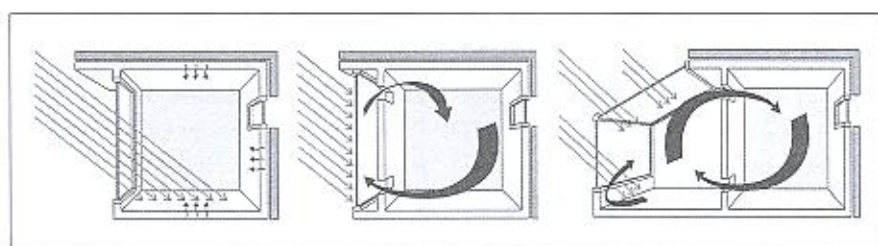
No futuro o projecto de climatização não poderá seguir a estratégia de simplificar e sobredimensionar a instalação. Terão que ser criadas condições para que se produzam projectos HVAC com a melhor qualidade que o *know-how* permitir, para que o edifício cumpra o desempenho passivo térmico previsto. O conceito de garantia estender-se-á à qualidade do projecto térmico, por isso o foco das soluções estará na eficiência e no rendimento em lugar da mera conformidade. Isto é importante para



> 1



> 2



> 3

que durante a utilização do edifício, o balanço anual de energia nunca seja negativo. Havendo responsáveis contratualizados, o nível de sofisticação permitirá a criação de produtos financeiros focalizados na poupança do utilizador final, controlados por sistemas de gestão de energia que regulam parte ou a totalidade do valor reembolso de empréstimos, na medida do desempenho efectivo do sistema. Neste patamar também será possível o desenvolvimento de estruturas ESCO (*Energy Service Company*) cujo propósito seja fornecer condições de conforto térmico controladas pelo utilizador, qualidade do ar e energia eléctrica a menor custo. Uma vez que a redução do kWh consumido retira à ESCO o interesse em investir na componente construtiva passiva, poderá existir um conflito de interesses se esta for a unidade de venda. Em alternativa poderá

negociar-se o ΔT_{hora} [entre temperatura interior e a exterior], passando o serviço contratado a ser o conforto térmico.

Esta visão poderá abrir um novo mercado para as empresas de construção civil através da agregação destas funções e competências (Fig.3).

A COMPONENTE CONSTRUTIVA ACTIVA RENOVÁVEL

Esta componente é constituída por todos os elementos que funcionam em sistema de forma a produzir energia eléctrica, térmica ou ambas, como complemento das necessidades energéticas não satisfeitas pela componente passiva, englobando também a utilização de iluminação eficiente e sistemas de *free-cooling*,

permitindo a obtenção de balanços energéticos aproximadamente nulos. A operacionalização do conceito de *smart-grid* permitirá ainda aos edifícios desempenhar um papel relevante no balanço da energia entre o período de ponta e vazio, a par do que se pretende com a bombagem reversível em barragens e com o carro eléctrico.

