

Planeamento e Produção de Electricidade

Eng^a . Electrotécnica e de Computadores
2007-2008



Cogeração e Trigeração

Ana Filipa Ribeiro Tavares França
Luís Pedro Venâncio da Costa Caseiro

Índice

1. Introdução.....	1
2.1 – Aplicações de Cogeração.....	2
2.2 – Vantagens e Limitações da Cogeração / Trigerção	3
2.2.1- Vantagens.....	3
2.2.2- Limitações	6
3.Tecnologias de Cogeração/Trigerção	7
3.1-Tecnologias Convencionais de Cogeração	8
3.1.1 – Turbina de Gás (ciclo de Brayton)	8
3.1.2 – Turbina de vapor (ciclo de Rankine)	11
3.1.3 – Ciclo Combinado.....	13
3.1.6 – Microturbinas	19
3.1.7 – Células/ Pilhas de Combustível	22
3.1.8- Motores Stirling	25
3.2 - Tecnologias de Trigerção.....	27
3.2.1 – Unidades Produtoras de água refrigerada.....	27
3.2.1.1- Chillers de compressão e de absorção.....	28
3.2.1.2- Chillers de adsorção	31
3.4 Comparação entre Tecnologias de Cogeração.....	33
4.1 Produção por Tecnologias e Sectores.....	34
4.2 Projectos de Cogeração	37
5. Trigerção em Portugal.....	39
5.1 Projectos de Trigerção.....	42
5.2 Instalações Hospitalares	44
5.2.1. – Hospital Pedro Hispano.....	45
5.2.2. - Hospital Garcia de Horta.....	46
5.2.3. - Hospital São Francisco Xavier.....	47
6. Legislação	48
8. Referências.....	53

8.1 – W W W	53
8.2 – Bibliográficas	54

1. Introdução

A necessidade de diminuir os consumos de energia, não só por questões financeiras mas também por questões ambientais fez com que fossem feitos esforços no sentido da implementação de sistemas de energias renováveis ou mesmo com rendimentos o quanto mais elevados possíveis.

É neste sentido que surge a Cogeração / trigeração pois consegue o reaproveitamento da energia desperdiçada sob a forma de energia térmica, aumentando desta forma claramente o rendimento.

A Cogeração, também denominada CHP (Combined Heat and Power), consiste na produção simultânea de energia eléctrica (ELECTRICIDADE) ou mecânica e energia térmica (CALOR) através do mesmo combustível numa determinada instalação.

Por sua vez a Trigeração é denominada por CHCP (Combined Heat, Cooling and Power) e é um processo alargado de Cogeração produzindo electricidade, calor e frio.

A sua implementação é conhecida desde os anos 80 nos E.U.A. apesar de não ser até aí uma tecnologia completamente desconhecida.

2. Cogeração / Trigeração (Conceito)

As centrais termoeléctricas convencionais convertem apenas 1/3 da energia do combustível em energia eléctrica. O restante são perdas sob a forma de calor. O efeito adverso no ambiente derivado deste desperdício é óbvio. Portanto, a necessidade de aumentar a eficiência do processo de produção de electricidade é essencial e imperativa. Um método para se conseguir isto é através da Cogeração, em que mais de 4/5 da energia do combustível é convertida em energia utilizável, resultando em benefícios financeiros e ambientais.

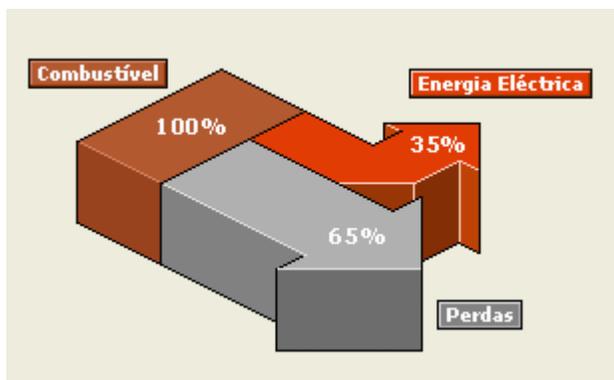


Figura 1.1 – Balanço energético de um sistema convencional

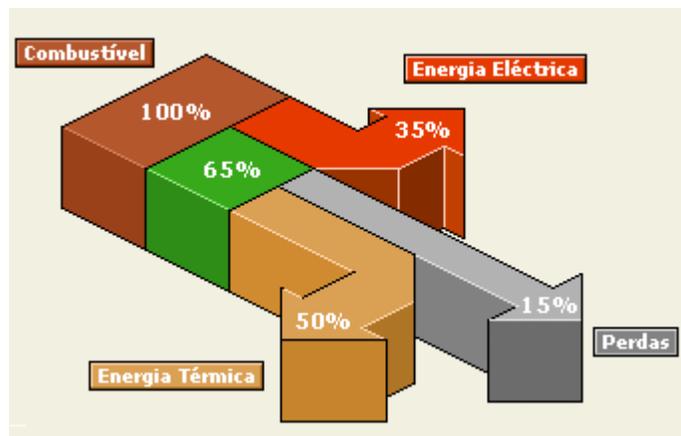


Figura 1.2 – Balanço energético de um sistema Cogeração / Trigeração

No sector terciário dos países do Sul, as necessidades de aquecimento são limitadas a alguns meses de Inverno. Há, contudo, necessidades de arrefecimento (ar condicionado) significativas durante os meses de Verão. A energia térmica proveniente de uma instalação de Cogeração pode, neste caso, ser utilizada para produzir frio, através de um ciclo de absorção.

Sabendo que a Cogeração / trigeriação é um processo de produção de energia muito eficiente, possibilitando uma série de benefícios, é nesse sentido que a nível local, pode reduzir significativamente a factura energética do utilizador, enquanto que a um nível global reduz o consumo das reservas de combustíveis fósseis, conduzindo a uma redução significativa do impacto ambiental do uso destes mesmos combustíveis. Substituindo o combustível fóssil pelo calor que normalmente é dissipado no processo de geração de energia, este sistema tem uma eficiência três, ou até mesmo quatro vezes superior ao convencional. Pode aplicar-se à indústria e aos edifícios onde há necessidades de energia eléctrica e energia térmica e, usualmente, em situações em que o número de horas anuais de operação seja superior a 4.500 horas.

As unidades de Cogeração / trigeriação são classificadas segundo a sua dimensão como micro (<50 kW) e pequena escala (< 1MWe). Outro conceito que é introduzido é que a eficiência global é determinada pelo total de energia produzida e combustíveis gastos anualmente. Define-se como Cogeração / trigeriação de elevada eficiência as instalações que permitam uma poupança de energia superior a 10%.

Como foi referido anteriormente a Cogeração consiste no aproveitamento do calor residual dos processos termodinâmicos, que de outra forma seria desperdiçado. Assim, um processo de Cogeração consiste em aproveitar o calor não convertido em energia mecânica, ou seja, perdas sob a forma de energia térmica do processo, para uma aplicação secundária. Definindo então desta maneira podemos dizer que a sua eficiência poderá ser dada pela relação:

$$\varepsilon = (\text{Trabalho útil produzido} + \text{Energia térmica produzida}) / (\text{Energia térmica fornecida})$$

$$\varepsilon = (W_{\text{útil}} + Q_{\text{processo}}) / (Q_{\text{in}})$$

2.1 – Aplicações de Cogeração

Os sistemas de Cogeração foram desenhados e construídas para variadas aplicações. Existem centrais desde os 15KW aos vários MW, pelo que qualquer consumidor de energia poderá utilizar este tipo de sistema.

E assim, surgem aplicações diversificadas em vários sectores, nomeadamente no:

❖ Sector Industrial – Calor de Processo – Produção de Vapor

Indústria Química, Petroquímica e Farmacêutica;

Indústria de Alimentos e Bebidas;

Indústria de Papel e Celulose;

Indústria Têxtil.

❖ Sector Industrial – Aquecimento Directo – Forno Alta Temperatura

Indústria de Vidro;

Indústria de Cimento;

Siderúrgica;

❖ **Sector Comércio e Serviços – Ar Condicionado Central, Aquecimento de água**

Centros Comerciais;

Supermercados;

Hotéis;

Hospitais;

Clubes Desportivos;

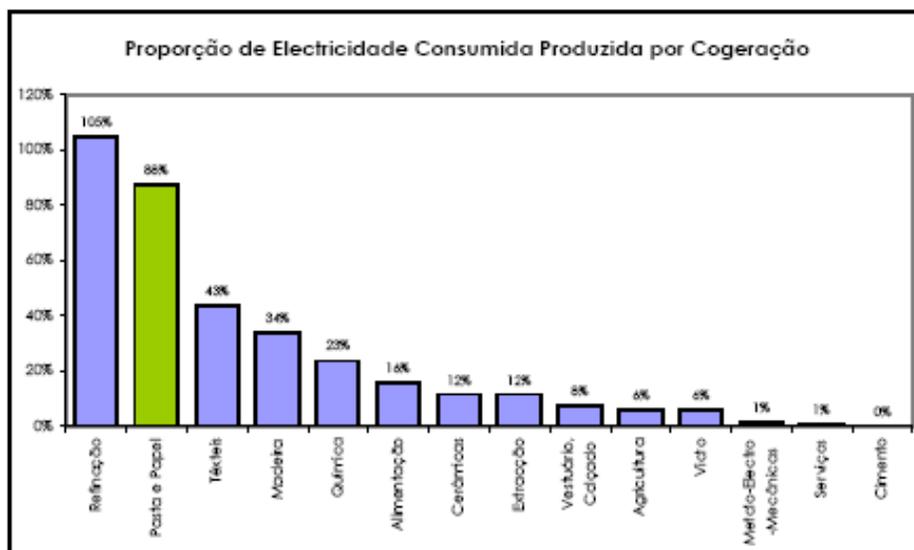


Gráfico 1 – Consumo de electricidade produzida na Cogeração nos vários sectores

A Cogeração é mais frequente na indústria, contudo, no Sector Terciário, se bem que o seu uso possa ser razoavelmente intensivo (um grande número de horas por ano), não se verifica uma relação muito estreita entre o consumo de energia e o tipo de actividade, dependendo este mais das condições climáticas.

As principais necessidades de energia térmica são para aquecimento, ventilação e ar condicionado e em menos extensão como vapor e água quente para várias utilizações, tais como lavandarias, cozinhas, esterilização, etc.

A Cogeração também tem aplicações na área dos recursos renováveis, sendo que se aproveitam os biocombustíveis sólidos como a Biomassa, (com origem em indústrias transformadoras de resíduos, tipo cortiça ou madeira) e gasosos (com origem industrial ou em aterros sanitários) como fontes de energia.

2.2 – Vantagens e Limitações da Cogeração / Trigeração

2.2.1- Vantagens

Sabendo que a Cogeração consiste no aproveitamento do calor residual dos processos termodinâmicos, que de outra forma seria desperdiçado, entre 70% a 90% da energia contida no combustível pode ser utilizada de uma forma útil, o que permitirá reduzir as emissões de CO₂, (gráfico 2), principal gás de efeito de estufa (GEE), face a outras tecnologias de produção, ou no caso da Cogeração a gás natural, a utilização daquele que é considerado o mais limpo dos combustíveis fósseis, com o qual as emissões de partículas e de óxidos de enxofre é praticamente nula. Isto, para além das melhorias que são notórias, vai permitir uma maior preservação das reservas energéticas não renováveis.

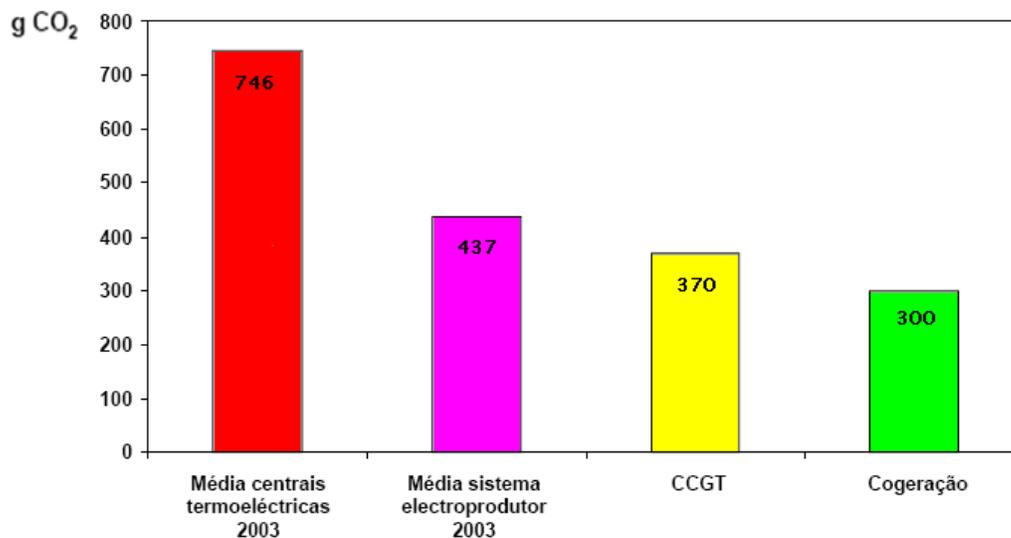


Gráfico 2 - Emissões de CO₂ com a Cogeração

No sector terciário a Cogeração / Trigeração já provou ser uma solução adequada para instalações como Hotéis, Hospitais, Centros de lazer, Piscinas, Escolas, Aeroportos, Hipermercados e grandes Centros Comerciais.

Naturalmente que um sistema de Cogeração é mais eficiente do que o sistema tradicional alternativo para obtenção do mesmo serviço de electricidade e calor, composto por um sistema gerador e por uma caldeira.

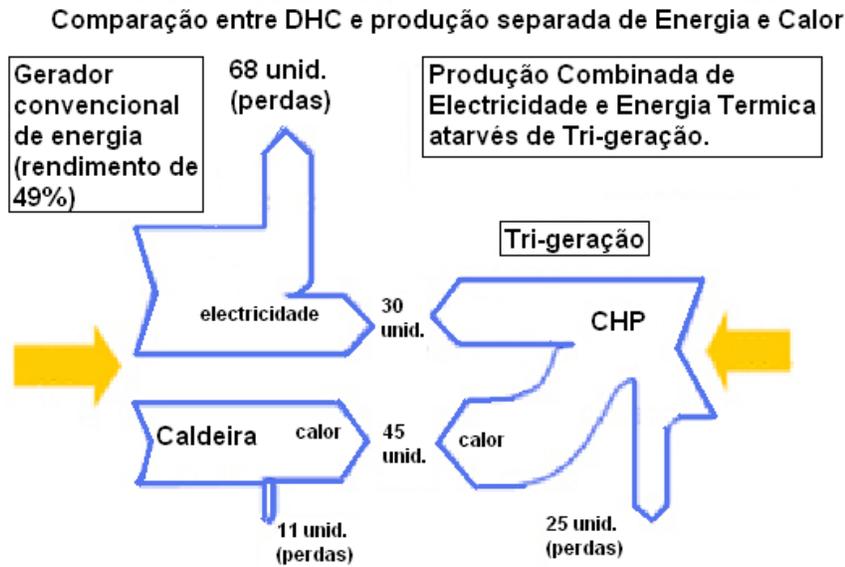


Figura 2- Comparação dos rendimentos de um sistema de Cogeração e de um sistema convencional de produção separada de electricidade e calor.

A Figura 2 ilustra o acréscimo no rendimento global do processo. Pode observar-se que, para obtenção do mesmo produto final, os sistemas de Cogeração/trigeração requerem apenas cerca de 70% da energia primária necessária num sistema tradicional. Como consequência deste ganho de eficiência, advêm benefícios ambientais significativos, decorrentes da diminuição das emissões poluentes por unidade de energia útil produzida.

