

A decorative graphic on the left side of the page consists of overlapping, semi-transparent shapes in shades of blue, green, and grey. A large, solid blue rounded rectangle is positioned in the upper left, overlapping a green rounded rectangle below it. The background features larger, faint, overlapping grey and white shapes that create a sense of depth and movement.

MICRO COGERAÇÃO



ÍNDICE

1. O CONCEITO DE MICRO-COGERAÇÃO	PÁG. 1
DADOS ESTATÍSTICOS	3
2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	4
3. TECNOLOGIAS DE MICRO-COGERAÇÃO	6
UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM MOTORES TÉRMICOS	7
MOTORES STIRLING	8
UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM TURBINAS DE GÁS	9
UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM PILHAS DE COMBUSTÍVEL	10
SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO DE CALOR	12
CHILLERS DE ADSORÇÃO	15
DIAGRAMAS DE CARGA	15
A MICRO-COGERAÇÃO COMO ALTERNATIVA A OUTRAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO	17
4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ESQUEMAS DE MICRO-COGERAÇÃO	18
PISCINAS MUNICIPAIS DE SANTA MARTA DE PENAGUIÃO	18
ETAR DE VILA REAL	19
HOTÉIS <i>AEGEAN E EGNATIA</i> (SALÓNICA – GRÉCIA)	19
5. REFERÊNCIAS	21
ANEXO 1	22
ANEXO 2	23
ANEXO 3	24

The background is a solid light green color. On the left side, there are several overlapping, semi-transparent, curved shapes in a darker shade of green, creating a sense of depth and movement. These shapes resemble stylized leaves or flowing fabric.

MICRO-COGERAÇÃO

1. O CONCEITO DE MICRO-COGERAÇÃO

A micro-cogeração tem como objectivo proporcionar as vantagens da cogeração¹ numa escala reduzida, compatível com as necessidades energéticas (térmica e eléctrica) de pequenos serviços e doméstico (residencial) de alguma dimensão.

É usual designar a pequena produção de energia eléctrica por microgeração termo que, por vezes, pode ser confundido com o de micro-cogeração que subentende a produção combinada de calor e electricidade a partir da mesma fonte de energia primária. Neste documento utiliza-se a terminologia acima descrita.

As vantagens destas instalações baseiam-se no conceito de que a cogeração é a solução técnica disponível no mercado para produzir energia eléctrica com a melhor eficiência possível, mediante a queima de um combustível, seja ele de origem fóssil, ou de natureza renovável, como é o caso da biomassa. Esta melhor eficiência resulta, apenas, do facto de se associar ao projecto de cogeração um consumidor que possa utilizar a energia térmica proveniente da combustão que não é transformada em electricidade.

A figura 1 ilustra essas vantagens das unidades de micro-cogeração, que podem exibir rendimentos globais da ordem dos 90 % e poupanças de energia primária até 30%.

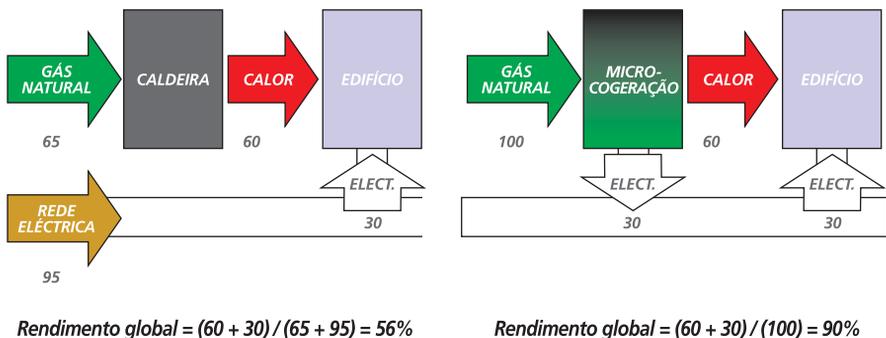


FIG.1 Eficiência energética promovida pela micro-cogeração (fonte: BaxiROCA)

¹ Ver brochura sobre Cogeração (COGEN Portugal)

O seguinte diagrama de Sankey de um motor a gás ilustra a transformação de energia primária em energia eléctrica e térmica com um rendimento global de 90%:

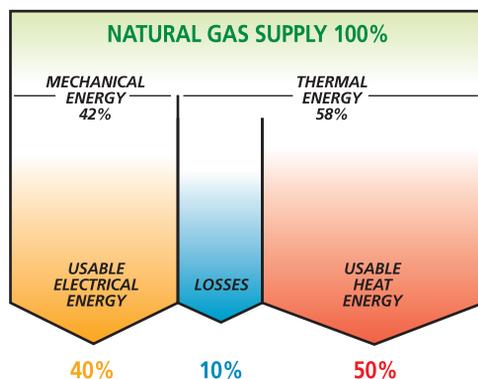


FIG. 2 Diagrama de Sankey para a conversão de energia num motor a gás

Repare-se que, de acordo com o diagrama, 50% de energia térmica pode ser recuperada num processo de cogeração, sendo expectável no caso da micro-cogeração uma menor produção percentual de energia eléctrica devido ao efeito de escala dos motores e turbinas que apresentam um menor rendimento eléctrico do que os seus congéneres de maior dimensão. Em contrapartida será possível, em teoria, recuperar uma maior percentagem de energia térmica nas unidades de micro-cogeração.

Em termos ambientais é também fácil compreender que o aproveitamento do calor útil recuperado durante um processo de cogeração evita que se consuma adicionalmente um combustível para produzir essa mesma energia térmica, pelo que se reduzem as emissões de gases com efeito de estufa associados à produção das duas formas de energia útil em causa – electricidade e calor. A cogeração tem assim um impacte relevante na mitigação da emissão de gases com efeito de estufa, sendo a forma menos poluente de produzir, simultaneamente, energia eléctrica e térmica a partir de uma mesma fonte de energia primária de origem fóssil.