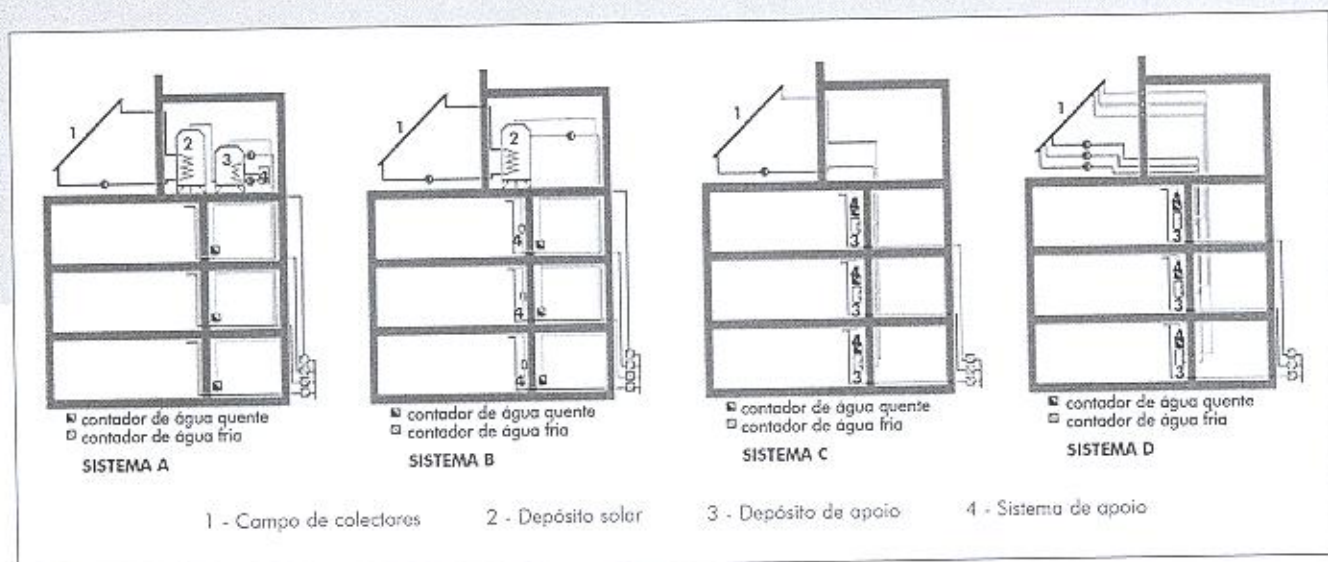
Solar Térmico

Largamente divulgada nos dias de hoje, a Energia Solar Térmica está numa fase em que a tecnologia alcançou um bom patamar de fiabilidade e conhecimento (Fig. 4). Para isso contribuiu a divulgação e formação levadas a cabo durante a década passada, na sequência da Iniciativa Pública "Água Quente Solar para Portugal" que permitiu a definição de esquemas

> Figura 1: Exemplo de Arrefecimento pelo Solo, Casa Solar Porto Santo - Arq. Gunther Ludewig [3].

> Figura 2: Fachada Sul no Inverno que recebe radiação desde o nascer ao pôr do sol - Casa Jacobs II em Wiscotin, Hemiciclo Solar, de Frank Lloyd Wright [4].

> Figura 3: Exemplos de Sistemas passivos, em estratégia promoção de ganhos solares na estação do Inverno: Ganho Directo, Indirecto e Isolado [3].



> 4

de certificação para instaladores (CAP) e para colectores. Adicionalmente, na segunda metade da década, foi imposta a obrigatoriedade dos sistemas solares térmicos para AQS no âmbito da certificação energética dos edifícios, o que tem vindo a alterar o mercado destes equipamentos. O programa governamental de apoio, extremamente generoso que ocorreu em 2009, fez disparar esse mercado para valores próximos dos 200000 m², o que no presente pode representar uma efectiva implantação da tecnologia à semelhança de outros países europeus pioneiros nessa massificação como foi o caso da Grécia, Chipre, Áustria e Alemanha (Fig.4). Em resultado dessa massificação é expectável uma maior concorrência e redução dos custos, que poderá ser acelerada com a introdução de novos equipamentos, de novos materiais e de soluções atraentes para integração em fachadas e coberturas. É por exemplo o caso dos chamados sistemas combinados ("Combisystems") já de uso corrente no centro e norte da Europa, os colectores em materiais poliméricos e o uso de superfícies selectivas orgânicas e de cores diferenciadas. Os objectivos da água quente solar poderão assim ser expandidos, designadamente para climatização. Com edifícios mais eficientes verificar-se-ão menores necessidades ener-

géticas, e a utilização de colectores solares para fins de aquecimento fica mais atractiva, preferencialmente recorrendo a pavimento radiante hidráulico ou ventiloconectores, que funcionam com temperaturas inferiores às do aquecimento por radiadores com caldeira convencional.