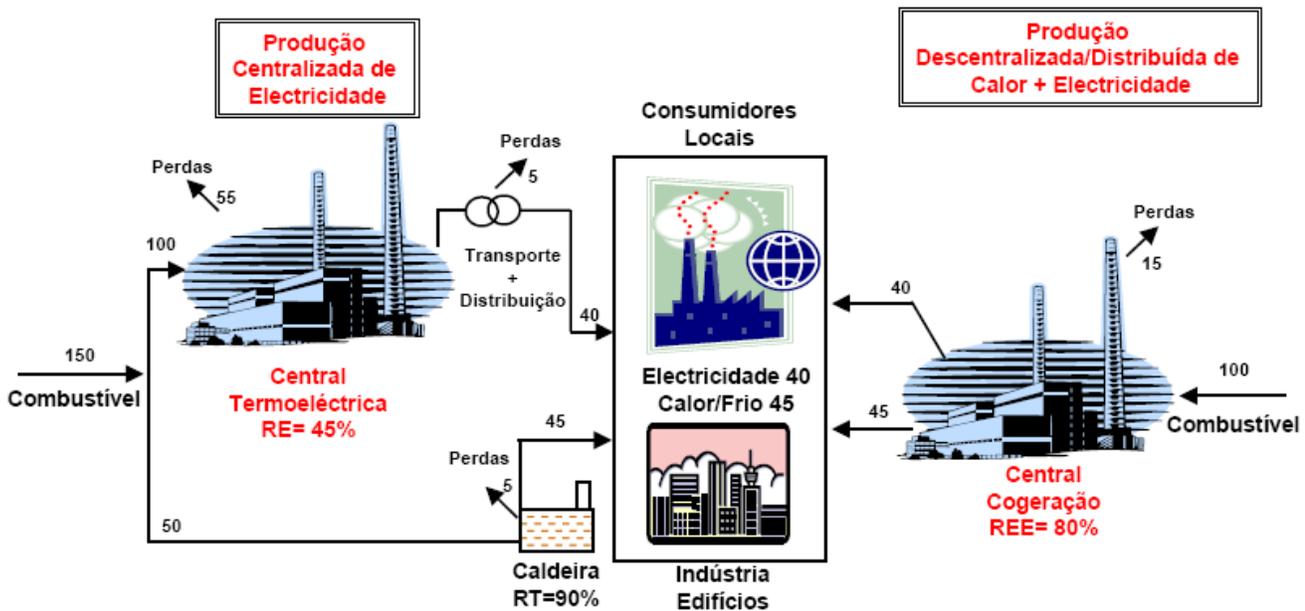


Figura 3 - Comparação de eficiências - Cogeração/trigeração Vs convencionais.

Na figura 3, o sistema de Cogeração refere-se a valores correspondentes a uma turbina de gás com recuperação de calor (estes valores variam consoante a tecnologia de Cogeração utilizada).

Este esquema ajuda-nos a perceber as grandes vantagens que a Cogeração/trigeração tem em relação a outras tecnologias pois uma aposta num sistema deste tipo tem os seguintes benefícios:

- ❖ **Economias de energia primária:** A implementação bem sucedida de cogeração e trigeração conduz a uma redução do consumo de combustível em aproximadamente 25% comparativamente à produção convencional de energia eléctrica.
- ❖ **Redução de emissões poluentes:** A redução da poluição atmosférica segue a mesma proporção. Com a utilização de gás natural em vez de combustíveis derivados do petróleo ou carvão, as emissões de SO₂ e partículas são reduzidas a zero.
- ❖ **Benefícios económicos:** As vantagens para o utilizador final são económicas. Os custos energéticos das instalações de trigeração são menores do que os das instalações “convencionais”. Em instalações bem sucedidas de CHP a redução de preços pode ser da ordem dos 20-30%.
- ❖ **Aumento da fiabilidade do aprovisionamento energético:** Uma central CHP ligada à rede eléctrica, à qual fornece ou de que recebe energia eléctrica, garante a operação ininterrupta da unidade, no caso de falha do funcionamento da central ou do abastecimento a partir da rede. Ao nível nacional favorece a produção descentralizada, reduzindo a necessidade de instalação de grandes centrais termo-eléctricas, e aumenta a estabilidade da rede eléctrica do país. Contribui também para o aumento do emprego a nível local.
- ❖ **Aumento da estabilidade do sistema eléctrico:** As unidades de trigeração proporcionam um alívio significativo às redes do sistema eléctrico durante os meses de Verão. Cargas de arrefecimento são transferidas da electricidade para um combustível fóssil, uma vez que o processo de arrefecimento/refrigeração muda dos largamente utilizados ciclos de compressão de vapor para os de absorção. Isto contribui ainda para o aumento da estabilidade das redes eléctricas e para a melhoria da eficiência do sistema, porquanto os picos de Verão são servidos pelas empresas eléctricas distribuidoras através de unidades de apoio ineficientes e linhas de transporte de energia eléctrica sobrecarregadas.

2.2.2- Limitações

Não se pode afirmar que a Cogeração/Trigeração é um sistema perfeito, apesar de todas suas vantagens já enunciadas e demonstradas anteriormente também este tem as suas limitações tal como qualquer outro sistema convencional e para este caso estas são:

- ❖ A necessidade de efectuar estudos de viabilidade económica de modo a determinar até que ponto o investimento é rentável economicamente ou não.

- ❖ O investimento inicial elevado. O custo de investimento numa central de Cogeração/trigeração ronda em média os 750 €/kW.
- ❖ Os lucros dependentes do preço da electricidade e do combustível utilizado e estes estão em constante alteração.
- ❖ Problemas com poluição sonora e poluição local.

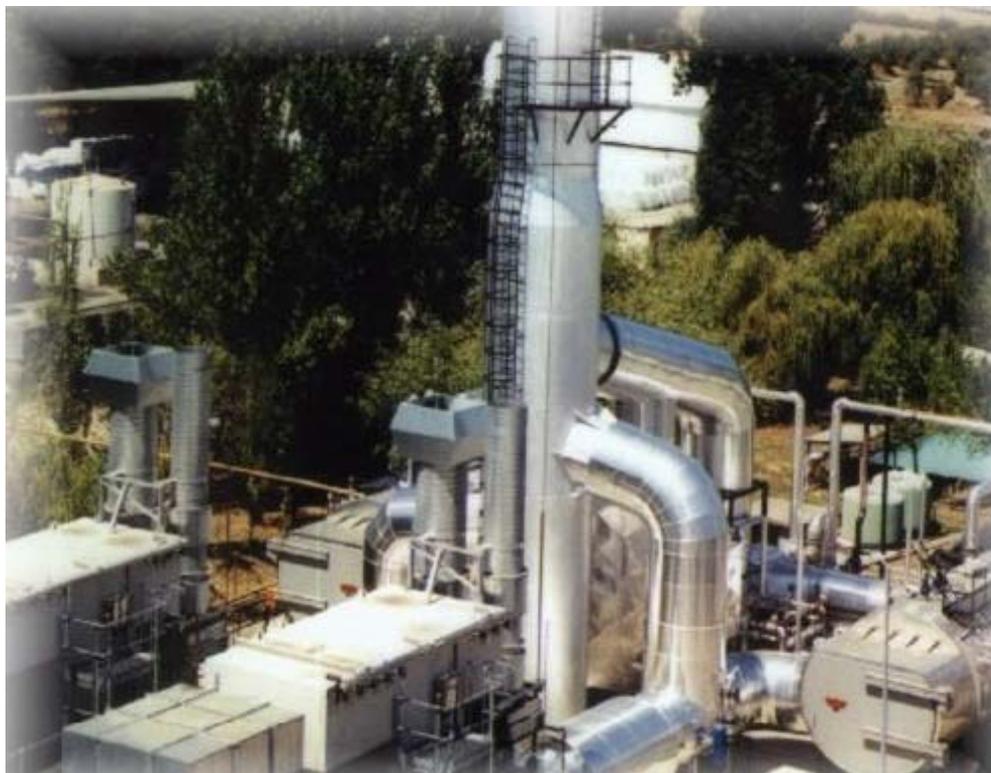


Figura 4 – Central de Cogeração

3. Tecnologias de Cogeração/Trigeração

A parte básica de uma instalação de Cogeração é a máquina que produz electricidade e energia térmica. Esta máquina caracteriza a instalação ou central de Cogeração. A segunda parte mais importante é o aparelho que produz frio (no caso de Trigeração), utilizando a energia térmica do processo de Cogeração (chiller de absorção). Esses dois componentes serão aqui apresentados em separado.

Presentemente, as tecnologias mais importantes disponíveis no mercado para Cogeração/Trigeração são:

- **Turbina de Gás (ciclo de Brayton);**
- **Turbina de Vapor (ciclo de Rankine);**
- **Ciclo Combinado;**
- **Motor alternativo de Combustão Interna (ciclo Diesel ou Otto);**
- **Microturbinas;**
- **Células/Pilhas de combustível;**
- **Motores stirling;**
- **Unidades Produtoras de água refrigerada (Vulgo “Chillers”);**

As primeiras quatro tecnologias, usando Turbinas ou Motores alternativos de Combustão Interna têm, sido aplicadas adequadamente em instalações de Cogeração nas últimas décadas. As tecnologias de Pilhas de Combustível e microturbinas e motores stirling estão ainda numa fase de desenvolvimento e início de comercialização. Todas estas máquinas motrizes e sistemas têm sido continuamente desenvolvidas e produzidas por empresas Europeias durante muitas décadas.

Para Trigeriação, os tipos vulgarmente mais aplicados são os Motores de Combustão Interna, muitas das vezes em grupos de mais do que um para fazer face à variação de cargas. As Turbinas de Gás são utilizadas em grandes complexos de edifícios tais como hospitais ou redes urbanas de calor e frio. As turbinas de vapor não são utilizadas no Sector Terciário.

As Pilhas de Combustível são ideais para operação no Sector Terciário, devido ao seu funcionamento eficiente e silencioso. Actualmente o seu custo de produção é demasiado elevado para permitir a sua penetração no mercado, o que espera que venha a ocorrer dentro de poucos anos. A outra vantagem fundamental deste sistema, na verdade, reside nos subprodutos da operação, nomeadamente o hidrogénio. Este pode ser utilizado como meio de armazenamento de energia, criando um tampão entre as necessidades energéticas e a produção. Isto é extremamente importante para o aumento do rendimento global (e do factor de utilização) da instalação de Cogeração/Trigeriação.

Uma última tecnologia, sob intensa investigação durante os anos mais recentes, é as microturbinas. Uma notável investigação tem tido lugar principalmente nos E.U.A., para o desenvolvimento de tais turbinas, dando ênfase à sua aplicação em veículos e em instalações de Cogeração. Como seria de esperar neste estágio, o rendimento é baixo e o preço elevado.

3.1-Tecnologias Convencionais de Cogeração

3.1.1 – Turbina de Gás (ciclo de Brayton)

Gama de potência eléctrica (MW): 0.2-100 ou até superior;

Tipos de configuração:

- Turbina de gás de ciclo aberto;
- Turbina de gás de ciclo fechado;

Componentes:

- Compressor;
- Câmara de combustão;
- Turbina de Gás;

Funcionamento:

O ar entra no compressor, onde a pressão e a temperatura são aumentadas, misturado com um combustível a combustão ocorre. Os gases quentes são expandidos na turbina até à pressão atmosférica, produzindo-se trabalho. O compressor funciona com 65% da energia da turbina, enquanto os restantes 35% são energia mecânica disponível no eixo da turbina. Um alternador acoplado ao veio da turbina produz electricidade. A energia térmica dos gases de combustão é recuperada em caldeiras de recuperação de calor.

Condições de Funcionamento:

A combustão dá-se com um excesso de ar elevado. Os gases de escape saiem da câmara de combustão a uma temperatura elevada e com teores de oxigénio até 15-16%. A temperatura mais elevada do ciclo aparece neste ponto, quanto maior é esta temperatura (na ordem dos 1300°C) maior é o rendimento. Os gases de escape saiem da turbina a uma temperatura considerável de cerca de 450-600°C.

Tipos de Combustível:

Gás natural, derivados do petróleo (gasóleo, diesel) e produtos de gasificação de carvão. Deve ser dada atenção ao facto das pás da turbina, numa turbina de gás de ciclo aberto, estarem directamente expostas aos gases de exaustão, pelo que os produtos da combustão não devem conter constituintes que provoquem corrosão. Numa turbina de ciclo fechado podem ser utilizados resíduos industriais ou mesmo urbanos e ainda energia solar ou nuclear.

Rendimento: 60-80%

Período de instalação: 9-14 meses e para grandes sistemas pode atingir os dois anos.

Tempo de Vida: 15-20 anos.

A figura 5 ilustra o funcionamento típico de uma turbina a gás.

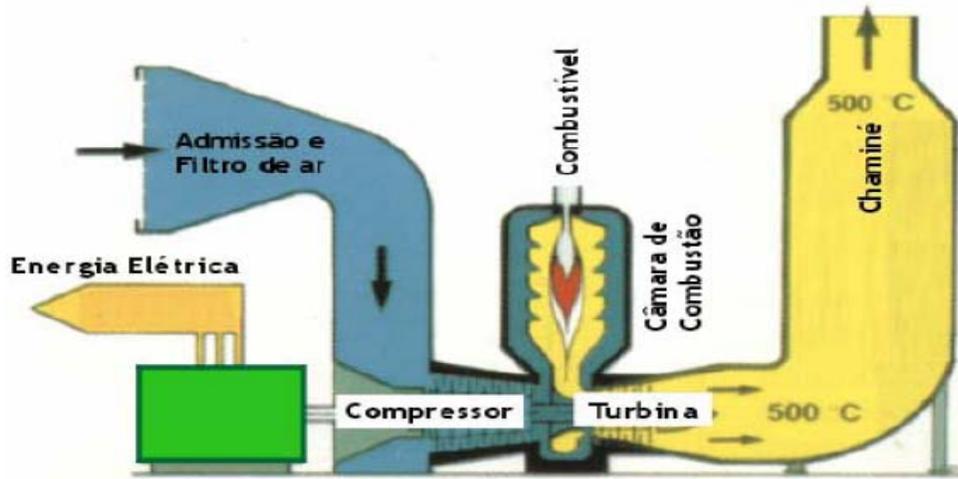


Figura 5 – Funcionamento típico de uma turbina a gás

No que diz respeito às aplicações desta tecnologia podemos referir que este tipo de Cogeração é habitualmente usado em sistemas de média e grande dimensão, onde são exigidas potências no escalão entre os 40KW e os 250MW, e em que as exigências de energia são constantes. Das diversas aplicações pode destacar-se o sector alimentar, o sector petroquímico e o sector papeleiro.

Tal como todos os sistemas, o uso da Turbina a Gás tem vantagens e desvantagens, das quais se destacam as seguintes:

Vantagens:

- Manutenção simples (menores tempos de paragem);
- Elevada fiabilidade;
- Baixa poluição ambiental (Emissões reduzidas);
- Não necessita de vigilância permanente;
- Disponibiliza energia térmica a temperaturas elevadas (500° a 600°);
- Unidades compactas e de pequeno peso;
- Arranque rápido;
- Baixo nível de vibrações;
- Não necessita de refrigeração;

Desvantagens:

- Limitado a nível de variedade de combustível consumido;
- Requer gás a alta pressão ou a existência de um compressor;
- Tempo de vida útil curto;
- Ineficácia em processos com poucas necessidades térmicas;
- Necessidade de uso de dispositivos anti-poeiras/sujidade, anti-corrosão (em especial em casos de pausas de funcionamento prolongado);
- Sensibilidade a aumentos da temperatura ambiente;



Figura 6 – Central industrial com 4 Turbinas a Gás (USA)



Figura 7- Sistema de Turbinas a Gás (Fábrica de Cerveja Brahma –Brasil)

3.1.2 – Turbina de vapor (ciclo de Rankine)

Gama de potência Eléctrica (MW): 0.5-100 (potência superior também é possível)

Tipos de Configuração:

- **Contrapressão:** neste tipo de turbina de vapor, o vapor sai da turbina à pressão atmosférica ou a uma pressão mais elevada;
- **Condensação:** neste tipo de turbina de vapor, o vapor é “extraído” da turbina por sub-tiragens intermédias a pressões inferiores à pressão atmosférica;
- **Ciclo de base;**
- **Sistema com fluido orgânico,** funcionando segundo um ciclo de base Rankine;

Componentes:

- Fonte de calor/ Caldeira de vapor;
- Turbina de Vapor;

- Fonte fria/ Condensador;

Funcionamento:

O sistema funciona segundo o ciclo de Rankine, quer na sua forma básica ou em versões melhoradas com reaquecimento de pré-aquecimento de água regenerativa. A turbina utiliza o vapor que é produzido numa caldeira aquotubular de alta pressão. Utiliza vapor de elevada entalpia como “combustível” para produzir trabalho mecânico e vapor de menor conteúdo entálpico. O vapor é extraído (expandido) em vários andares da turbina, dependendo das necessidades de energia térmica.