Em termos económicos a melhor eficiência da conversão energética traduz-se em menores consumos que criam, em consequência, condições para a redução dos custos associados à utilização de fontes de energia primária, seja ela de origem fóssil, renovável, resultante de aproveitamento de resíduos ou de combustíveis obtidos por outro tipo de transformação energética (e.g. hidrogénio).

DADOS ESTATÍSTICOS

Encontram-se actualmente instaladas mais de 20 000 unidades de micro-cogeração na União Europeia. As previsões² indicam para um CAGR³ de 43% do mercado da micro-cogeração no período compreendido entre 2005 e 2012. Só em 2008 o mercado europeu da micro-cogeração movimentou aproximadamente 30 MEuros, estimando-se um potencial anual acima de 5 milhões de unidades de micro-cogeração a nível mundial.

O mercado europeu é actualmente dominado por unidades com uma capacidade eléctrica da ordem dos 5 kWe, verificando-se, no entanto, um crescimento assinalável das unidades mais pequenas na gama de 1 – 3 kWe projectadas para residências unifamiliares.

A figura 3 ilustra a previsão do crescimento do mercado europeu de unidades de micro-cogeração até 2015.

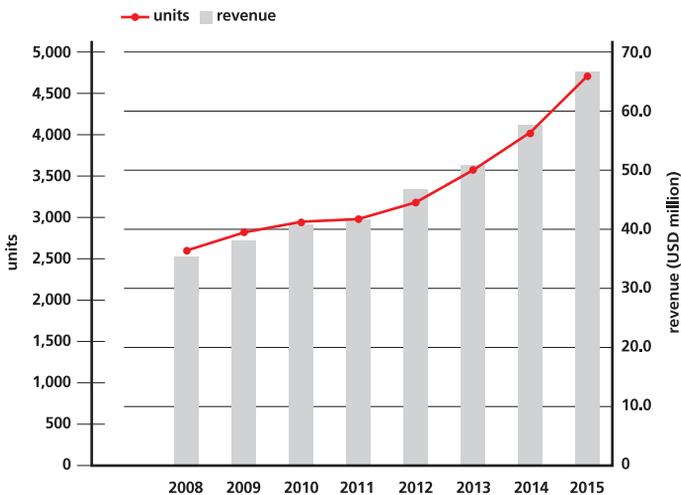


FIG. 3 Mercado europeu da micro-cogeração (fonte: Frost & Sullivan 2008)

² The German Heating and Cooling Industry – German Trade & Invest

³ Compound Annual Growth Rate

2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

A nível comunitário as unidades enquadráveis na micro-cogeração deverão ter uma potência eléctrica inferior a 50 kW_e. A Directiva 2004/8/CE de 11 de Fevereiro do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à *promoção da cogeração com base na procura de calor útil no mercado interno de energia* especifica que uma unidade de micro-cogeração é uma unidade de cogeração cuja capacidade máxima é inferior a 50 kW_e.

A referida Directiva constitui o instrumento legal comunitário que visa promover a cogeração nos diversos estados membros. Esta directiva foi recentemente transposta para o quadro jurídico nacional através do Decreto-Lei nº 23/2010 de 25 de Março, aguardando-se a publicação de legislação complementar no âmbito do regime remuneratório da entrega de energia eléctrica à rede.

Define-se, também, o conceito de cogeração de pequena dimensão como as unidades de cogeração com uma capacidade instalada inferior a 1 MW_e. O Decreto-Lei 68/2002 de 25 de Março fornecia o enquadramento legal do produtor em auto-consumo e o Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro acolhe a microprodução.

O primeiro diploma regulava a actividade de produção de energia eléctrica em baixa tensão (BT) destinada primordialmente a consumo próprio podendo, no entanto, a produção excedente ser entregue a terceiros ou à rede pública. Este diploma impunha que a potência entregue à rede pública teria de ser inferior a 150 kW e que a energia eléctrica (ou energia eléctrica e térmica) para autoconsumo teria de ser pelo menos de 50% do total da energia eléctrica produzida. Em 8 de Março de 2011, foi publicado o Decreto-Lei 34/2011 que não é aplicável à cogeração e que revogou aquele diploma, continuando, contudo, as unidades de produção já licenciadas no âmbito daquele regime jurídico a reger-se pelo que nele estava disposto. O segundo diploma estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência designadas por unidades de microprodução de electricidade monofásica em baixa tensão com potência de ligação até 5,75 kW_e. Para que o promotor possa beneficiar do regime bonificado a potência de ligação da instalação à rede não poderá exceder 3,68 kW_e.

O Decreto-Lei nº 23/2010 encontra-se orientado para a promoção da cogeração de elevada eficiência que deverá apresentar uma poupança de energia primária (PEP) superior a 10% em relação à produção separada de electricidade e calor. As centrais de cogeração que não atinjam este limiar de poupança são apenas consideradas eficientes.

No caso particular das unidades de *cogeração de pequena dimensão* (i.e. com capacidade instalada inferior a 1 MW_e) e de micro-cogeração ($P < 50$ kW_e) são consideradas de elevada eficiência desde que apresentem poupanças de energia primária relativamente à produção separada de electricidade e calor.

A metodologia de cálculo destas poupanças de energia primária (PEP) foi estabelecida pela Directiva 2004/8/CE entretanto transposta para o quadro jurídico nacional através do Decreto-Lei nº 23/2010 de 25 de Março.

A poupança de energia primária da actividade de cogeração / micro-cogeração relativamente à produção separada de calor e electricidade é determinada pela seguinte expressão:

$$PEP = \left[1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \times 100\%$$

Em que:

- **CHP H_η** é o rendimento térmico do processo, definido como a produção anual de calor útil dividido pelo combustível utilizado na produção total de calor e electricidade;
- **Ref H_η** é o valor de referência do rendimento para a produção separada de calor;
- **CHP E_η** é o rendimento eléctrico, definido como a produção total anual de electricidade dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor útil e de electricidade num processo de cogeração;
- **Ref E_η** é o valor de referência do rendimento para a produção separada de electricidade.