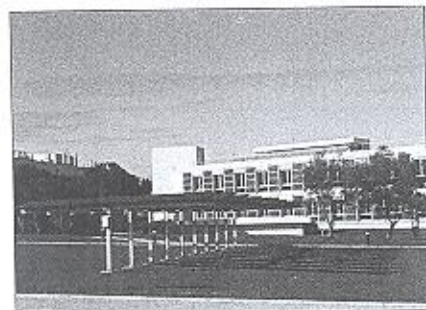
Na mesma linha, os colectores solares térmicos poderão também alargar o seu campo de utilização à produção de frio solar, associando-os às tecnologias de sorção: *chillers* alimentados termicamente. Desta forma, mesmo nos países do Sul da Europa passará a ser viável a energia solar térmica na climatização dos edifícios através da sua rentabilização numa base anual: aquecimento no inverno e arrefecimento no verão.

Energia Fotovoltaica (PV)

A fonte de energia eléctrica descentralizada mais conhecida e integrada em edifícios é a energia fotovoltaica, normalmente denominada por BIPV – *Building Integrated Photovoltaic*. Apesar do elevado custo de investimento é o tipo de equipamento de energia renovável que se inclui entre os de maior durabilidade, facilidade de integrar, instalar, controlar e manter

em edifícios. É fácil e já largamente divulgada a sua integração em fachadas, substituindo os correspondentes elementos construtivos de revestimento, a qual pode igualmente associar a componente de aproveitamento térmico – como se fez no Edifício solar XXI do LNEG – onde o arrefecimento da face posterior dos painéis conduz a um melhor rendimento destes.

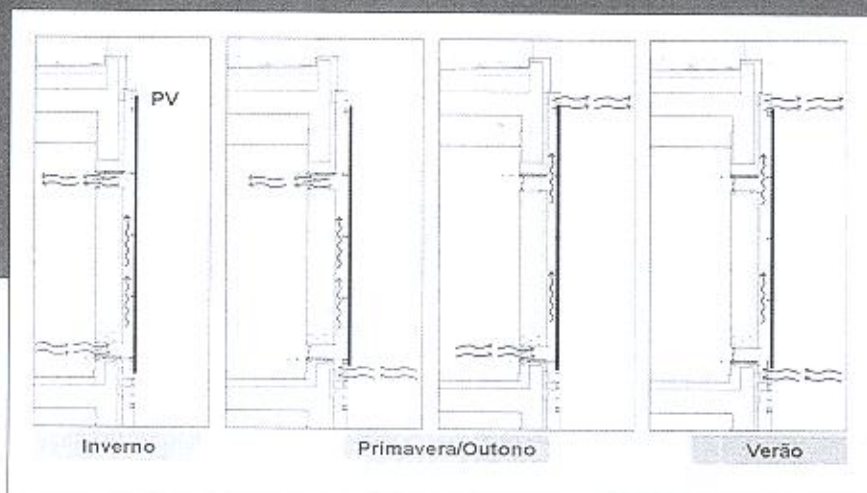
Os 96 m² de módulos fotovoltaicos de Silício Policristalino com 12 kWp, que produzem energia eléctrica e calor que é aproveitado para aquecer ou ventilar o espaço interior em conjunto com o parque de estacionamento (95 m² de módulos de Silício Amorfo, com 6 kWp) do Edifício Solar XXI, entregam anualmente à rede eléctrica do campus cerca de 20 MWh, que satisfazem quase 75% do consumo anual do edifício (Figs.5 e 6).



> 5

> Figura 4: Exemplos de sistema solares térmicos. A – sistema totalmente centralizado; B – Sistema centralizado com apoio instantâneo; C – Sistema centralizado com acumulação e apoio instantâneo; D – Sistema individual.