Condições de Funcionamento:

A pressão de vapor pode variar desde uns poucos de bars até cerca de 100 bar; no sector energético (por exemplo em centrais termoelétricas), pressões mais elevadas podem ser usadas. A temperatura do vapor pode variar desde uns poucos de graus de sobreaquecimento até cerca de 450°C, e, no sector energético até cerca de 540°C. Os sistemas de turbina de vapor têm uma grande fiabilidade, a qual pode atingir a 95% , e uma eficácia elevada (90-95%).

Tipo de combustível:

Qualquer tipo de combustível ou certas combinações de combustíveis, até mesmo nuclear e fontes de energia renováveis e sub-produtos de desperdício.

Rendimento: 60-65%

Período de instalação: 12-18 meses para pequenas unidades e até três anos para sistemas maiores;

Tempo de Vida: Duração prolongada, cerca de 25- 35 anos;

A figura 8 ilustra o esquema típico de funcionamento base de Cogeração com turbina a vapor.

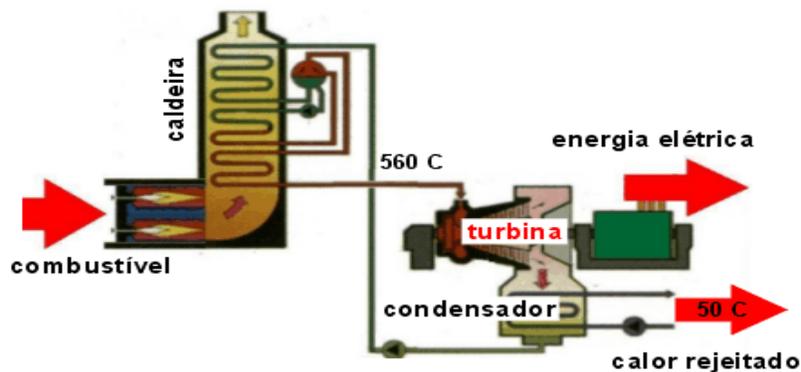


Figura 8– Esquema típico do funcionamento base do sistema de Cogeração com Turbina a Vapor.

De seguida são discriminadas, as principais vantagens e desvantagens da Cogeração com Turbinas a Vapor:

Vantagens:

- Tempo de vida útil elevado;
- Não necessita de vigilância constante;
- Equipamento seguro;
- Eficiência global elevada;
- Capacidade de fornecer vapor a alta pressão e/ou pressão atmosférica;
- Qualquer tipo de combustível pode ser utilizado;
- Elevado tempo de trabalho entre manutenções;

Desvantagens:

- Reduzido número de aplicações;
- Baixo rendimento eléctrico;
- Arranque lento;
- Problemas de controlo de emissão de poluentes;
- Dependência de um tipo de combustível no dimensionamento, ou seja só pode usar o combustível idêntico aquele para que foi projectado o sistema;
- Reduzido número de aplicações;
- Investimento inicial elevado;
- Baixo rendimento eléctrico



Figura 9 – Exemplos de turbinas a vapor usadas na Cogeração

3.1.3 – Ciclo Combinado

Gama de Potência Eléctrica (MW): 4-100 MW. Há também sistemas CCTG de 400MW.

Tipos de Configuração:

- Ciclo combinado de Joule – Rankine;
- Ciclo combinado de Diesel – Rankine;

Componentes:

- Turbina de vapor;
- Turbina de gás;
- Caldeira de recuperação de calor;
- Sistemas auxiliares (bombas, etc);

Funcionamento:

O sistema é uma combinação de turbinas de gás e de vapor, com uma caldeira de recuperação de calor entre elas. Uma turbina de gás produz electricidade e vapor de elevada entalpia, o qual é expandido numa turbina de vapor para produzir mais electricidade e vapor de menor entalpia;

Condições de Funcionamento:

Os sistemas de ciclo combinado mais utilizados são os de Joule- Rankine. A temperatura de vapor máxima possível de queima suplementar é perto de 25-40°C mais baixa do que a temperatura dos gases de exaustão à saída da turbina de gás enquanto a pressão de vapor pode atingir os 80 bar. Se for requerida uma temperatura e pressão mais elevadas, então a caldeira de recuperação dos gases de exaustão com queimador(es) é utilizada para queima suplementar do combustível. Com queima suplementar, a temperatura do vapor pode aproximar-se dos 540°C e a pressão pode ultrapassar os 100 bar.

Tipo de combustível:

Gás natural, derivados do petróleo (gasóleo, diesel) e produtos de gasificação de carvão.

Rendimento: 70-90%;

Período de instalação:

2-3 anos. A instalação pode efectuar-se em duas fases: o sub-sistema de turbina a gás é instalado em primeiro lugar, podendo ficar pronto para funcionar em 12-18 meses. Enquanto este está em funcionamento, pode instalar-se o sub-sistema a vapor.

Tempo de Vida: 15-25 anos

A figura 10 ilustra um esquema típico de um sistema de ciclo combinado.

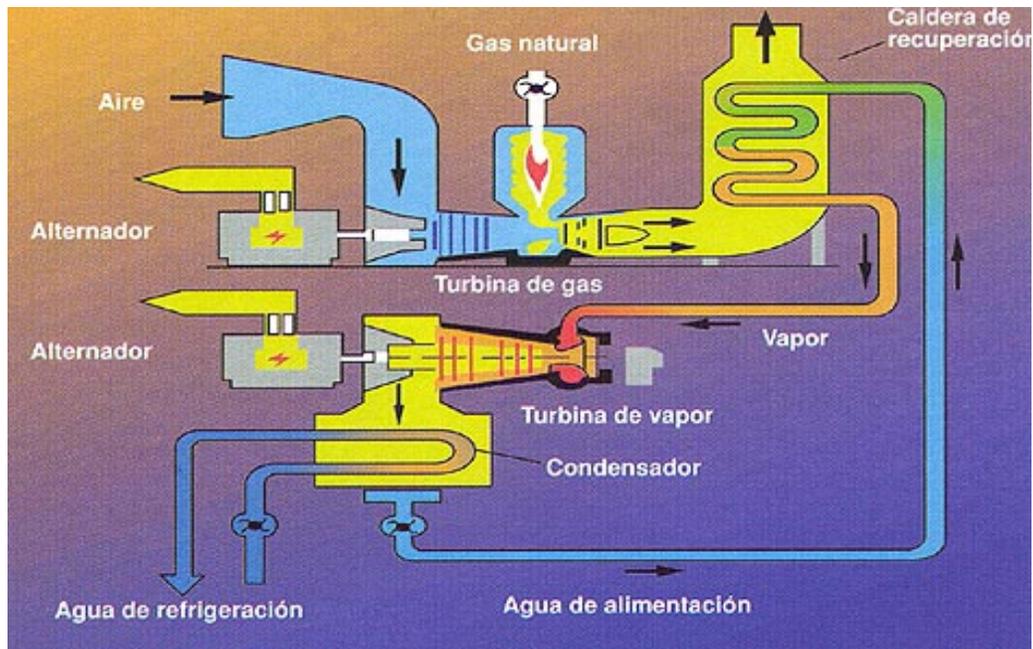


Figura 10 – Esquema típico de um sistema de Ciclo Combinado

Este tipo de Cogeração é predominantemente utilizada em situações em que se deseja produzir energia eléctrica e térmica úteis em quantidades variáveis, de acordo com as cargas consumidoras, ou para satisfazer mercados específicos. Sendo ainda a melhor opção para as aplicações nas quais a demanda de electricidade é superior à demanda de vapor, ou seja nas indústrias electrointensivas.

Outro modelo deste tipo de Cogeração é aquele em que os accionamentos são de equipamentos mecânicos em vez dos habituais geradores eléctricos.

Na figura 11 é possível perceber o trabalho das duas turbinas utilizadas e as respectivas potências geradas.

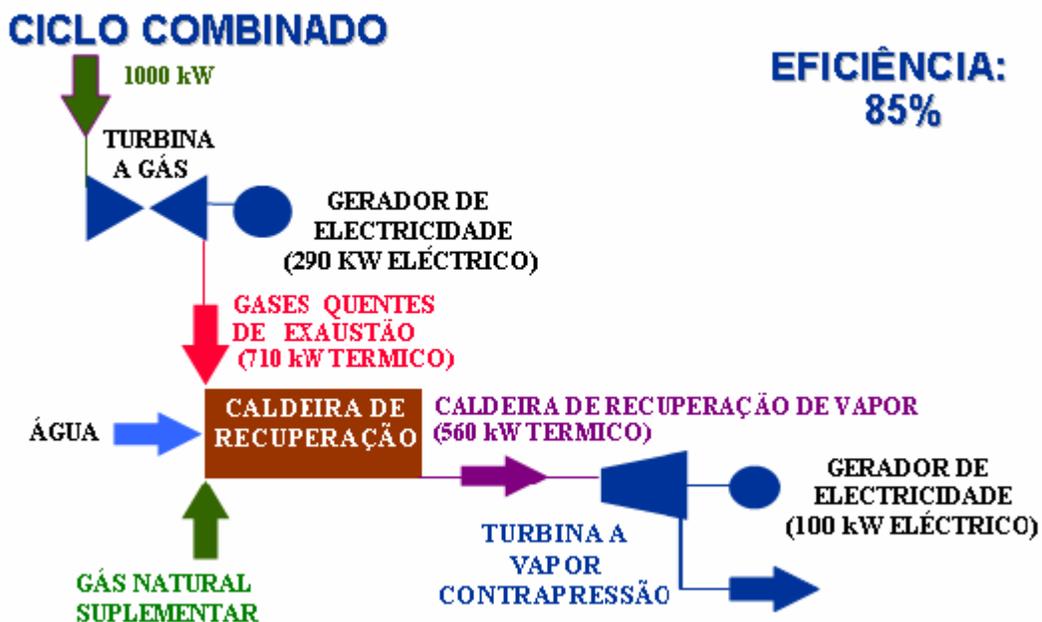


Figura 11 - Distribuição energética da Cogeração em Ciclo Combinado

Os sistemas em Ciclo Combinado apresentam uma grande flexibilidade na relação de produção de electricidade e calor, face às várias possibilidades de arranjo destes sistemas. Em comparação com grande parte das tecnologias apresentadas, a de Ciclo Combinado permite, de uma maneira geral, uma maior extracção de potência por unidade de calor.

As principais vantagens e desvantagens deste tipo de Cogeração podem resumir-se do seguinte modo:

Vantagens:

- Elevada eficiência;
- Grande flexibilidade na quantidade de energia térmica produzida;
- Redução custos globais de operação;

Desvantagens:

- Sistema global sujeito a um somatório das desvantagens dos dois sistemas em separado (Cogeração com Turbina a Gás e a Vapor);
- Maior complexidade do sistema global;

3.1.4 – Motor alternativo de Combustão Interna (ciclo Diesel ou Otto)

Gama de potencia eléctrica (MW): 0.015-2. Há também algumas aplicações de MCI de 6 MW.

Tipos de Configuração:

- Ciclo Otto;
- Ciclo Diesel;

Componentes:

- Motor de combustão interna;
- Máquina de absorção;
- Sistema de controle;
- Sistemas auxiliares (bombas, etc);
- Caldeira de recuperação de calor;

Funcionamento:

Num motor de ciclo Otto, uma mistura de ar e combustível é comprimida em cada cilindro e a ignição é provocada por uma faísca externa. Num motor de ciclo a Diesel, apenas ar é comprimido no cilindro, sendo o combustível injectado na fase final do ciclo de compressão e dando a sua ignição espontânea devido à alta temperatura do ar comprimido.

Condições de Funcionamento

Num ciclo de Otto, a energia mecânica para a produção de electricidade está disponível no veio e há uma grande quantidade de energia térmica que pode ser aproveitada por intermédios dos circuitos da água de arrefecimento e do arrefecimento do óleo de lubrificação do motor (90-120°C) e dos gases de combustão (400-700°C). Num ciclo Diesel, temperaturas ligeiramente superiores podem ser encontradas nos gases de exaustão.

Tipos de combustíveis:

Uma grande variedade de combustíveis líquidos e gasosos. Os Motores de Explosão utilizam como combustível mais frequente o gás natural, mas também podem fazer a combustão de propano, butano ou uma mistura dos dois, bio gás, gás de síntese, nafta química, entre outros. Em relação aos motores que usam o ciclo Diesel, os combustíveis permitidos e mais utilizados abrangem uma grande variedade de combustíveis líquidos, desde os vários tipos de fuelóleo ao gasóleo e ainda misturas de combustíveis gasosos com líquidos em proporções que permitam a auto-ignição, denominados de dual fuel.

Em diversas situações/indústrias torna-se vantajoso o uso do gás natural como combustível de sistemas de Cogeração com motor alternativo, quer por questões logísticas/físicas, quer por questões económicas.

Rendimento: 70-85%

Período de instalação: Período curto, no máximo de 9-12 meses;

Tempo de Vida: Para pequenas unidades: 10.000 – 30.000 horas
Para grandes unidades: 3 – 6MW, 15-20 anos

A figura 12 ilustra o esquema típico de funcionamento de um sistema de Cogeração com motor alternativo.

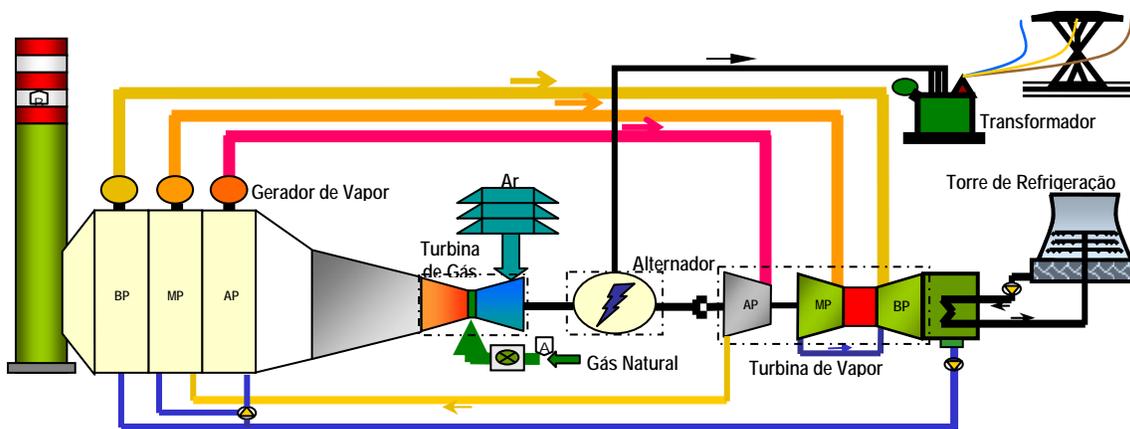


Figura 12 – Esquema típico de funcionamento de um sistema de Cogeração com motor alternativo

A diferença básica entre o Ciclo Otto e Diesel está na forma como ocorre a combustão do combustível que é demonstrado nas figuras 13 e 14 e como foi explicado anteriormente.