A poupança de energia primária é calculada a partir dos valores de referência para a produção separada de energia eléctrica e térmica, publicados na Decisão da Comissão 2007/74/CE de 21 de Dezembro de 2006 (ver anexos 1, 2 e 3).

O modo de cálculo das poupanças de energia primária encontra-se detalhado na brochura sobre cogeração⁴ que constitui publicação gémea do presente documento.

Enquanto no caso de centrais de cogeração os valores utilizados para o cálculo da electricidade produzida neste modo de operação são determinados com base no funcionamento esperado ou efectivo da unidade em condições normais de utilização, no caso das unidades de micro-cogeração o cálculo pode basear-se em valores certificados.

⁴ Brochura Cogeração (COGEN Portugal)

3. TECNOLOGIAS DE MICRO-COGERAÇÃO

Para se poder usufruir das vantagens da micro-cogeração é necessário utilizar um equipamento que permita a produção de energia eléctrica, preferencialmente com um rendimento elevado e que, simultaneamente, produza calor a uma temperatura que possibilite o seu fácil aproveitamento.

Entre as tecnologias que cumprem estes requisitos básicos, contam-se as seguintes:

- Motores térmicos;
- Turbinas;
- Pilhas de combustível.

Outro factor comum que todas estas tecnologias devem cumprir é a de poderem ser manufacturadas numa escala de dimensão e potência compatível com os requisitos básicos de uma micro-cogeração que tanto pode ser utilizada a nível doméstico como de serviços sem originar desperdícios em termos de aproveitamento de energia eléctrica e térmica.

Entre os equipamentos acima enumerados verifica-se que tanto no caso de motores térmicos, quer estes operem segundo um ciclo Otto, Diesel ou Stirling como no caso das pilhas de combustível é possível atingir-se bons rendimentos eléctricos mesmo na situação de equipamentos de pequena potência (e.g. ± 5 kW_e). No caso das turbinas a gás é usual utilizar-se equipamentos de maior potência, sob risco do rendimento eléctrico vir fortemente penalizado. Neste caso as unidades disponíveis actualmente no mercado têm uma potência eléctrica mínima da ordem dos 50 kW_e.

No caso dos motores térmicos em particular nos motores alternativos a recuperação de energia térmica faz-se a partir dos gases de escape do motor ($T \approx 500^\circ \text{C}$) e dos circuitos de refrigeração de água e óleo ($T \approx 80 - 90^\circ \text{C}$).

No caso das turbinas de gás a recuperação de energia térmica faz-se, exclusivamente a partir dos gases de escape a alta temperatura ($T \approx 500 - 600^\circ \text{C}$) em virtude de não disporem de um circuito de refrigeração a água, típico dos motores alternativos.

As pilhas de combustível caracterizam-se por rendimentos eléctricos muito elevados ($\eta_e > 50\%$) o que não é possível atingir num sistema de produção de energia eléctrica com uma máquina térmica acoplada a um gerador eléctrico em ciclo simples. As pilhas de combustível beneficiam do facto de não possuírem peças móveis⁵ e converterem, directamente, o combustível e oxidante em energia eléctrica.

⁵ À excepção dos sistemas de refrigeração e alimentação do combustível e oxidante

UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM MOTORES TÉRMICOS

O mercado tem assistido a um rápido desenvolvimento de unidades de micro-cogeração com base em pequenos motores Diesel como ilustrado na figura seguinte:



FIG. 4 Unidade de micro-cogeração (fonte: Senertec – Dachs)

Estas unidades de pequena potência podem substituir com vantagem as caldeiras utilizadas em sistemas AQS (*Águas Quentes Sanitárias*) e sistemas de aquecimento ambiente. A utilização de um reservatório de acumulação (ver figura 5) permite a optimização da exploração da unidade de micro-cogeração, promovendo o armazenamento da energia térmica e permitindo o deferimento da sua utilização para os períodos efectivos de consumo.



FIG. 5 Unidade de micro-cogeração com reservatório de acumulação (fonte: Senertec – Dachs)

Este tipo de sistemas tem obtido um rápido sucesso em países do centro e norte da Europa com maiores necessidades de aquecimento do que as que se verificam nos países do sul da Europa e arco mediterrânico.

MOTORES STIRLING

O motor Stirling foi patenteado pelo inventor escocês Robert Stirling em 1816 e funciona segundo um ciclo termodinâmico que opera entre duas isotérmicas (temperatura constante) e duas isocóricas (volume constante). Ao contrário de um motor de combustão interna (e.g. ciclo Diesel ou Otto) o motor Stirling caracteriza-se por ser de combustão externa (e.g. através de um sistema de queima a gás natural), sendo o calor transferido, através de permutadores de calor, de e para um fluido de trabalho que se encontra confinado no interior do motor. Deste modo não ocorre troca de massa de fluido com o exterior como ocorre num motor de combustão interna.



FIG.6 Motor Stirling (fonte: www.websters-online-dictionary)

Interessa que o fluido de trabalho possua um calor específico reduzido de modo a que ocorram grandes variações de temperatura e de pressão com a transferência de calor. O hélio é um gás que preenche estes requisitos, podendo o motor Stirling operar, de igual modo, com azoto. Este tipo de motores também permite o funcionamento com ar mas a presença de oxigénio pode originar problemas operacionais, nomeadamente de explosão na zona quente do ciclo por combustão do óleo de lubrificação.

Para precaver este inconveniente é corrente os motores Stirling prescindirem de lubrificação das paredes do cilindro com óleo e recorrerem a segmentos de vedação manufacturados com polímeros e rolamentos selados com massa lubrificante de elevado ponto de fusão.

De modo a aumentar o rendimento termodinâmico do ciclo utiliza-se um regenerador de calor que permite pré-aquecer o ar de combustão da fonte de calor externa.