> Figura 5: Fachada Sul do Edifício Solar XXI do LNEG vista do parque de estacionamento também ele coberto com painéis PV.



> 6

No nosso País, a par de algumas centrais de grande potência decididas nos últimos anos, foi a lei da microgeração que conduziu a uma divulgação generalizada dos pequenos sistemas em ambiente urbano. Entretanto os preços têm vindo a diminuir de forma consistente e continuada no mercado mundial e de acordo com um estudo da EPIA [8], o custo do sistema chave na mão e com manutenção incluída é já de 0.35 €/kWh, sendo de esperar uma evolução até 2020 para menos de 0.15 €/kWh. Como os custos de produção na rede centralizada tendem a aumentar devido à escalada dos preços das fontes de energia convencionais enquanto paralelamente os custos do PV têm evidenciado a tendência decrescente já descrita, iremos assistir brevemente à paridade de custo do kWh eléctrico produzido em ambos os processos (Fig.7).

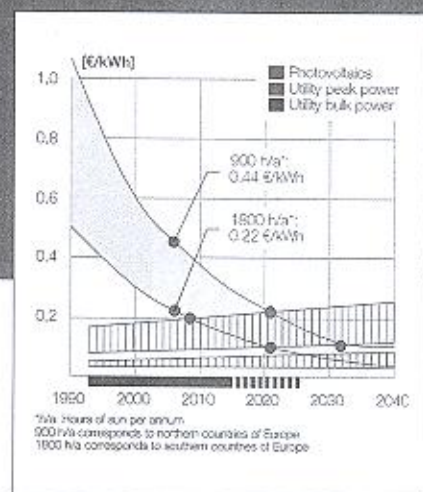
O LNEG participa em vários projectos de investigação nesta área, sendo um deles o Projecto Solar Tiles – Desenvolvimento de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Coberturas e Revestimentos Cerâmicos que procura captar a energia emitida pelo Sol e transformá-la em energia eléctrica através de um filme que é depositado nos revestimentos cerâmicos. É o tipo de projecto que se inclui no desenvolvimento em curso também no solar térmico e que visa a plena integração de componentes de

captação da radiação nas fachadas e coberturas dos edifícios, com resultados positivos ao nível estético e custos finais globais.

Energia eólica

A integração da energia eólica nos edifícios pode dar-se através dos sistemas de micro e mini-eólica, com potências que variam comercialmente entre o 1kW e os 50 kW e que se encontram em contínuo desenvolvimento. A aplicação urbana em massa destes equipamentos encontra alguns desafios, nomeadamente os padrões irregulares de vento característicos do ambiente urbano bem como os elevados custos de manutenção. O sucesso dependerá da correcta avaliação do recurso disponível, da escolha do tipo de turbina e da sua instalação.

A utilização dos sistemas eólicos a par com os sistemas fotovoltaicos resulta num sistema híbrido com dois recursos distintos, logo teoricamente mais independente e neutro. Contudo, ao contrário do PV, a energia eólica é produzida predominantemente à noite, numa altura de vazio, o que do ponto de vista da rede eléctrica aumenta a necessidade de sistemas de armazenamento e diminui a rentabilidade global do sistema.



> 7

Com coordenação do INETI, actual LNEG, e integrando uma equipa de investigadores de diversas instituições nacionais, foi desenvolvida uma turbina eólica especialmente concebida para ambientes urbanos (*T. Urban*), representando um desenvolvimento pioneiro nesta área a nível nacional (Fig.8).