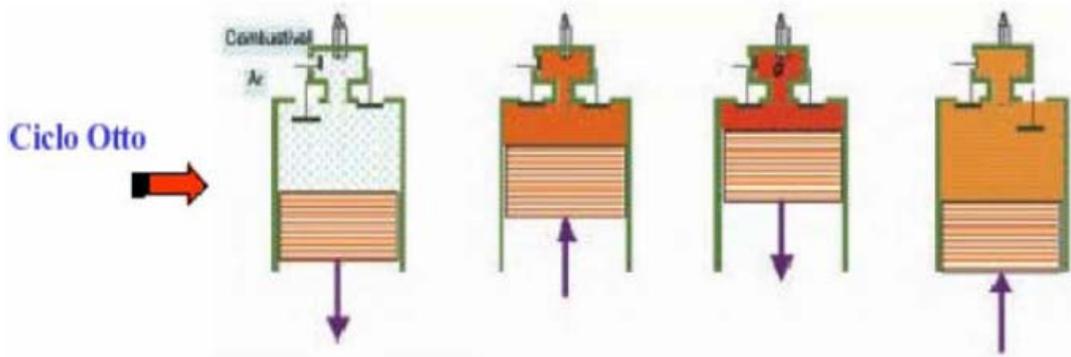


Figura 13 – Esquema das 4 etapas do Ciclo Otto

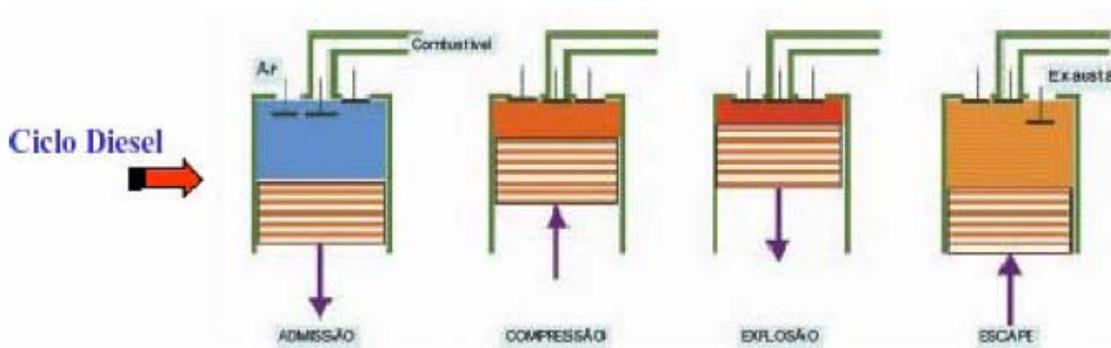


Figura 14 – Esquema das 4 etapas do ciclo Diesel

As principais vantagens e desvantagens deste tipo de Cogeração estão descritas seguidamente:

Vantagens:

- Arranque rápido;
- Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- Elevada eficiência mecânica;
- Bom rendimento em regime de carga variável;
- Custos de investimento relativamente baixos;
- Operações de manutenção simples;
- Não necessita de vigilância constante;

Desvantagens:

- Tempo de vida útil curto;
- Limitado a aplicações de cooperação com baixas temperaturas;

- Baixo rendimento térmico;
- Custos de manutenção elevados (paragens frequentes);
- Emissões relativamente elevadas;
- Necessita de refrigeração mesmo que o calor recuperado não seja utilizado;
- Níveis de ruído elevados a baixas frequências;

3.1.6 – Microturbinas

Gama de potência eléctrica (MW): as microturbinas situam-se na gama 25 – 500 kW. Para sistemas semelhantes mas com potências entre 250kW e 1MW é usualmente utilizado o termo “miniturbina”. Existem módulos de 30 KW e 100 KW, podendo ser instalados conjuntos de módulos que podem chegar a 1,5 MW.

Componentes:

- Compressor;
- Câmara de combustão;
- Turbina;
- Gerador eléctrico;

A figura 15 ilustra o esquema de um sistema de microturbina.

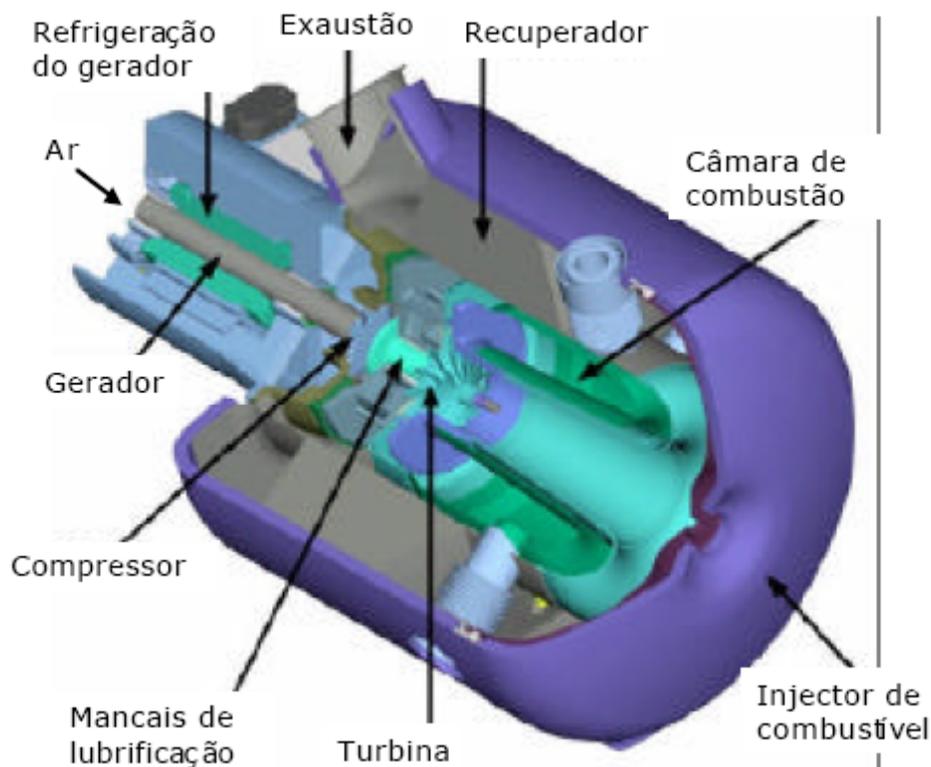


Figura 15 - Esquema de um sistema Microturbina

Funcionamento:

O funcionamento da microturbina segue a seguinte ordem de estágios:

1. O ar é aspirado e forçado para o interior da turbina a alta velocidade e a alta pressão;
2. O ar é misturado ao combustível e queimado na câmara de combustão onde o processo de queima é controlado para se obter a máxima eficiência e baixos níveis de emissões;
3. Os gases produzidos na queima sofrem expansão nas palhetas da turbina produzindo trabalho;
4. Os gases não aproveitados são exauridos para atmosfera.

Tipos de combustíveis:

- Gás Natural;
- Gás Propano Liquefeito (GPL);
- Biogás;
- Gás de poços de petróleo o plataformas offshore,
- Diesel/Gas Oil;
- Querosene;

Vantagens:

- Número de partes móveis reduzido;
- Dimensões e peso reduzidos;
- Emissões reduzidas;
- Não necessita de refrigeração;
- Têm tempos de arranque muito rápidos;
- Tem elevada fiabilidade e necessitam muito pouca manutenção;

Desvantagens:

- Custos elevados;
- Eficiência mecânica relativamente reduzida;
- Limitado a aplicações de cogeração com baixas temperaturas;

A tabela seguinte compara as microturbinas com outras tecnologias, a nível de potência, rendimento e emissões de NOx.

	Potência	Rendimento	Emissões de NOx
Motores a Gás	30 kW – 20 MW	30% – 40%	250 ppm – 3000 ppm
Turbinas a Gás (Médio Porte)	500 kW – 150 MW	20% - 30%	35 ppm – 50 ppm (gás de aterro)
Microturbinas (Pequeno Porte)	30 kW – 100 kW	24% - 28%	< 9 ppm

Tabela 1: Comparação das microturbinas com outras tecnologias

Rendimento: O rendimento eléctrico atingido é da ordem dos 30% em microturbinas com recuperador de calor. Em sistemas de Cogeração o rendimento global pode atingir mais de 80%.

A maioria das microturbinas existentes no mercado têm como função principal produzir electricidade, podendo funcionar em Cogeração utilizando equipamento adicional. No entanto existem microturbinas criadas de raiz para funcionamento em Cogeração. Em alguns casos raros a produção de calor é mesmo a função principal da Microturbina.

Os últimos desenvolvimentos tecnológicos apontam para a utilização de materiais cerâmicos nas secções quentes da Microturbina, o que permite atingir temperaturas mais elevadas e conseqüentemente rendimentos mais elevados.

Quando se pretende que a Microturbina funcione em Cogeração é utilizado um permutador de calor adicional de forma a tirar partido da elevada temperatura dos gases de escape. Algumas microturbinas vêm preparadas de série com o referido permutador, enquanto que em outras o equipamento auxiliar é vendido separadamente.

Na tabela 2 e na figura 16 estão representados vários tipos de microturbinas:

Fator	1	2	3	4
Tamanho (kW)	44	50	175	250
Recuperador	Não	Sim	Sim	Sim
Heat Rate (Btu/kWh)	14.400	12.400	11.370	11.700
Eficiência (%)	27	30	33	32
Rotação (rpm)	110.000	110.000	88.000	90.000
Tempo de partida (min)	2,0	2,0	2,5	3,5
Tamanho (pés)	4 x 3 x 2	5 x 3 x 3	6 x 4 x 3	9 x 4 x 7
Peso (lb)	1.280	1.480	3.700	10.250
Custo (US\$)	29.200	42.000	131.500	176.000
Custo implantação (US\$/kW)	\$663	\$840	\$750	\$700
Custo manutenção (US\$/ano)	350	425	1400	2100

Tabela 2: Exemplos de microturbinas



Figura 16 – Exemplos de Sistemas de Cogeração com o uso de microturbinas

3.1.7 – Células/ Pilhas de Combustível

Gama de potência eléctrica (MW): 0.01-0.4

Tipos de configuração:

- PEMFC- Célula de combustível de electrólito de membrana polimérica (Proton Exchange Membrane ou Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell);
- PAFC- Célula de combustível de ácido fosfórico (Phosphoric Acid Fuel Cell);
- AFC - Célula de combustível alcalina (Alkaline Fuel Cell);
- MCFC- Célula de combustível de carbonato fundido (Molten Carbonate Fuel Cell);
- SOFC- Célula de combustível de óxido sólido (Solid Oxide Fuel Cell);

Componentes:

- Dispositivo electroquímico;

Funcionamento:

Uma célula de Combustível é um dispositivo electromecânico, que converte a energia química do combustível directamente em energia eléctrica, sem estágios intermédios de combustão e produção de energia mecânica.

Condições de Funcionamento:

Há vários tipos de elementos de células de combustível, caracterizados pelo tipo de electrolítico, com temperaturas de operação de 80-100°C.

- PAFC com módulos de cerca de 400KW, 400°C
- MCFC com módulos de 50-100KW, 1100°C
- SOFC, de 25KW e experimental, 1100°C
- AFC- 90-250°C
- PEMFC- 65-85°C

Tipo de Electrolítico: Hidróxido de potássio (KOH), ácido fosfórico (H₃PO₄), etc

Tipo de Combustível: Hidrogénio, gás natural, metanol, etc

Período de instalação: Curto

Tempo de Vida: Curto;

Por pilha de combustível (PC) entende-se um empilhamento de células galvânicas em que a energia química do combustível se transforma directamente em energia eléctrica por meios electroquímicos. O combustível e o oxidante introduzem-se de forma contínua e separadamente nas células, transformando-se na vizinhança imediata dos eléctrodos.

As pilhas de combustível são, de certo modo, semelhantes às conhecidas baterias, no sentido em que ambas geram energia em corrente contínua através de um processo electroquímico, sem combustão, nem transformação intermédia em energia mecânica. Contudo, enquanto as baterias convertem a quantidade finita (e muito limitada) de energia química armazenada em energia eléctrica, as pilhas de combustível podem, em teoria, operar indefinidamente, desde que lhes seja fornecida continuamente uma fonte de combustível, no caso, o hidrogénio. O hidrogénio requerido pode ser obtido, no local, a partir de um hidrocarboneto, tipicamente o gás natural, enquanto o oxigénio é retirado do ar ambiente.

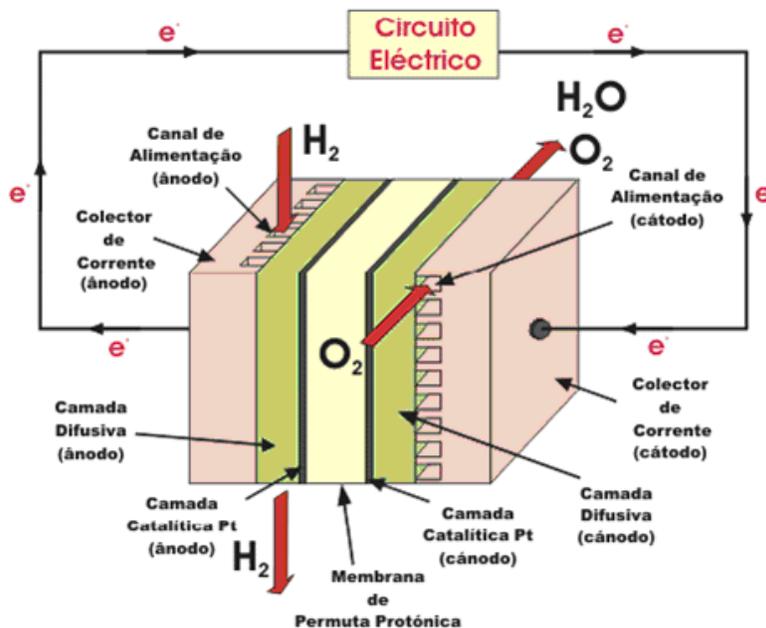


Figura 17 - Esquema típico de representação de uma célula de combustível

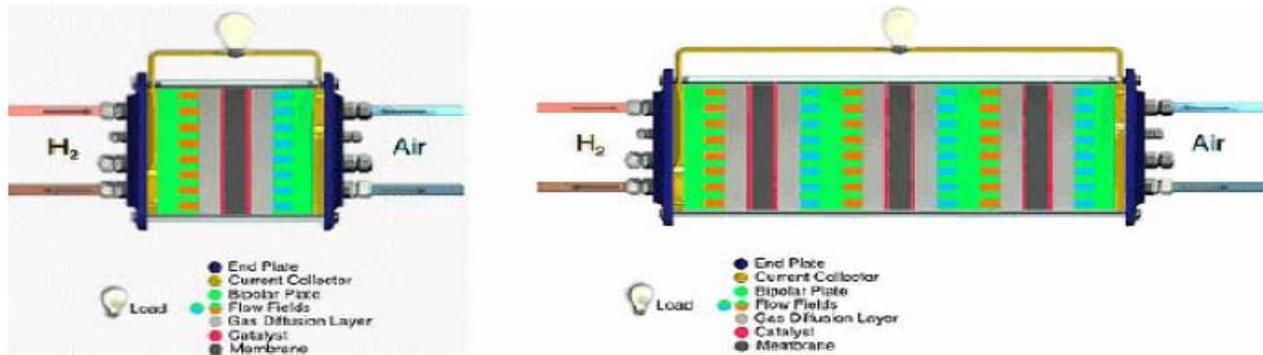


Figura 18 - Célula de combustível (à esquerda) e Pilha de Combustível (à direita)

O campo de aplicação das Pilhas de Combustível é extremamente vasto, abrangendo desde unidades móveis de cerca de 50W até centrais de produção eléctrica de 10MW. As aplicações mais importantes para as células de combustível são as centrais de produção de electricidade estacionárias e de distribuição, veículos eléctricos motorizados e equipamentos eléctricos portáteis.