O motor Stirling caracteriza-se por um funcionamento bastante silencioso e é adequado a regimes de funcionamento com variações de carga reduzidas. Trata-se, assim, de um propulsor adequado a sistemas de micro-cogeração em que o excesso de energia eléctrica produzida pode ser injectado na rede sem necessidade de proceder a uma modulação no regime de funcionamento.

A principal desvantagem reside no facto de não permitir um arranque imediato (literalmente necessita de um período de aquecimento), além disso exibe uma densidade de potência bastante inferior à de um motor de combustão interna. Trata-se um motor cuja aplicação pode ser interessante até potências da ordem dos 100 kW_e.

UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM TURBINAS DE GÁS

As turbinas de gás são equipamentos que se caracterizam por velocidades de rotação bastante elevadas e que em grupos de cogeração de maior dimensão integram redutores mecânicos de velocidade (vulgo caixa de redução) para permitir o seu acoplamento ao alternador cuja velocidade de rotação é condicionada pela frequência da rede (e.g. 50 Hz).

As turbinas de gás utilizadas em unidade de micro-cogeração, como a que se encontra documentada na figura 7, excluem a utilização de um redutor de velocidade e encontram-se directamente acopladas ao rotor do alternador que accionam (muitas das vezes constituem uma única unidade). Garante-se a frequência de sincronismo para realizar o paralelo com a rede com recurso a electrónica de potência adequada.

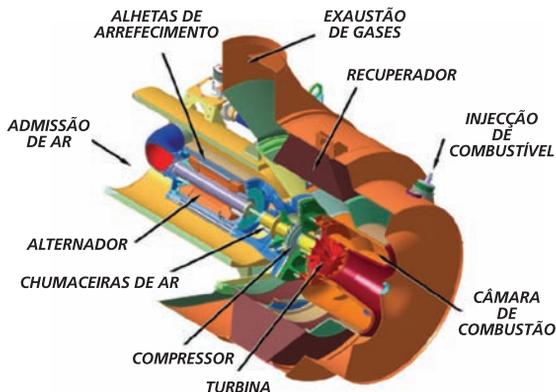


FIG. 7 Turbina de gás para aplicações em unidades de micro-cogeração (fonte: Capstone)

De modo a diminuir as perdas por atrito, estas turbinas de gás são equipadas com chumaceiras de almofada de ar que impedem um contacto directo entre as superfícies metálicas e prescindem da utilização de outros fluidos lubrificantes.

A recuperação de calor a partir dos gases quentes de exaustão da turbina faz-se com recurso a um permutador de calor que produz água quente. Estas unidades para instalação em edifícios de serviços beneficiam da sua modularidade e facilidade de instalação e ligação às redes eléctrica e de fluidos.

UNIDADES DE MICRO-COGERAÇÃO COM PILHAS DE COMBUSTÍVEL

Uma pilha de combustível como a representada na figura 8 converte directamente o oxigénio do ar com o hidrogénio que pode ser eventualmente produzido por um processo de reformação do gás natural, em energia eléctrica, vapor de água e dióxido de carbono (no caso de se utilizar um hidrocarboneto, como o gás natural, e não apenas hidrogénio).

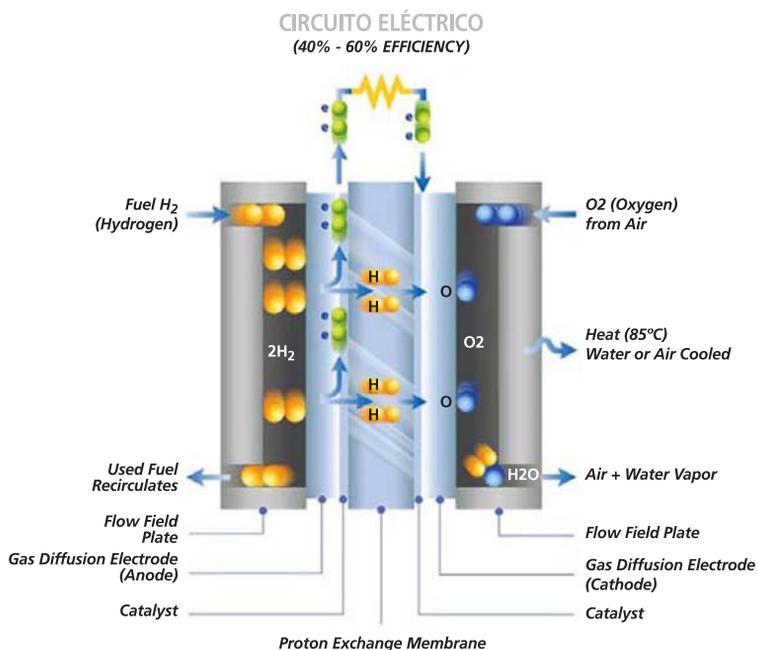


FIG. 8 Princípio de funcionamento de uma pilha de combustível PEM (fonte: Ballard)

Existem diversos tipos de pilhas de combustível como potenciais candidatas a serem utilizadas em sistemas de cogeração, tais como:

- AFC (Alkaline Fuel Cell);
- PEM (Proton Exchange Membrane);
- PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell);
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell);
- SOFC (Solid Oxid Fuel Cell).

As pilhas de combustível de óxido sólido (SOFC) e de carbonato fundido (MCFC) em virtude das temperaturas que permitem atingir, respectivamente 800 – 1000° C e 600 – 650° C têm um campo de aplicação industrial na produção de vapor. As pilhas de combustível do tipo PEM são as que apresentam uma configuração mais simples em que o electrólito acaba por ser um polímero e em que as temperaturas de funcionamento são da ordem dos 70 a 90° C com rendimentos eléctricos típicos de 35 a 45%.