A COMPONENTE ACTIVA COMPLEMENTAR

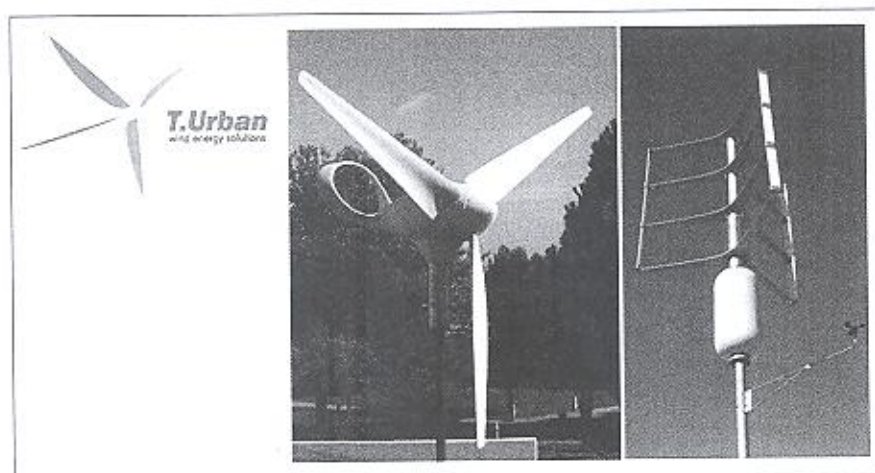
As formas de calor e electricidade renováveis ou recuperadas, que contribuam para o objectivo final de menor consumo de energia global podem ser consideradas no desempenho energético dos edifícios.

Bombas de calor

Aproveitam o ar exterior para captar ou libertar energia, usando um compressor eléctrico que comprime um fluido frigogénico que muda de fase para transportar a energia térmica. A tecnologia é altamente comprovada, fácil de manter e encontra-se padronizada, sendo o seu maior problema o consumo, que tipicamente ocorre nas horas de ponta da rede eléctrica. Actualmente é possível encontrar no mercado equipamentos com eficiências nominais situ-

> Figura 6: Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico passivo indirecto na fachada Sul do Edifício Solar XXI (INETI/LNEG)

> Figura 7: Evolução prevista dos preços de venda da energia eléctrica e dos custos de geração PV - Nota: a banda a azul indica que programas de apoio ao mercado serão necessários em alguns países [7]



> 8

adas entre 300% a 500%.

Em uso crescente estão as bombas de calor com água de condensação, que em vez do ar ambiente como fonte quente/fria recorrem a água, proveniente de cursos de água ou águas residuais, ou à temperatura constante da terra (14°C a 18°C), através de perfurações ou trincheiras, vulgarmente conhecidas como geotérmicas. Permitem, em determinadas condições, eficiências instantâneas na ordem dos 300% a 600% e a sua performance não depende do clima, poupando 44% de electricidade face às alternativas convencionais. Apesar do preço superior, o retorno é de 5 a 10 anos para um período de vida útil de 50 anos para componentes no solo e de 25 anos para os restantes [8]. Novas melhorias têm surgido, sendo de referir a utilização crescente das fundações dos edifícios e respectivos pilares como permutadores de calor ou mesmo como armazenamento subterrâneo de calor, numa técnica denominada de "Energy Piles System".

Em Abril de 2009, foi publicada a directiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. De acordo com esta Directiva, que deverá ser transposta para a ordem jurídica interna até ao fim deste ano, a energia captada pelas bombas de calor, com SPF (factor médio de desempenho sazonal) superior a um determinado valor $[1,15 \cdot 1/\eta]$ em que η é o rácio entre a produção total bruta de electricidade e o consumo

primário para a produção de electricidade na União Europeia) passa a ser considerada como proveniente de fontes renováveis. Estima-se que as bombas de calor com SPF próximo ou superior a 3, possam estar abrangidas pela presente directiva, quando usadas tanto para preparação de AQS como para aquecimento e arrefecimento ambiente.

O Programa Aquecimento e Arrefecimento Solar da Agência Internacional de Energia (IEA SHC) tem no presente em discussão o Programa de Trabalhos de uma nova Task, que será a Task 44, e que promoverá o estudo da combinação das bombas de calor com sistemas solares térmicos e ou fotovoltaicos para aplicação em edifícios [9].