A tabela 3 mostra algumas vantagens e desvantagens do uso desta Tecnologia na Cogeração consoante o tipo de pilha:

	Pilhas de combustível de baixa temperatura	Pilhas de combustível de alta temperatura
Tecnologias aplicáveis	<ul style="list-style-type: none"> AFC PAFC PEFC / PEM 	<ul style="list-style-type: none"> MCFC SOFC
Dimensão típica	<ul style="list-style-type: none"> Os produtos disponíveis no mercado e em desenvolvimento têm potências até 250kW 	<ul style="list-style-type: none"> A maioria dos equipamentos em desenvolvimento têm potências na ordem de 2 MW, mas existem planos para desenvolver unidades com menos de 1 MW
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Rendimento elevado Emissões reduzidas Arranque rápido (especialmente as PEMFC) Potencial para redução significativa do custo resultante de produção em larga escala se for alcançado sucesso na área dos transportes 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimento muito elevado Emissões reduzidas Processamento de combustível mais simples Não existe a necessidade de utilizar catalisadores de metais preciosos Não são danificadas pelo CO Potências mais elevadas
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> Potencial de cogeração limitado Processamento de combustível relativamente complexo Mais sensível ao CO Requer catalisadores de metais preciosos Custo elevado (PAFC) 	<ul style="list-style-type: none"> Mercado limitado inicialmente à produção de electricidade (o que reduz o potencial para redução do custo) Complexidade dos sistemas híbridos

Tabela 3- Vantagens e Desvantagens das Pilhas de Combustível em Cogeração



Figura 19 – Sistema de cogeração utilizando Pilhas de Combustíveis

3.1.8- Motores Stirling

O **motor Stirling** é um motor de combustão externa, aperfeiçoado pelo pastor escocês Robert Stirling em 1816, auxiliado pelo seu irmão engenheiro. Eles visavam a substituição do motor a vapor, com o qual o motor Stirling tem grande semelhança estrutural e teórica. Este tipo de motor funciona com um ciclo termodinâmico composto de quatro fases e executado em dois tempos do pistão: compressão isotérmica (=temperatura constante), aquecimento isométrico (= volume constante), expansão isotérmica e resfriamento isométrico. Este é o ciclo idealizado (válido para gases perfeitos), que diverge do ciclo real medido por instrumentos. Não obstante, encontra-se muito próximo do chamado Ciclo de Carnot, que estabelece o limite teórico máximo de rendimento das máquinas térmicas. O motor Stirling surpreende por sua simplicidade, pois consiste de duas câmaras em diferentes temperaturas que aquecem e resfriam um gás de forma alternada, provocando expansão e contracção cíclicas, o que faz movimentar dois êmbolos ligados a um eixo comum. O gás utilizado nos modelos mais simples é o ar (daí a expressão citada acima); hélio ou hidrogénio pressurizado (até 150 Kgf/cm²) são empregados nas versões de alta potência e rendimento, por serem gases com condutividade térmica mais elevada e menor viscosidade, isto é, transportam energia térmica (calor) mais rapidamente e têm menor resistência ao escoamento, o que implica menos perdas por atrito. Ao contrário dos motores de combustão interna, o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor; trata-se portanto de uma máquina de ciclo fechado

Gama de potência eléctrica (MW): 0.003-1.5

Tipos de configuração:

- Disposição Alfa, que tem dois pistões em cilindros separados, que estão ligados em série por um aquecedor, um regenerador e um arrefecedor;

- Disposição Beta, que utiliza um pistão de deslocamento que em conjunto com um dos sistemas do tipo atrás referido (aquecedor/regenerador/arrefecedor) estão ligados ao mesmo cilindro;
- Disposição Gama, que utiliza um pistão de deslocamento, em que este e o sistema do tipo anterior estão em cilindros separados;

Componentes:

- Aquecedor;
- Regenerador;
- Arrefecedor;

Funcionamento:

A energia térmica é fornecida externamente ao cilindro. E aquecida uma parte deste, provocando a expansão do gás no interior e o deslocamento do pistão. O gás de trabalho ópera em circuito fechado e não participa na combustão. Assim, as partes móveis do motor estão expostas aos produtos de combustão. Contudo, é necessária uma selagem especial para evitar fugas do fluido (gás) de trabalho de alta pressão e a sua dissipação para o meio ambiente, assim como a passagem do óleo de lubrificação do invólucro do veio de manivelas para o lado interno do cilindro.

Tipo de combustível:

Combustíveis líquidos ou gasosos, carvão, produtos de liquefacção ou gasificação de carvão, biomassa, lixos urbanos, etc. É possível mudar de combustível durante a operação, sem necessidade de parar ou ajustar o motor. Energia nuclear ou solar também pode constituir a fonte de calor.

Rendimento: 65-85%

Vantagens:

- Níveis de vibração menores comparativamente aos dos motores alternativos de combustão interna (MCI);
- Menores emissões poluentes e níveis de ruído do que o que se verifica em MCI;
- Rendimento elevado;
- Bom desempenho a carga parcial;
- Flexibilidade no combustível;

Desvantagens:

- Esta tecnologia não está ainda totalmente desenvolvida, encontra-se sobretudo numa fase de investigação;
- Não há aplicação em larga escala;
- Problemas de selagem;

Período de instalação: Curto

Tempo de vida: 20 anos

A figura 20 ilustra os vários tipos de motores Stirling.

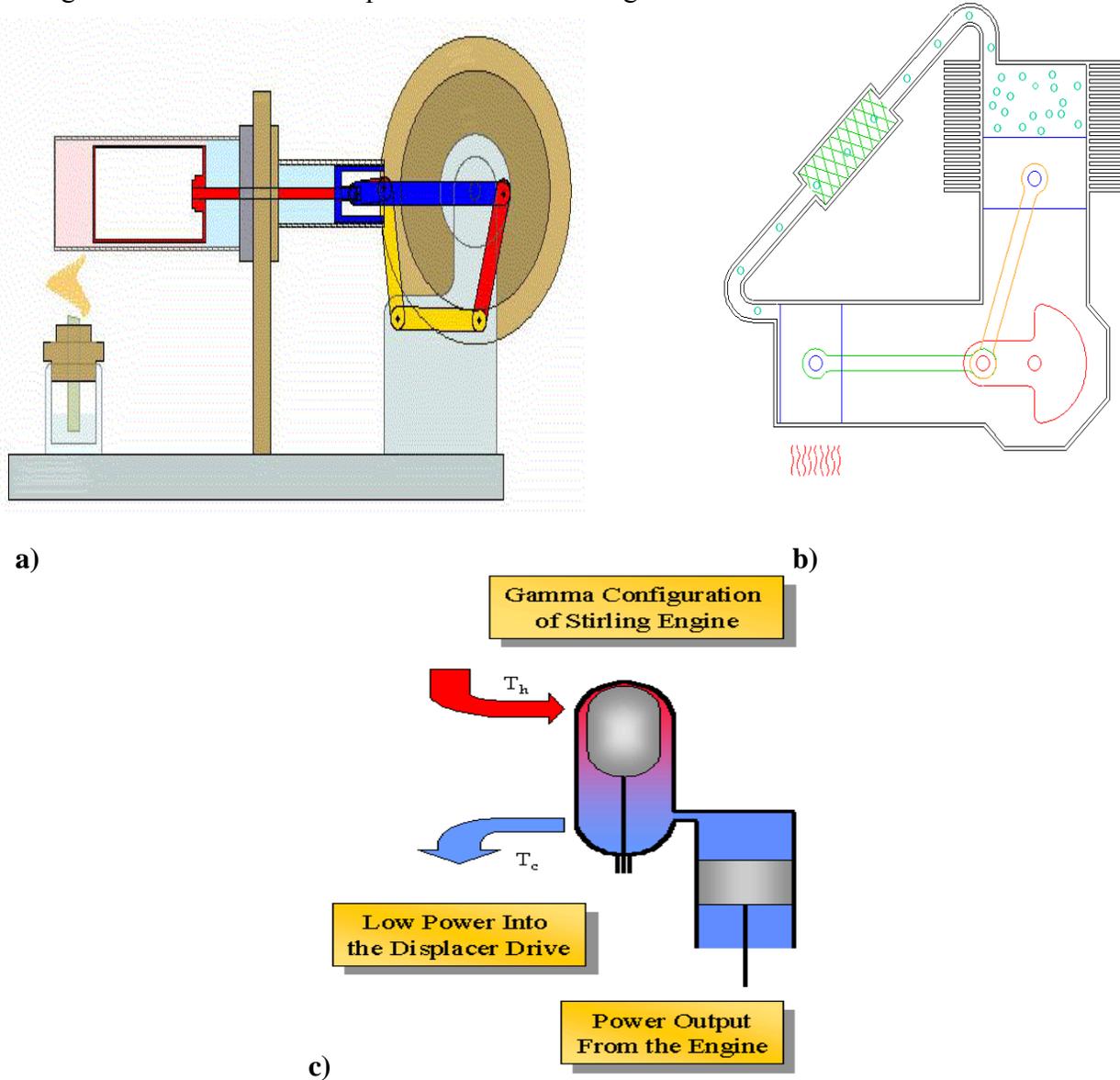


Figura 20: Esquema de motores Stirling: a) tipo Alfa; b) tipo Beta; c) tipo Gama

3.2 - Tecnologias de Trigeração

3.2.1 – Unidades Produtoras de água refrigerada

Um chiller é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. Os três principais tipos de chillers são:

- Chillers de compressão ou eléctrico ;
- Chillers de absorção e estes ainda podem ser divididos em :
 - Chiller de ignição directa;
 - Chiller de ignição indirecta;
 - Chiller de efeito simples;
 - Chiller de efeito duplo;
- Chillers de adsorção;

3.2.1.1- Chillers de compressão e de absorção

Os chillers de compressão utilizam um compressor mecânico, accionado normalmente por um motor eléctrico, de forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema. Os chillers de absorção permitem produzir água gelada a partir de uma fonte de calor utilizando para tal uma solução de um sal (brometo de lítio) num processo termoquímico de absorção. Os chillers de absorção são muitas vezes integrados em sistemas de Cogeração, de forma a permitir o aproveitamento do calor que de outra forma seria desperdiçado.

Nos chillers de absorção de ignição directa o calor necessário ao processo é obtido queimando directamente um combustível, tipicamente gás natural. Nos de ignição indirecta o calor necessário é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente ou de um processo de purga quente.

Os principais componentes de um chiller de absorção estão representados na figura 21 e são:

- Secção do evaporador: Zona onde é arrefecida a água a gelar. O fluido refrigerante, normalmente água, evapora ao absorver calor dos tubos onde circula a água a gelar.
- Secção do absorvedor: zona onde o vapor de água evaporada é absorvido pela substancia absorvente (solução de brometo de lítio). O calor libertado no processo de absorção é dissipado através da passagem dos tubos de água do condensador ao atravessarem o absorvedor.
- Secção do gerador: zona onde é fornecido o calor pela fonte quente, de forma a separar novamente o vapor de água da substancia absorvente e a reconcentrar a solução.
- Secção do condensador: zona onde o vapor de água produzido no gerador é condensado pela água do condensador que circula nesta secção.

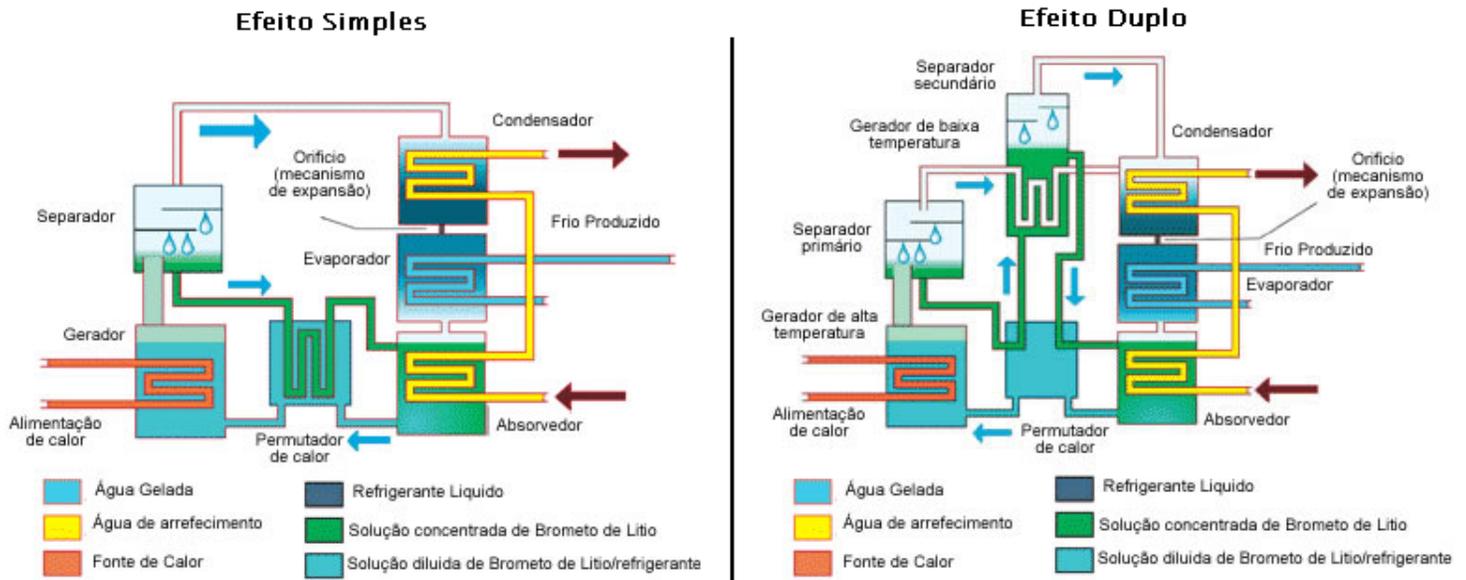


Figura 21 - Princípio básico de uma máquina de refrigeração por absorção (Chiller de efeito simples) e (Chiller de efeito Duplo)- os mais utilizados.

Relativamente aos sistemas de frio por absorção que utilizam brometo de lítio como absorvente e água como refrigerante, a fonte de calor (proveniente do sistema de Cogeração) deve estar a uma temperatura mínima de 60-80 °C.

O consumo eléctrico de um chiller de absorção é tipicamente 10% do consumo dos chillers de compressão eléctricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de electricidade e/ou em que o preço é bastante elevados, é possível reduzir a factura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita de electricidade.

Na tabela 4 estão resumidas algumas das características principais dos Chillers de absorção:

Índices	NH ₃ - absorção	LiBr - absorção	
		Simples	Duplo
Número de efeitos*	Simples	Simples	Duplo
Capacidade de refrigeração (kW)	20 - 2500	300 - 5000	300 - 5000
COP térmico	0.6 - 0.7	0.5 - 0.6	0.9 - 1.1
Gama de temp. (°C)	120 - 132	120 - 132	150 - 170
Custo da máquina (€/TR)	1250 to 1750	870 to 920	930 to 980

Tabela 4 – Características dos Chillers de Absorção

* Chillers de triplo efeito não são considerados dado que os equipamentos existentes deste tipo são máquinas experimentais. Estas máquinas têm COPs acima de 1,6 e funcionam na gama de temperaturas de 170 a 200 °C.

Os custos de manutenção das máquinas de absorção variam fortemente em função do tipo de contrato. Na maior parte dos casos é utilizado outsourcing e o contrato existente inclui a manutenção de todo o sistema de ar condicionado. Muitas vezes a operação é também assegurada por via de outsourcing e a mesma empresa sob um único contrato é responsável pela operação e manutenção de todo o sistema.