A tabela seguinte resume as características principais dos diversos tipos de pilhas de combustível:

Tipo de pilha	Electrólito	Combustível	Oxidante	Ião Condutor	Temperatura de funcionamento (°C)	Rendimento eléctrico (%)	Potência Típica (kW)
AFC	KOH (hidróxido de potássio)	H ₂ puro	Ar + H ₂ O (s/CO ₂)	OH ⁻	60 - 90	55 - 60	< 7
PEM	Membrana de polímero	H ₂ puro	Ar (s/CO)	H ⁺	70 - 90	35 - 45	5 - 250
PAFC	Ácido fosfórico	H ₂	Ar (s/CO)	H ⁺	200	35 - 45	200
MCFC	Lítio, potássio, carbonato fundido	CH ₄ , H ₂ , CO	Ar + CO ₂	CO ₃ ²⁻	600 - 650	45 - 55	2000 - 3000
SOFC	Oxidos de itrio e zircónio	CH ₄ , H ₂ , CO	Ar	O ²⁻	800 - 1000	45 - 55	Tubular: 100 - 5000 Planar: 50-100

TABELA 1. Diferentes tecnologias de pilhas de combustível PEM (fonte: 6)

⁶ "Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications", Arthur D. Little Inc. e SULZER HEXIS

SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO DE CALOR

Os sistemas de micro-cogeração aproveitam os efluentes térmicos dos motores e turbinas para produção de água quente com recurso a permutadores de calor e /ou caldeiras nas suas mais variadas configurações de acordo com o esquema representado na figura seguinte:

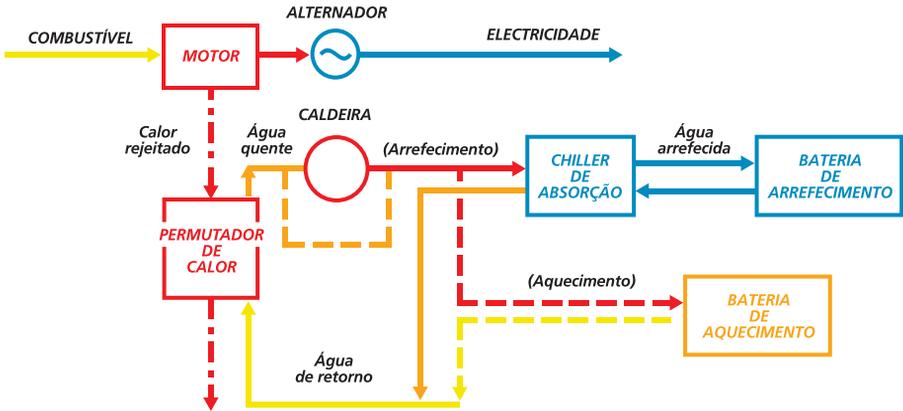


FIG. 9 Esquema de princípio de aproveitamento de calor numa cogeração / micro-cogeração

Em virtude da sua modularidade e devido ao facto de serem manufacturados nos mais diversos tamanhos, os permutadores de placas (figura 10) são extensamente utilizados na recuperação de calor dos circuitos de refrigeração de motores alternativos em esquemas de cogeração.

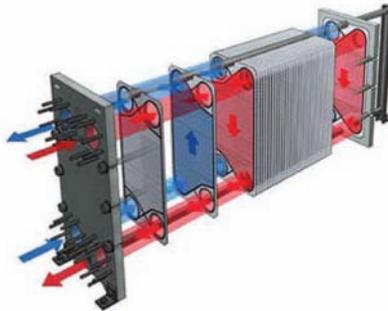


FIG.10 Permutador de placas (fonte: Spirax-Sarco)

As necessidades de aquecimento e arrefecimento nos países do centro e norte da Europa são substancialmente diferentes das do sul e arco Mediterrânico. Este facto é facilmente comprovável através da evolução da média mensal das temperaturas máxima e mínima em duas capitais europeias distintas (figura 11):

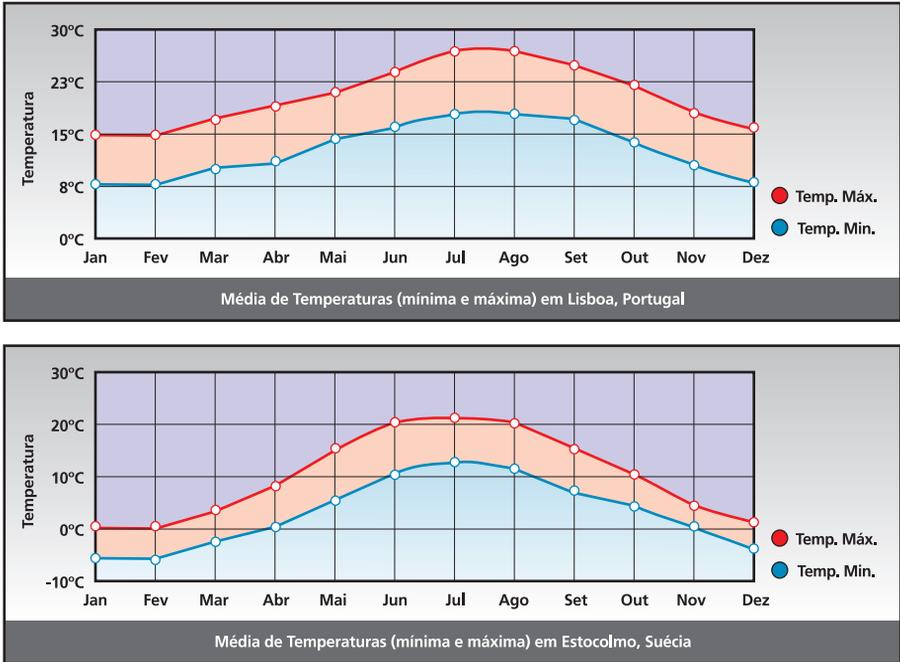


FIG.11 Média mensal das temperaturas máxima e mínima em Lisboa e Estocolmo
(fonte: www.weather-and-climate.com)

Importa que os sistemas de micro-cogeração possam também dar resposta às necessidades de arrefecimento durante a época estival, sendo necessário produzir energia térmica a baixa temperatura (e.g. água gelada) para suprir as necessidades dos sistemas de climatização, nomeadamente com recurso a máquinas de produção de frio (e.g. chillers).