A poligeração

A vantagem de utilizar sistemas de produção combinada de electricidade e calor (CHP) é óbvia: o calor produzido quando se gera electricidade através de ciclos termodinâmicos não é rejeitado para o ambiente. Na produção combinada de calor, frio e potência o calor necessário no Inverno fica disponível no Verão - arrefecimento através de tecnologias de sorção; *chillers* alimentados termicamente. Criando frio gera-se mais valor para o calor, evitam-se consumos de arrefecimento e melhora-se a rentabilidade do investimento

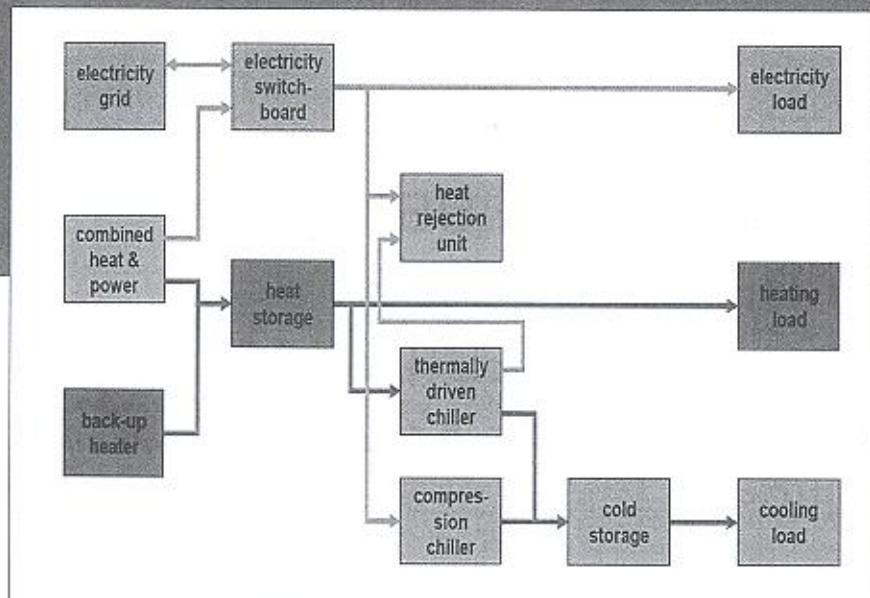
no gerador, elevando consideravelmente o rendimento final global.

Os CHP (motores de combustão interna; motores Stirling; micro turbinas e células de combustível) existentes apresentam custos no intervalo dos 2000 a 4000 €/kW_e, com rendimentos globais de 80% a 90%. As células de combustível prometem francos desenvolvimentos, mas ainda não se encontram num estado de maturação que permita a sua comercialização em larga escala. Os motores de combustão interna estão comercialmente disponíveis com toda a gama de potências, incluindo as mais baixas (1 a 5 kW_e). Os motores de Stirling, motores de fonte de calor externa, apresentam rendimentos eléctricos na ordem dos 10% a 15% (25 a 30% em associação a sistemas ópticos focantes de alta concentração - 600/700°C). Estes motores têm a grande vantagem de serem bastante silenciosos, duráveis, fáceis de manter e aceitam qualquer fonte de calor (solar, biomassa, gás, calor recuperado). As micro turbinas, disponíveis a partir de 28 kW_e, são caras mas simples e de manutenção pouco dispendiosa, conseguindo temperaturas mais altas de exaustão [10].

Os *chillers* alimentados termicamente apresentam custos na ordem dos 800 a 1500 €/kW_e, dependendo da tecnologia e potência do equipamento, geralmente mais baratos e com melhor rendimento se alimentados a altas temperaturas, podem dividir-se em duas grandes categorias: *chillers* de absorção - Brometo de Lítio-Água e Água-Amoniaco, com a fonte de calor entre os 80°C e os 100°C - e *chillers* de adsorção, 75°C aos 85°C - com os adsorventes sílica gel e zeólitos. Desenvolvimentos recentes permitiram a comercialização de unidades de baixa potência no intervalo entre 2,5 a 20 kW [10].