Seguidamente estão representados na figura 22 alguns exemplos de Chillers de absorção usados no sector terciário e industrial.



Figura 22 – Chillers de Absorção

Vantagens:

- Como o princípio de base de um chiller de absorção é um sistema termoquímico, não existem componentes móveis no sistema (para além das bombas hidráulicas necessárias). Como consequência, este tipo de chillers apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exigindo muito pouca manutenção.
- Nos chillers onde se usa água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva da camada de ozono (como os CFC por exemplo).
- O consumo eléctrico dum chiller de absorção é tipicamente cerca de 10% do consumo dos chillers de compressão eléctricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de electricidade e/ou em que o preço é bastante elevados, é possível reduzir a factura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita electricidade.
- Os chillers de absorção de queima indirecta apresentam também a vantagem de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes: vapor de baixa pressão, água quente, energia solar e processo de purga quente.

Desvantagens:

- A grande desvantagem dos chillers de absorção frente aos chillers de compressão reside no seu relativamente reduzido rendimento energético - Coeficiente de Performance (COP). Os chillers de absorção apresentam COPs de 1,1, enquanto nos chillers de compressão o valor pode subir até de 6,0. Por outro lado, os chillers de absorção representam um investimento inicial muito superior (entre 1,5 e 2,5 vezes mais caro).

Uma solução alternativa consiste em usar um sistema híbrido integrando os dois tipos de chillers: um chiller eléctrico como base, e um chiller de absorção funcionando durante os períodos de cheia e de ponta.

3.2.1.2- Chillers de adsorção

Um chiller de adsorção é uma instalação térmica que converte calor em frio utilizando como fonte calor inutilizado.

A adsorção é um fenómeno de adesão reversível, da qual resulta a acumulação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. Quando as moléculas da substância são fixadas, libertam energia: a adsorção é um processo exotérmico. A diferença entre **aD**sorção e **aB**sorção reside no facto de que, neste ultimo processo, o fluido mistura-se com o absorvente para formar uma solução.

Os chillers de adsorção utilizam apenas água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. Também se utiliza carvão activo ou resina sintética como absorvente nos processos industriais, para purificar a água ou para secar (com a adsorção da água).

Os chillers de adsorção com gel de sílica podem funcionar com temperaturas inferiores a 80° C, o que os torna mais interessante do que os chillers de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura, como por exemplo integrados com sistemas solares térmicos.

Para obter uma grande capacidade de adsorção é necessário ter uma grande superfície de adsorvente disponível. Assim, a dimensão dos micro-poros determina a capacidade de adsorção do adsorvente. Os chillers de adsorção utilizam apenas energia térmica.

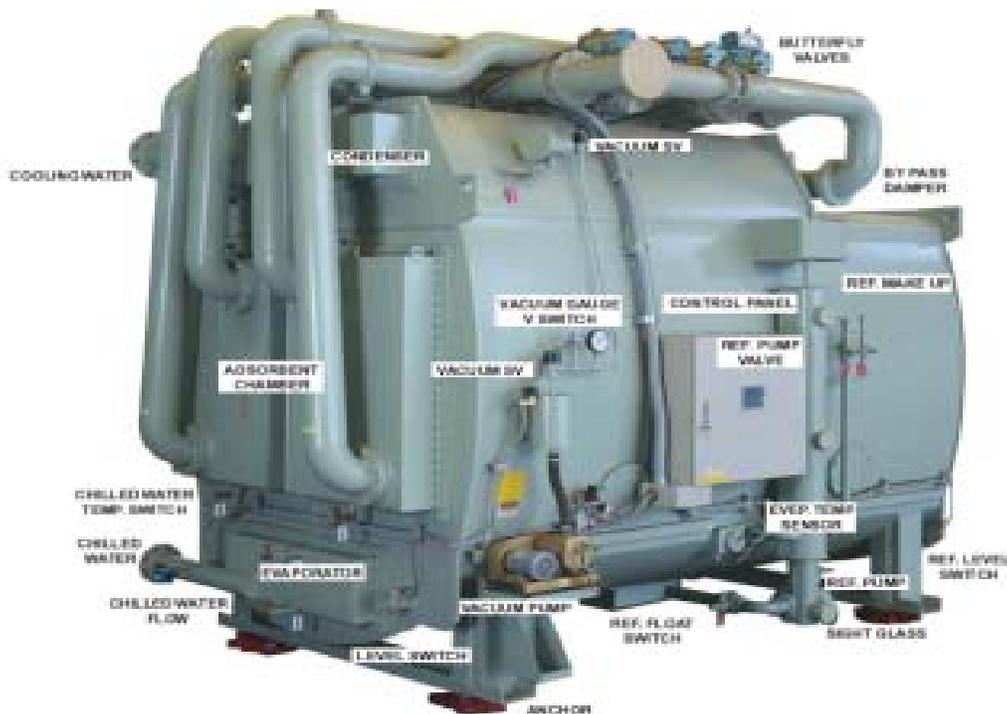


Figura 23: Chiller de adsorção

Aplicações com água quente como fonte de calor

Geralmente, água quente a uma temperatura de 70 a 90°C é suficiente para permitir a fase de desadsorção, sendo a temperatura máxima adequada é 95°C. É possível utilizar

água quente com temperaturas até cerca de 55 °C, resultando no entanto eficiências bastante reduzidas para o funcionamento do chiller.

Os chillers de adsorção apresentam uma melhor eficiência do que os chillers de absorção para a gama de temperaturas entre 70 e 85° C, mas estes últimos têm uma eficiência melhor para temperaturas mais elevadas (entre 95 e 150° C). Neste caso, é possível usar um chiller de adsorção em série com um chiller de absorção para utilizar mais calor da água quente. Os chillers de adsorção podem também ser usados com um chiller de compressão convencional, aumentando a capacidade deste chiller sem gastos de energia suplementar significativos.

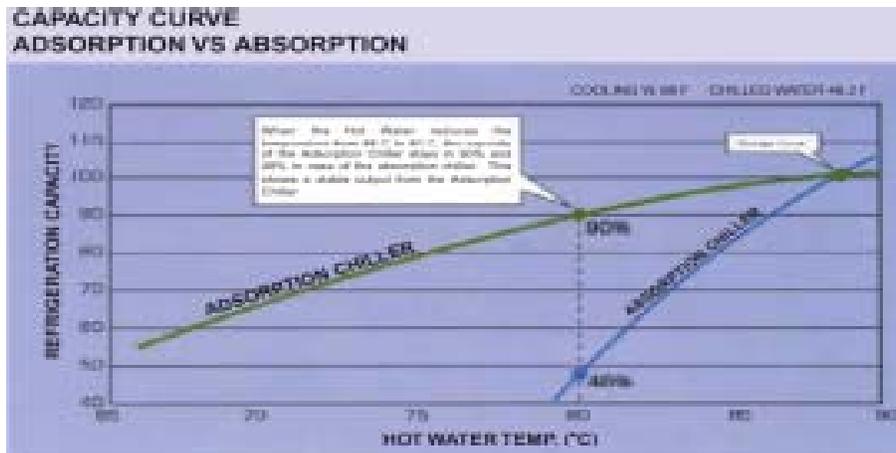


Figura 24: Rendimento energético: Adsorção vs. Absorção

Analogamente ao caso dos chillers de absorção, quando toda a energia necessária para aquecer o adsorção é fornecida pela fonte de calor, designa-se por “ciclo de efeito simples”. Quando existe mais do que um adsorção no ciclo, pode-se recuperar calor entre os diferentes adsorções, aumentando a eficiência do ciclo. Diz-se então que se trata de um “ciclo de efeito duplo” ou “ciclo com recuperação de calor”.

Vantagens:

- Os chillers de adsorção podem utilizar-se mesmo com fontes de calor de baixa temperatura (55° C) com um Coeficiente de Performance (COP) de 0,5 – 0,6. Assim podem ser utilizados em aplicações de sistemas solares térmicos ou de sistemas de cogeração de baixa temperatura. O consumo de electricidade ronda apenas 6% da capacidade do chiller.
- A manutenção é muito reduzida pois os chillers de adsorção praticamente não têm peças móveis (apenas as bombas). O custo da manutenção de um chiller de adsorção representa apenas cerca de um décimo do que é necessário para um chiller de compressão convencional. Para além disso, a equipa de manutenção não necessita de preparação especial.
- Os chillers de adsorção que usam gel de sílica não apresentam riscos para o ambiente pois este gel é quimicamente neutro (SiO₂).

Desvantagens:

- Elevado custo. Por exemplo, o preço de um chiller de adsorção com gel de sílica ronda os 500 €/kW.

3.4 Comparação entre Tecnologias de Cogeração

Para comparação, a tabela 3 resume as características técnicas dos tipos de Tecnologias de Cogeração mais utilizados, incluindo parâmetros e custos importantes associados.

Máquina Motriz	Turbina de Gás	Turbina de Vapor	Ciclo Combinado	MCI Otto/Disel	Célula de Combustível
Potência (MWe)	0.2 – 100	0.5 – 100	4 – 100	0.015 – 30	0.01 - 0.25
Calor/Electric.	1.25 – 2	2 – 10	0.5 - 1.7	0.4 - 1.7	1.1
Rend. Eléctr. (%)	15 – 35	10 – 40	30 – 40	25 – 45	35 - 40
Rend. Térm. (%)	40 – 59	40 – 60	40 – 50	40 – 60	20 - 50
Rend. Total (%)	60 – 85	60 – 85	70 – 90	70 – 85	55 – 90
Tempo de vida (anos)	15 – 20	20 – 35	15 – 25	10 – 20	> 5
Carga Min. (%)	75	20	75	50	Sem Limites
Eficácia (%)	90 - 98	99	90 – 98	92 – 97	> 95
Custo Instalação (€/kWe)	600 – 800	700 – 900	600 – 800	700 – 1400	>2500
Custo Operação (€/MWh)	2 – 7	3	2 – 6	6 – 12	2 - 12
Nox (kg/MWh)	0.2 – 2	0.9	0.2 – 2	1 - 1.4	< 0.01
Temp. Utilizável (°C)	450 – 800	-	450 – 800	300 – 600	250 - 550
Uso de Energia Térmica	Aquecim., AQS, vapor BP-AP, "district heating"	Vapor BP-AP, "district heating"	Vapor BP-AP, "district heating"	Aquecim., AQS, vapor BP-AP, "district heating"	AQS, vapor BP-AP
Combustível	Gasoso, líquido	Todos	Gasoso, líquido	Gás, Gasolina, Gasóleo	Gás

Tabela 5– Quadro comparativo das principais Tecnologias de Cogeração

4. Cogeração em Portugal

Como foi referido no ponto 2.2.1 a Cogeração não é tão prejudicial para o ambiente como as outras tecnologias de produção exceptuando, claro, as renováveis. A Cogeração é então uma das soluções que pode contribuir para a redução das emissões de CO₂, uma vez que a produção de energia eléctrica é feita a rendimentos energéticos mais elevados do que os conseguidos pelas centrais termoeléctricas não nucleares.

A nível internacional, ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 27% no período de 2008 - 2012 relativamente aos valores de 1990, por esse motivo a Cogeração é uma

tecnologia benéfica, onde se deve continuar a investir e com fortes potenciais em Portugal, como vai ser especificado seguidamente.

4.1 Produção por Tecnologias e Sectores

O consumo de energia eléctrica em Portugal tem aumentado de forma consistente nos últimos anos. A maior parte dessa energia é de origem térmica, produzida em centrais termoeléctricas dedicadas (83%) e em centrais de Cogeração (17%).

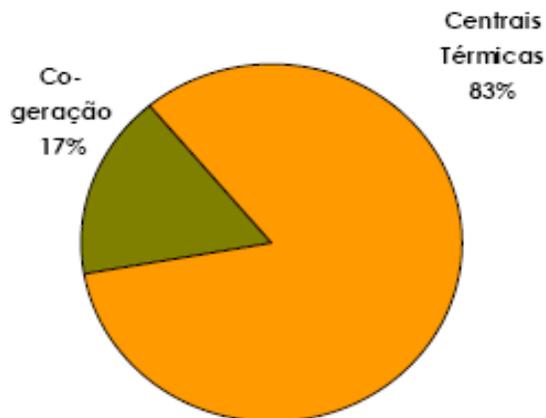


Gráfico 3 – Produção de termoelectricidade em Portugal (dados 2006)

A potência instalada em Cogeração em Portugal ao longo dos anos é visível na Gráfico 4, permitindo verificar que existem três fases de implementação de sistemas de Cogeração, sendo o primeiro em grandes indústrias como por exemplo nas fábricas de pasta de papel com base em ciclos de vapor.

A implementação de sistemas de Cogeração Diesel em edifícios e em indústrias ocorre na década de 90 com o aparecimento de legislação para o sector (DL 186/95) e o estatuto de produtor independente, sendo a tecnologia Diesel gradualmente substituída por instalações a gás natural (turbinas a gás).

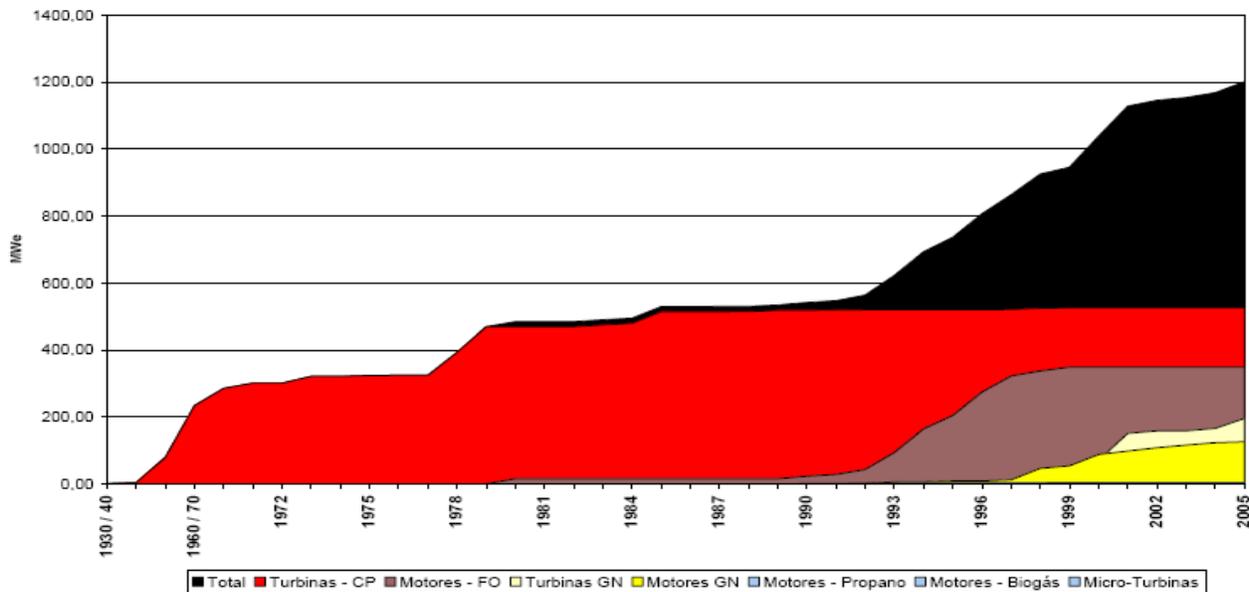


Gráfico 4 – Potência instalada em Cogeração por anos, tecnologia e total acumulado (dados 2005)

A Cogeração representa assim uma parcela importante na oferta da produção de energia eléctrica como se pode observar na Gráfico 5.