Os chillers de absorção que operam com soluções aquosas de Brometo de Lítio (Li-Br) como o que está representado na figura seguinte são máquinas com um COP (Coeficiente Of Performance) baixo e são normalmente de grande dimensão e de custo elevado.



FIG.12 Chiller de absorção de duplo efeito (fonte: Climaespaço)

Os *chillers* de pequena dimensão destinados à recuperação de energia térmica disponibilizada quer por painéis solares quer por unidades de micro-cogeração começam a ser disponibilizados no mercado por vários fabricantes que propõem estes equipamentos (figura 13).



FIG.13 Chillers de absorção de pequena dimensão (fonte: Rotartica, Yazaki)

Existem sistemas bastante mais eficazes para a produção de frio como as bombas de calor de expansão directa cujo COP é 5 a 6 vezes superior à de um chiller de absorção. Não é no entanto inédita a utilização destes sistemas com unidades de micro-cogeração, nomeadamente as que integram pilhas de combustível.

CHILLERS DE ADSORÇÃO

Os *chillers* de adsorção, à semelhança dos *chillers* de absorção, utilizam água como refrigerante, sendo o efeito de arrefecimento obtido pela vaporização da água a baixa pressão e temperatura. Enquanto nos *chillers* de absorção o vapor de água é absorvido por uma solução de brometo de lítio, nos *chillers* de adsorção o vapor de água é retido num material higroscópico tal como a sílica gel (SiO_2). A sílica gel pode ser regenerada, indefinidamente, com água quente com temperaturas compreendidas, tipicamente, entre 70 e 85 °C. De salientar que os *chillers* de adsorção apresentam melhor desempenho que os *chillers* de absorção quando a fonte de calor está a uma temperatura mais baixa, o que torna a sua utilização interessante quando não se dispõe de uma fonte de calor a alta temperatura.

DIAGRAMAS DE CARGA

O diagrama de carga diário ilustrado na figura 14 demonstra o interesse da colocação em serviço de instalações de micro-cogeração que forneçam calor na altura do dia em que as necessidades de calor são máximas, operando, deste modo, durante os períodos em que a procura de electricidade é também máxima, sendo esta normalmente assegurada por centrais com queima de combustíveis fósseis. Como as centrais de micro-cogeração são mais eficientes em termos energéticos porque produzem, simultaneamente, energia eléctrica e térmica a partir da mesma fonte de energia primária permitem um eventual deslastre de centrais termoeléctricas mais poluentes.

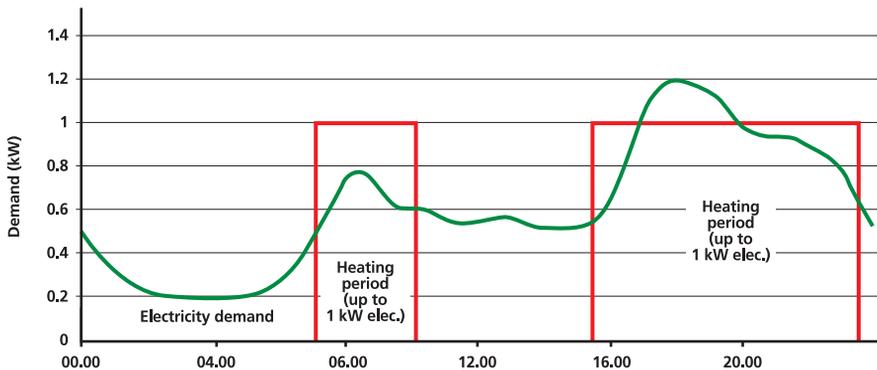


FIG.14 Diagrama de carga eléctrica de uma habitação (fonte: COGEN Europe)

Em última análise os utilizadores de centrais de micro-cogeração promovem a poupança energética, reduzem as perdas nas redes de distribuição locais e por fim ajudam a equilibrar a rede eléctrica, compensando a intermitência característica dos aproveitamentos energéticos renováveis.

A figura seguinte ilustra os diagramas de carga anuais em termos eléctricos e térmicos para um espaço de escritórios:

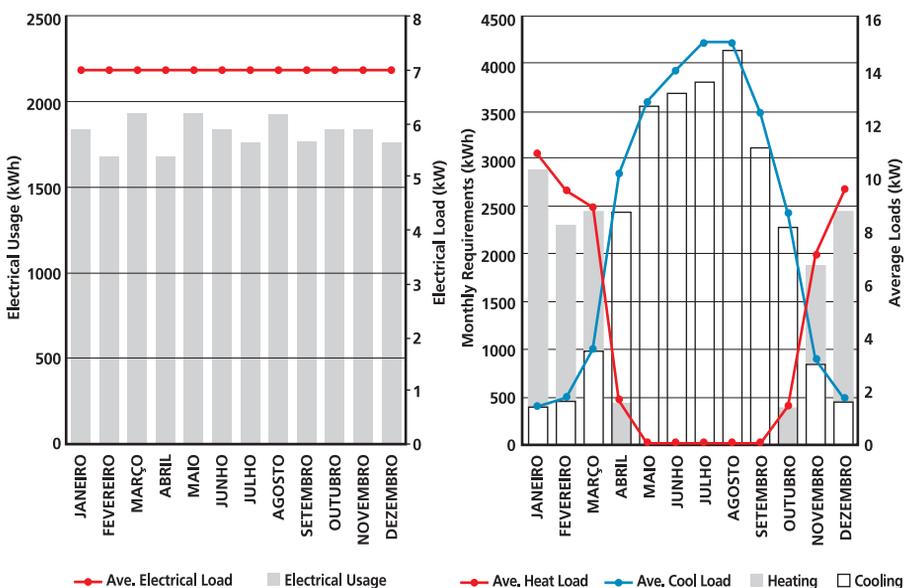


FIG.15 Diagramas de carga para um espaço do sector terciário (fonte:7)

Neste caso é possível verificar que a energia eléctrica consumida ao longo do ano apresenta uma variação limitada o que já não acontece em termos térmicos onde as necessidades de arrefecimento dos espaços aumentam muito significativamente durante a estação de arrefecimento. A instalação de uma unidade de micro-cogeração deveria prever a produção de energia térmica de arrefecimento (de realização mais complexa e onerosa) sob risco de desaproveitamento da energia térmica e, conseqüentemente, uma diminuição do rendimento global.