Decorre actualmente o projecto europeu PolySMART [10], no qual o LNEG se encontra inserido e no âmbito do qual foram feitas doze instalações de demonstração, ferramentas de simulação e divulgação da tecnologia CHCP em pequena escala, com resultados ao nível de rendimentos e possibilidades económicas de aplicação.

> Figura 8: T.URBAN - Ao centro, Micro turbina de eixo horizontal com 2,5 kW potência nominal e 2,3 m de diâmetro do rotor; à direita, modelo em desenvolvimento 2,0 kW com eixo vertical, (INETI/LNEG).



> 9

Duas das instalações de demonstração de pequena escala localizam-se em Portugal, produzindo electricidade para consumo local, sendo o frio e calor utilizados para climatizar. Estas instalações são compostas por um CHP com motor de combustão interna e um chiller de amoníaco-água arrefecido a ar. Numa das instalações o sistema CHCP trabalha com GPL gerando 5,5 kW_e, 12,5 kW_t e 8 kW_c. A segunda instalação climatiza as salas voltadas a norte do edifício Solar XXI utilizando um sistema CHCP alimentado a biodiesel produzindo 9,6 kW_e, 22,5 kW_t e 8 kW_c. Esta instalação possui ainda depósitos de frio, calor e de AQS possibilitando o estudo e desenvolvimento de diversas estratégias de funcionamento [Fig.9].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A promoção da eficiência energética é de facto uma aposta que diminuirá a dependência e preponderância dos sistemas energéticos convencionais actuais. Não se trata da utilização das energias renováveis a todo o custo mas sim aproveitar ao máximo os recursos disponíveis apostando em primeiro lugar na redução das necessidades energéticas.

Depois do pleno aproveitamento das tecnologias energéticas já disponíveis para integração nos edifícios, passa ainda pelo desenvolvimentos de ferramentas de gestão e controle capazes de tratar o edifício como a central produtora e consumidora de energia que de facto será, integrando os diferentes componentes e capacidades de interligação com a rede externa, a rede inteligente do futuro, num ambiente economicamente otimizado.

O conceito NZEB, para o qual caminhamos, através da sua progressiva integração nos regulamentos térmicos dos edifícios, será muito mais que uma obrigatoriedade, será também uma oportunidade de negócio. E é um objectivo estratégico com capacidade para gerar efeitos multiplicativos extremamente positivos: permitirá uma menor dependência energética, maior segurança energética, aprofundará a utilização dos recursos endógenos, e protegerá o ambiente e a economia criando emprego de uma forma sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Decreto-Lei 80/2006, Regulamento das Características Térmicas de Comportamento Térmico dos Edifícios [RCCTE]
- [2] European Council for an Energy Efficient Economy [EUEEE], Energy Performance of Buildings Directive [EPBD] Recast
- [3] Gonçalves, H., Mariz, J., 2004. Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal, DGGE
- [4] www.design.ncsu.edu
- [5] DGGE / IP-AQSP, Utilização de colectores solares para o aquecimento de água no sector doméstico, 2004, www.aguaquentesolar.com
- [6] European Photovoltaic Industry Association (EPIA), SOLAR Europe Industry Initiative (SEII), draft summary implementation plan 2010-2012, Jan 2010, www.epia.org
- [7] EPIA, Solar Generation V – 2008 - Solar electricity for over one billion people and two million jobs by 2020
- [8] U.S. Department of Energy – Energy Efficiency & Renewable Energy, <http://www1.eere.energy.gov>
- [9] www.iea-shc.org
- [10] PolySMART – POLYgeneration with advanced Small and Medium scale thermally driven Air-conditioning and Refrigeration Technology, www.polysmart.org