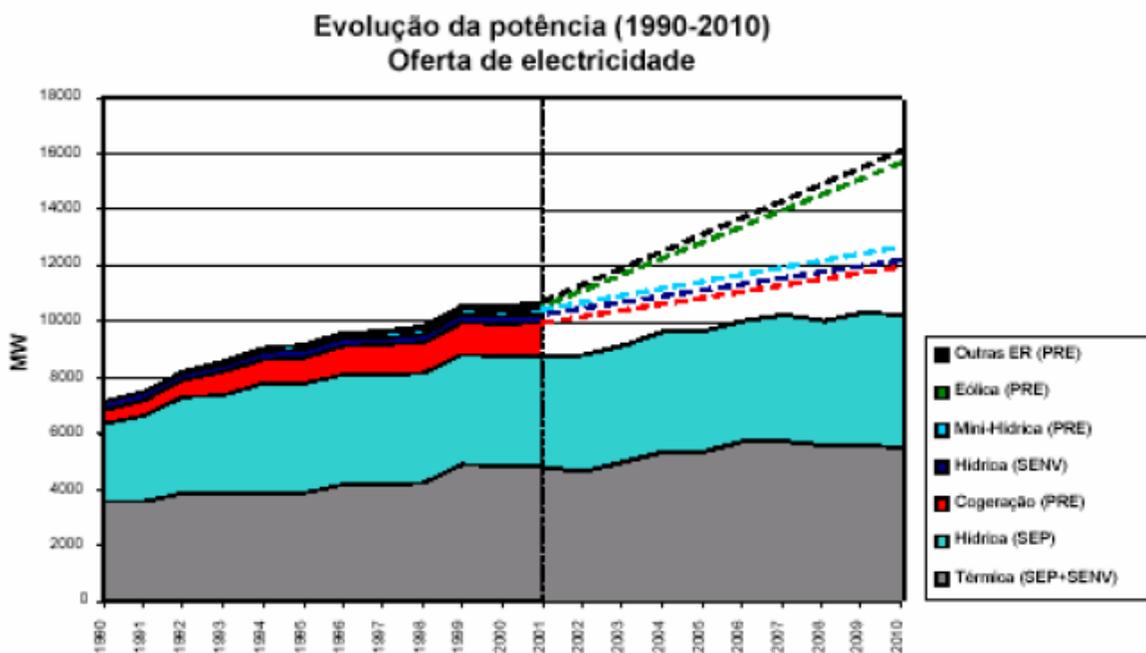


Gráfico 5 – Comparação entre potências instaladas em Portugal (Cogeração a vermelho) (dados 2005)

Actualmente o mercado da Cogeração em Portugal é constituído por uma potência instalada de cerca de 1,207,84 MW, assim distribuídos:

- 520 MW com caldeiras e turbinas a vapor;

- 350 MW com motores a fuel;
- 300 MW com motores e turbinas a Gás Natural, estando programados mais de 200 MW a curto prazo, tornando este combustível o principal no sector;

Ainda devemos realçar que cerca de 5.7 GWh de energia eléctrica é produzida em Cogeração, o que representa, 13% da produção de energia eléctrica no Sistema Eléctrico Nacional, o equivalente a aproximadamente 800 milhões de euros investidos.

Face a um enquadramento favorável, aos elevados custos da electricidade que, então se verificavam e à inexistência de alternativas de abastecimento, o que preocupava seriamente as empresas e, de um modo especial, as que competiam em países com custos energéticos mais baixos, levou a que, a partir de 1990, tivessem sido instaladas em Portugal 64 novas centrais de Cogeração com motores a Diesel, o que leva a concluir que Portugal apostou forte na Cogeração, estando esta dividida pelos vários sectores como já foi referenciado anteriormente a nível global.

A Indústria Têxtil é o sector que mais contribui para o total de energia eléctrica com origem nesta forma de produção, com 29,76% do total. Outro dos sectores industriais com importância relativa é a indústria papelreira, com cerca de 19,38% do total nacional Cogeração. O gráfico 6 ilustra com precisão a produção de Electricidade por Cogeração em Portugal nos vários sectores de actividade.

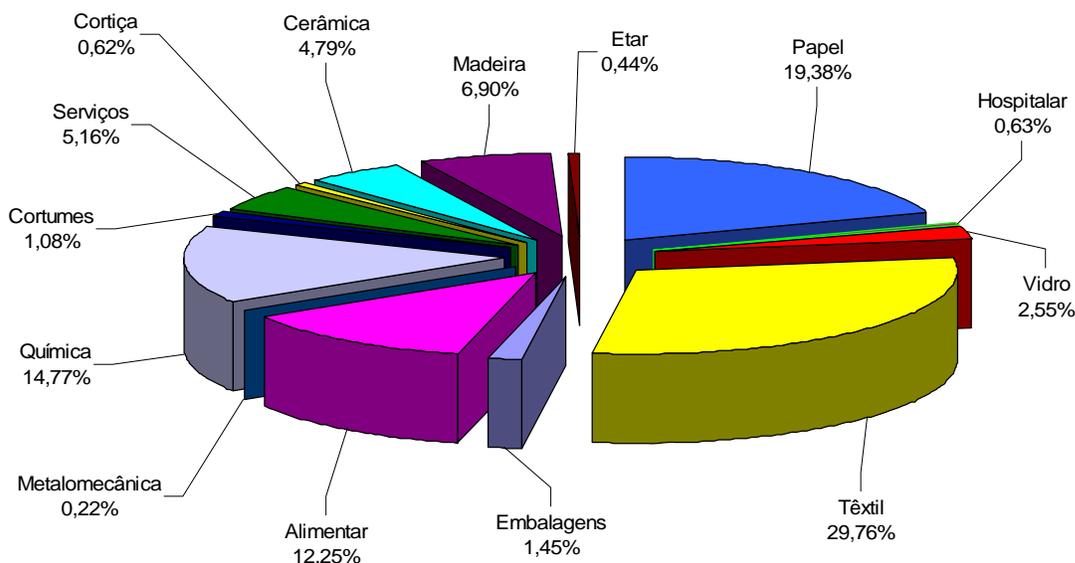


Gráfico 6– Distribuição de Cogeração em Portugal por Sectores (dados 2005)

Apesar desta distribuição relativa, observa-se um crescimento marcado da utilização de Cogeração em praticamente todos os Sectores industriais.

Relativamente à desagregação da potência instalada por subsectores (sector terciário) (visível no gráfico 7), os Hóteis representam 63,5% da potência total instalada do sector e as Estações de Tratamento de Águas Residuais aproximadamente 32,6%, enquanto que o subsector dos Hospitais/Serviços de Saúde têm uma expressão insignificante,

representando apenas 0,8%. O subsector das Piscinas, que contabiliza 30% do número de instalações de Cogeração, em termos de potência instalada representa cerca de 3,1% da potência total do sector.

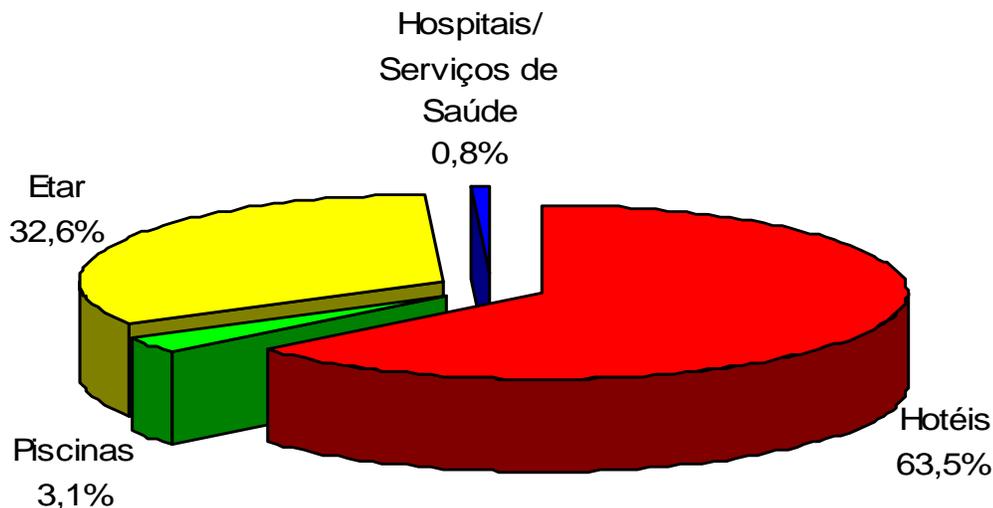


Gráfico 7– Distribuição de Cogeração em Portugal por Sub-sector (sector terciário) (dados 2005)

A respeito das Piscinas, além da baixa potência instalada, há uma situação semelhante às ETARs, isto é, não há necessidades de arrefecimento que possam justificar a evolução das instalações de Cogeração existentes para instalações de Trigeração. Uma excepção poderia ser naquelas piscinas de grandes dimensões, para competições desportivas (dimensões olímpicas), mas devido ao pequeno número de piscinas deste tipo que existe no país, o respectivo potencial de Trigeração é diminuto.

O cumprimento dos objectivos nacionais, quanto à redução de emissões, consagrados no Plano Nacional de Alterações Climática (PNAC) aprovado pelo Governo em 2004, estabelecem que a potência adicional em Cogeração, a instalar até ao ano 2010, deverá ser de aproximadamente 800MW, mantendo-se operacionais todas as instalações que se encontram já licenciadas.

4.2 Projectos de Cogeração

No caso Português existem várias empresas interessadas em investir na Cogeração. A GDP e a Petrogal, Empresas do Grupo Galp Energia, têm-se empenhado fortemente no desenvolvimento da Cogeração em Portugal, criando as condições necessárias para que os produtores possam contar com serviços, combustíveis e lubrificantes de alta qualidade a custos competitivos.

A Cogeração no Grupo Galp Energia é desenvolvida pela Galp Power a qual tem, neste momento, quatro Projectos de Cogeração em exploração e desenvolvimento, detalhados na tabela 6 :

	POTÊNCIA	CONSUMO GN

	MW	Mm ³ /ANO
ENERGIN (Solvay)	43	96
CARRIÇO COGER.	30	60
POWERCER	7	17
REFINARIA SINES	86	235
TOTAL	166	408

Tabela 6 – Alguns Projectos de Cogeração em Portugal

que representam uma potência total de 166 MW, dos quais estão já instalados 73 MW e outros 93 MW actualmente em execução, consolidando um consumo de Gás Natural de 408 Mm³/ano. Este volume representa mais de 3 vezes o consumo actual de gás natural na Grande Lisboa e quase metade do volume contratado pela Central da Tapada do Outeiro.

Para além das indústrias podemos encontrar sistemas de Cogeração em novos edifícios de habitação e serviços e em alguns Hospitais (ex. Hospital S.josé (Lisboa)[Ver ponto 5.2]), estando ainda por aprofundar em Portugal a exploração do conceito, muito utilizado nos países nórdicos, “District Heating”, apesar de este apresentar grandes potenciais.

Para além das instalações já em funcionamento alguns dos futuros potenciais projectos de Cogeração na indústria estão especificados na figura 25:

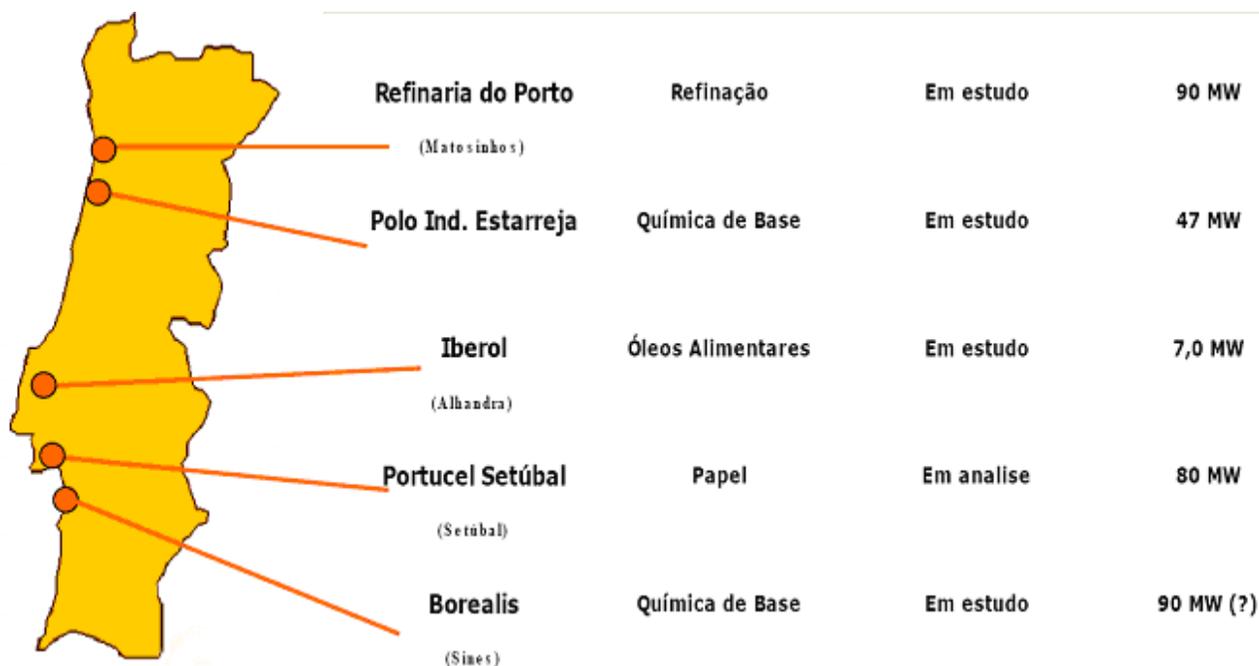


Figura 25– Futuros projectos de Cogeração na indústria em Portugal
[galppower website]

5. Trigeração em Portugal

Perto do final de 2006, havia 11 instalações de Trigeração em Portugal, estando apenas 10 a funcionar satisfatoriamente. Aquelas 10 instalações representam aproximadamente 26,3 MWe, o que equivale a 2,4% da potência total instalada de Cogeração em Portugal. Todos os Chillers de Absorção utilizados nessas instalações têm água-LiBr como par de trabalho.

As instalações existentes distribuem-se por 5 subsectores, sendo o dos Centros Comerciais o mais representativo em termos de número de instalações (33%) e de potência eléctrica instalada em Trigeração (56,7%) no Sector Terciário e essa distribuição é visível no gráfico 8:

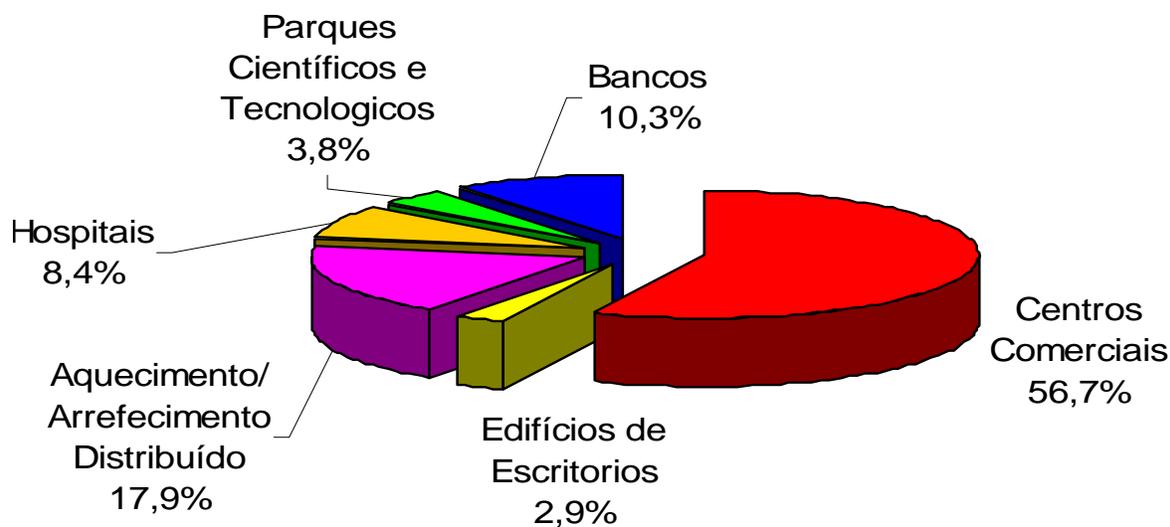


Gráfico 8– Desagregação da potência eléctrica total de Trigeração instalada no Sector Terciário português por subsector (100% = 26,3 MWe)

Sabendo que a Trigeração necessita de uma tecnologia de Cogeração para se “alimentar”, o gráfico 9 representa a desagregação da potência eléctrica total de Trigeração instalada no Sector Terciário português por tecnologia de Cogeração utilizada (100% = 26,3 MWe).