⁷ "Thermoeconomic modelling of micro-CHP",
Moran A., 2008

A MICRO-COGERAÇÃO COMO ALTERNATIVA A OUTRAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO

A micro-cogeração permite substituir ou complementar, em algumas situações, equipamento de produção exclusiva de energia térmica, como por exemplo caldeiras murais para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e / ou aquecimento ambiente, permitindo a produção simultânea de energia eléctrica.

A figura 16 ilustra um esquema de princípio de implementação de uma unidade de micro-cogeração com base num motor alternativo com aplicação no sector doméstico e pequeno terciário:

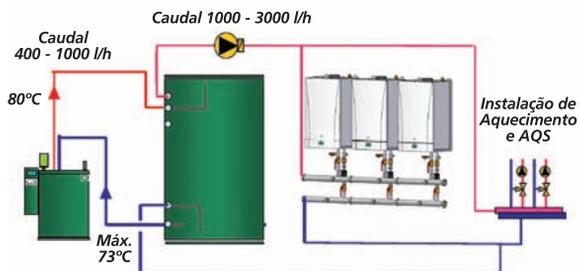


FIG.16 Esquema de princípio de uma micro-cogeração (fonte: BaxiROCA)

A manutenção das caldeiras murais permite uma redundância do sistema em caso de avaria ou numa situação em que seja necessário incrementar a produção de energia térmica.

É também possível a produção de água gelada para utilização em sistemas de climatização tais como ventilo-convectores ou unidades de tratamento de ar. Neste caso a energia térmica recuperada é utilizada em sistemas de arrefecimento com base em *chillers* de absorção, sendo possível a produção em micro-trigeração (i.e. energia eléctrica, energia térmica a alta e baixa temperatura).

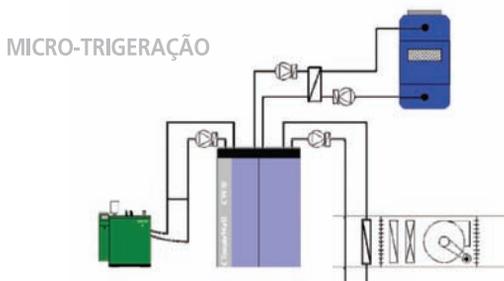


FIG.17 Esquema de princípio de uma micro-trigeração (fonte: BaxiROCA)

4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ESQUEMAS DE MICRO-COGERAÇÃO

PISCINAS MUNICIPAIS DE SANTA MARTA DE PENAGUIÃO



FIG.18 Piscinas Municipais e Central de Microcogeração

(fonte: Município St Marta de Penaguião; AMVDN)

Esta infraestrutura inaugurada em 2000 destina-se a servir a população dos municípios de Penaguião e do Peso da Régua. Posteriormente, em 2004, foi instalada uma unidade de micro-cogeração que se destina ao aquecimento da piscina interior de aprendizagem com uma dimensão de 16,6 x 10 m assim como do sistema AQS (Águas Quentes Sanitárias).

O complexo desportivo conta também com uma piscina exterior com 25 x 12 m com potencialidades para provas de natação, um tanque infantil circular (5 m de raio) e um solário numa área total de 3250 m².

Central de micro-cogeração (Sta Marta de Penaguião)	Especificações
Tecnologia	Motor a gás
Marca	Skoda
Cilindrada	1300 cm ³
Combustível	Gás natural
Potência eléctrica	22 kW
Potência térmica (água quente)	45,5 kW
Ano de arranque da instalação	2004
Investimento	33 000 Euros
Condições de funcionamento	
Número de horas de funcionamento anual	6 000 (aprox.)
Energia eléctrica produzida anualmente	130 944 kWh
Energia térmica produzida anualmente	261 888 kWh
Consumo de gás natural	N/D

ETAR DE VILA REAL



FIG.19 ETAR de Vila Real (fonte: ATMAD)

A Estação de Tratamento de Águas Residuais, da responsabilidade das Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro (ATMAD), conta com uma unidade de micro-cogeração alimentada a biogás produzido a partir da digestão anaeróbia das lamas. Este projecto decorre de uma parceria entre a ATMAD, a empresa Tecaprod, a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e a Agência de Inovação. A unidade de micro-cogeração compreende dois grupos geradores com uma potência nominal total de 100 kW_e, sendo a energia térmica recuperada utilizada no próprio processo de digestão anaeróbia.

HOTÉIS AEGEAN E EGNATIA (SALÓNICA – GRÉCIA)



FIG. 20 Sistema de micro-cogeração no sector hoteleiro (fonte: CODE project)

Foram instaladas duas unidades de micro-cogeração nos hotéis *Aegean* e *Egnatia* situados no centro da cidade de Salónica na Grécia. Cada unidade baseia-se num motor alternativo a gás natural acoplado a um

gerador síncrono. O calor é recuperado sob a forma de água quente com recurso a permutadores de calor. A água quente é utilizada durante todo o ano em águas quentes sanitárias (AQS) e para aquecimento ambiente durante o Inverno, permitindo uma poupança de gasóleo de aquecimento em caldeiras. O lucro resultante da operação destes sistemas ascende a 14.000 Euros anuais por unidade hoteleira.

A unidade de micro-cogeração funciona em conjunto com um sistema de colectores solares, tendo sido um dos primeiros sistemas híbridos em funcionamento na Grécia.

Central de micro-cogeração (Hotéis Aegean e Egnatia)	Especificações
Tecnologia	Motor a gás
Número de unidades	2
Combustível	Gás natural
Potência eléctrica (total)	40 kW _e
Potência térmica (total)	86 kW _t
Ano de arranque da instalação	2006
Investimento	142 700 Euros
Condições de funcionamento	
Número de horas de funcionamento anual	3 600 (aprox.)
Energia eléctrica produzida anualmente	145 000 kWh
Energia térmica produzida anualmente	100 000 kWh
Consumo de gás natural	ND

5. REFERÊNCIAS

- **Micro CHP: Empowering people today for a smarter future tomorrow**
COGEN Europe, December 2010
- **Sytze Dijkstra**
Micro-CHP – Edging towards the mass market
COSPP- Cogeneration and On-site Power Production, July – August 2009
- **Fred Starr “Power from the People – Stirling Engines for Domestic CHP”**
INGENIA
- **Solarcombi+**
Sonnenklima package solution description
October 2009
- **Jeremy Harrison**
Microgeneration
Claverton Energy Forum
- Technical Description Adsorption Chiller NAK – GBU mbH

www.code-project.eu

www.rotartica.com

www.sonnenklima.de

www.yazaki-airconditioning.com

ANEXO 1

Valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de electricidade.

Ano de Construção Tipo de Combustível:		1996 e anter.	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006- -2001
Sólidos	Carvão de pedra/coque	39,7%	40,5%	41,2%	41,8%	42,3%	42,7%	43,1%	43,5%	43,8%	44,0%	44,2%
	Lignite/briquetes de lignite	37,3%	38,1%	38,8%	39,4%	39,9%	40,3%	40,7%	41,1%	41,4%	41,6%	41,8%
	Turfa/briquetes de turfa	36,5%	36,9%	37,2%	37,5%	37,8%	38,1%	38,4%	38,6%	38,8%	38,9%	39,0%
	Lenha	25,0%	26,3%	27,5%	28,5%	29,6%	30,4%	31,1%	31,7%	32,2%	32,6%	33,0%
	Biomassa agrícola	20,0%	21,0%	21,6%	22,1%	22,6%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,7%	25,0%
	Resíduos biodegradáveis (municipais)	20,0%	21,0%	21,6%	22,1%	22,6%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,7%	25,0%
	Resíduos não renováveis (municipais e industriais)	20,0%	21,0%	21,6%	22,1%	22,6%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,7%	25,0%
	Xisto betuminoso	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	38,9%	39,0%
Líquidos	Petróleo (gasóleo + fuelóleo residual), GPL	39,7%	40,5%	41,2%	41,8%	42,3%	42,7%	43,1%	43,5%	43,8%	44,0%	44,2%
	Biocombustíveis	39,7%	40,5%	41,2%	41,8%	42,3%	42,7%	43,1%	43,5%	43,8%	44,0%	44,2%
	Resíduos biodegradáveis	20,0%	21,0%	21,6%	22,1%	22,6%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,7%	25,0%
	Resíduos não renováveis	20,0%	21,0%	21,6%	22,1%	22,6%	23,1%	23,5%	24,0%	24,4%	24,7%	25,0%
Gases	Gás natural	50,0%	50,4%	50,8%	51,1%	51,4%	51,7%	51,9%	52,1%	52,3%	52,4%	52,5%
	Gás de refinaria/hidrogénio	39,7%	40,5%	41,2%	41,8%	42,3%	42,7%	43,1%	43,5%	43,8%	44,0%	44,2%
	Biogás	36,7%	37,5%	38,3%	39,0%	39,6%	40,1%	40,6%	41,0%	41,4%	41,7%	42,0%
	Gases de fornos de coque, gases de altos fornos, outros gases residuais, calor residual recuperado	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%	35%	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%

ANEXO 2

Valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de calor.

Tipo de Combustível:		Valor(*) / água quente	Utilização directa de gases de escape (**)
Sólidos	Carvão de pedra/coque	88%	80%
	Lignite/briquetes de lignite	86%	78%
	Turfa/briquetes de turfa	86%	78%
	Lenha	86%	78%
	Biomassa agrícola	80%	72%
	Resíduos biodegradáveis (municipais)	80%	72%
	Resíduos não renováveis (municipais e industriais)	80%	72%
	Xisto betuminoso	86%	78%
Líquidos	Petróleo (gasóleo + fuelóleo residual), GPL	89%	81%
	Biocombustíveis	89%	81%
	Resíduos biodegradáveis	80%	72%
	Resíduos não renováveis	80%	72%
Gases	Gás natural	90%	82%
	Gás de refinaria/hidrogénio	89%	81%
	Biogás	70%	62%
	Gases de fornos de coque, gases de altos fornos + outros gases residuais	80%	72%

(*) No caso dos Estados-Membros que aplicam o nº 2 do artigo 12º da Directiva 2004/87CE, caso seja incluído o retorno de condensados nos cálculos de uma unidade de cogeração, subtrair 5 pontos percentuais absolutos à eficiência do vapor.

(**) Se a temperatura for igual ou superior a 250°C, devem ser utilizados os valores relativos ao calor directo.

ANEXO 3

Factores de correcção relativos às perdas da rede evitadas para aplicação de valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de electricidade.

Tensão	Para a electricidade exportada para a rede	Para a electricidade consumida no local
> 200 kV	1	0,985
100 - 200 kV	0,985	0,965
50 - 100 kV	0,965	0,945
0,4 - 50 kV	0,945	0,925
< 0,4 kV	0,925	0,860



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PROMOÇÃO DA COGERAÇÃO

Rua de Salazares, 842 • 4149-002 Porto
Tel. +351 226 153 310 • Fax +351 226 153 319
cogen.portugal@cogenportugal.com
www.cogenportugal.com

OUTUBRO 2011





C O G E N
P O R T U G A L

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
E PROMOÇÃO DA COGERAÇÃO

www.cogenportugal.com