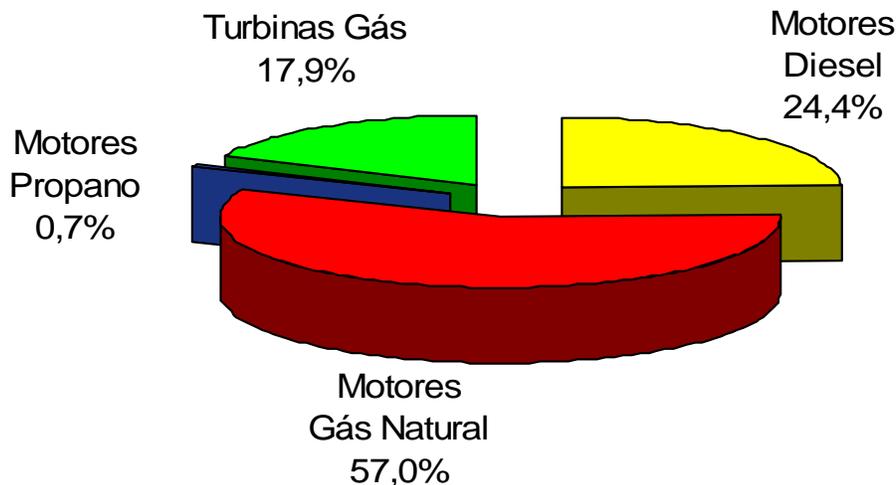


Gráfico 9 – Percentagem das tecnologias de Cogeração usadas na Trigeração.
(100% = 26,3 MWe)

Um dos primeiros passos no investimento da Trigeração em Portugal foi dado pela Parque EXPO'98, S.A. quando esta decidiu lançar a ideia de implementar uma rede urbana de frio e calor na Zona de Intervenção da EXPO'98, constituindo assim um projecto pioneiro e inovador quer em Portugal quer na Europa. Com esta solução energética, para a climatização dos edifícios, a Parque EXPO'98, S.A., procurou gerar sinergias através de uma abordagem sistémica de planeamento urbano, inserindo um conceito de estratégia global para a eficiência energética e o ambiente.



Figura 26– Parque Expo – Edifícios servidos de Trigeração

Neste momento ainda só três Hospitais Portugueses (Hospital São Francisco Xavier (Lisboa), Hospital Garcia de Orta (Almada), Hospital Pedro Hispano (Matosinhos)), onde há grandes necessidades de Electricidade, calor e frio em média/grande escala e com rapidez e eficiência obviamente desejadas, aderiram a esta tecnologia, que tem grandes benefícios em todos os aspectos (ver 5.2). A tabela 7 mostra como a Trigeração no sector Hospitalar tem vantagens a curto, médio e longo prazo, considerando o cenário 1 como o cenário que se vive actualmente em Portugal, com a aplicação das tarifas e políticas que vigoram e o cenário 2 como um futuro estado de políticas e tarifas mais favorável.

	Potencial Técnico	Potencial de Mercado	
		Cenário 1	Cenário 2
Potencial (MWe)	66	13	63
Poupanças de E. Primária(MWh/ano)	739	150	703
Emissões de CO2 evitadas (t/ano)	148	30	141

Tabela 7 – Potenciais da Trigeração no Sector Hospitalar em vários cenários da economia.

Nos últimos tempos o investimento nesta área tem aumentado e novos projectos urgem (ponto 5.1 e 5.2), o que leva a crer que a curto prazo o gráfico 8 tome posições um pouco diferentes.

A seguir é apresentada a tabela 8, que para além de reflectir as necessidades (eléctricas, térmicas e de refrigeração) que cada tipo de instalação necessita, nos vários Sub-sectoros do Sector Terciário, ainda indica algumas curiosidades.

Subsector	Nº de Projectos	Potência instalada (MW)		
		Electrica	Térmica / calor	Térmica / frio
Bancos	1	2.70	n.d.	n.d.
District Heating & Cooling	1	4.70	>>22.00 (a)	>>40.00(a)
Hospitais	3	4.26	> 2.30	> 2.00
Edifício de Serviços	1	0.77	0.23	0.52
Parques Científicos e Tecnológicos*	1	1.00	>>1.19	>>0.71
Centros Comerciais	3	14.92	> 0.55	> 1.75

TOTAL	10	28.35	> 26.27	> 44.98
--------------	-----------	-------	---------	---------

Outras informações a realçar:	
Máxima potência instalada por projecto de CHCP	6.42 MWe
% utilização de tecnologias CHP	Motores a gás natural - 57%; Turbinas a gás- 17.9%; Motores Diesel – 24.4% ; Motores propano – 0,7%
% Tipo de Combustível usados nos projectos de CHCP	Gás natural(76.7%); Propano (0.7%); Fuel oil (22.6%)
Tempo de vida médio, até aos dias de hoje, dos projectos de CHCP	aprox. 5 anos
NOTAS: n.d. = não disponível; (a) As capacidades térmicas não são asseguradas apenas pela recuperação de calor de uma instalação de CHP , pois contam com o apoio de equipamentos convencionais (caldeira a vapor e 2 Chillers eléctricos) * Não inclui o projecto CHCP do Europarque que foi instalado em 2000, com uma capacidade total de 2,6MWe , pois este nunca trabalhou.	

Tabela 8 – Síntese detalhada dos projectos Trigeração nos sub-setores do Sector terciário.

5.1 Projectos de Trigeração

Apesar da distribuição disforme da Trigeração no sector terciário (gráfico 4), têm-se desenvolvido alguns projectos que visam combater essa tendência, nomeadamente em alguns novos edifícios de serviços, habitação e hotéis.

Alguns desses novos projectos são o edifício da Câmara Municipal da Mealhada, e o Tâmega Park (Futuro parque industrial de Amarante), que irá ser constituído por 59 armazéns, 54 unidades industriais, 38 escritórios e comércio, distribuídos por 13 edifícios com uma área coberta de 50600 m². Dado que uma parte significativa das empresas que se instalaram neste Park têm como ramo de actividade a transformação de madeira e uma vez que a região do baixo Tâmega possui uma grande área de floresta, foi realizado um estudo com a finalidade de aferir as possibilidades de sucesso de uma central de trigeração funcionando a biomassa.

A implementação duma central a biomassa com estas dimensões insere-se perfeitamente no actual contexto energético nacional e europeu, onde recorde-se, devido ao protocolo de Quioto, a incrementação significativa do uso de energias renováveis constitui um objectivo prioritário de todos os estados membros.

Aprofundando mais o estudo deste projecto de Trigeração no Tâmega Park, os resultados obtidos, presentes na tabela 9, para o qual esta instalação foi projectada, permitem-nos ter uma percepção dos valores reais necessários para uma construção destas dimensões (figura 29) em várias alturas do dia e do ano.

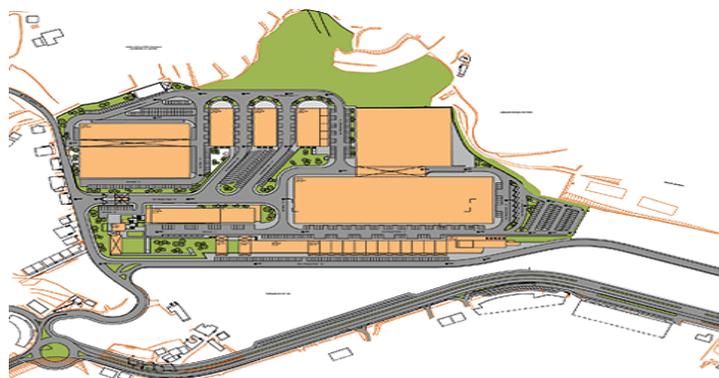


Figura 27 – Planta do futuro Tâmega Park

Potência térmica nominal de Aquecimento		
Perdas pela envolvente	Perdas por renovação do ar	Potência térmica necessária
665 kW	740 kW	1405 kW
Potência térmica nominal de Arrefecimento		
PM(parte da manhã)	PT(princípio da tarde)	FT(fim da tarde)
1170 kW	1215 kW	1225 kW
Potência térmica necessária para climatizar no verão		
PM(parte da manhã)	PT(princípio da tarde)	FT(fim da tarde)
1265 kW	1314 kW	1325 kW
Potência necessária para aquecimento de águas sanitárias		
Inverno	Verão	
475 kW	265 kW	
Potência térmica total		
Inverno	Verão	
1880 kW	1590 kW	
Potência eléctrica total a instalar		
1000 kW		

Tabela 9 – Estudo das Potências necessárias para o funcionamento do Tâmega Park.

Relativamente aos estudos de viabilidade económica foram apresentados os resultados dos 5 primeiros anos de exploração da central considerando um funcionamento de 16 h/dia, sendo que durante 8 horas a energia será consumida pelo parque e nas restantes 8 horas a energia eléctrica será vendida à EDP. Não foi tido em conta a solução de utilização de uma turbina de condensação nem o sistema de distribuição de calor municipal, ou seja a energia térmica restante não foi contabilizada.

No que diz respeito à climatização dos edifícios do parque, os cálculos foram efectuados tendo por base um consumo diário de 8 horas durante dez meses (seis de Inverno e quatro de Verão), a uma carga média de 70% da potência máxima de Inverno e Verão.

Em relação ao aquecimento das águas sanitárias admitiu-se que a potência necessária é a referente à potência máxima de Inverno durante sete meses, e a referente à potência máxima de Verão durante os restantes.

A tabela 10 apresenta valores relativos a investimentos, receitas e rentabilidade previstos para a instalação.

Investimento Inicial					
Caldeira [€]	400000				
Grupo turbo-gerador [€]	600000				
Outros equipamentos [€]	1000000				
Total [€] (s/ financiamento)	2000000				
Total [€] (c/ financiamento de 50%)	1000000				
Receitas					
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Valor da energia térmica (€)	72494,8	72494,8	73944,7	75423,6	76932
Valor da electricidade produzida (€)	268800	274176	279659,5	285252,7	290957,8
Receitas totais (€)	341294,8	348120,7	355083,1	362184,8	369428,5
Indicadores de Rentabilidade					
	TIR	PAYBACK	VAL		
	11,83(%)	3,49(anos)	429983,43(€)		

Tabela 10 – Valores obtidos com o estudo de viabilidade económica no Tâmega Park.

Os resultados deste estudo preliminar afiguram-se extremamente positivos, pois foi possível a apresentação de uma solução técnica para um central de Trigeração a biomassa a instalar no futuro Tâmega Park, com índices de rentabilidade bastante promissores para futuros investidores.

5.2 Instalações Hospitalares

Os exemplos de aplicação desta tecnologia existente em Portugal são essencialmente em hospitais, de referir:

🌸 Hospital Pedro Hispano – Matosinhos



Figura 28- Hospital Pedro Hispano

🌸 Hospital Garcia de Orta - Almada



Figura 29- Hospital Garcia da Horta

✿ Hospital São Francisco Xavier - Lisboa



Figura 30- São Francisco Xavier

5.2.1. – Hospital Pedro Hispano

- O projecto inicial do Hospital incluía a instalação de uma unidade de Trigeração, que foi abandonada a meio da construção. Ficando:



- Central térmica com espaço disponível para a central de Trigeração
- Um chiller de absorção instalado e respectiva torre de arrefecimento
- Espaço disponível para o transformador da Trigeração
- Um chiller eléctrico e 2 caldeiras de água quente

- Solução adoptada:

- Instalação de uma terceira caldeira de

- água quente
- Limitação da área climatizada, já instalada, por deficiência de produção de água Gelada.

- Solução Trigeração
 - Colocação em funcionamento do Chiller de Absorção com uma potência de 1.000 kW, mas limitado a 600 kW, pela dimensão da torre
 - Redução dos custo de energia em 10% (Eléctrica) e 12% (Térmica)

- Evolução
 - Alteração em 2004, da torre de arrefecimento ampliando a potência do chiller de absorção para 1.000 kW
 - O mercado Liberalizado de energia eléctrica, regime não vinculado, forçou em 2005 a descida dos preços de energia eléctrica:
 - A Trigeração passou a exportar a totalidade de energia eléctrica
 - O Hospital passou a adquirir a energia eléctrica ao regime não vinculado, obtendo um desconto total (Trigeração + Não Vinculado) de 25%
 - Em 2007, necessidades de consumo de água gelada, origina um estudo de crescimento da produção desta Energia.

- Equipamento
 - 2 Motores DEUTZ a gás natural, de 1018 kWe cada
 - 1 chiller de absorção de 1MW

- Instalação
 - Investimento de 1,5 M€ Euros
 - Arranque em Março de 2001
 - 37.000 horas de funcionamento

- Recuperação de Energia
 - Energia Eléctrica de 12,3 GWh/ano
 - Energia Térmica:
 - Água Quente de 5,8 GWh/ano
 - Água Gelada de 3,5 GWh/ano



5.2.2.-Hospital Garcia de Horta

- Este projecto de Trigeração previa:
 - Construção de uma unidade de Trigeração, com um chiller de absorção de 1.000 KW
 - Rede de gás natural e conversão para equipamentos de queima a gás
 - Desmantelamento da central de vapor



- Construção de uma rede de água quente eliminando as subestações a vapor.
 - Instalação de 2 caldeiras de água quente (Back Up à cogeração)
- Instalação de 2 caldeiras de vapor de vaporização rápida, dispensando a presença de fogueiros, garantindo o fornecimento de vapor à Cozinha, Esterilização e Humidificação.
- Equipamento utilizado:
 - 2 Motores DEUTZ a gás natural, de 1018 kWe cada
 - 1 chiller de absorção de 1.000 kW
 - Instalação
 - Investimento de 2,5 M€ Euros
 - Arranque em Dezembro de 2002
 - 24.000 horas de funcionamento
 - Recuperação de Energia
 - Energia Eléctrica de 12,7 GWh/ano
 - Energia Térmica:
 - Água Quente de 6,5 GWh/ano
 - Água Gelada de 1,6 GWh/ano
 - Evolução
 - A criação de uma central de frio e aumento da potência de produção:
 - Disponibiliza água gelada para a climatização do novo edifício de Psiquiatria recentemente construído.
 - Criou condições para a construção de uma rede de ventiloconvectores (em execução faseada) que climatizará a totalidade do Hospital
 - Melhoria na produção instantânea de vapor
 - Instalação de uma 3 caldeira de vaporização rápida
 - Criação de uma central de Osmose Inversa, para a produção de vapor



5.2.3. - Hospital São Francisco Xavier



O Projecto hospitalar São Francisco Xavier previa:

- Nova Central Térmica

- A construção do novo edifício Hospitalar, implicou a criação de um espaço designado edifício energia, que passaria a desempenhar a função de fornecer a totalidade da energia ao Hospital (Novo e Existente)
 - Produção de água quente e água gelada



- Posto de Seccionamento e Transformação
 - Central de Emergência e QGBT
- O Edifício energia foi dimensionado para abraçar uma central tradicional, sendo necessário algumas transformações, ainda na fase da obra Civil, para poder receber a Central de Trigeração

- Trigeração - solução

- Implementação de uma unidade de Trigeração, aproveitando o espaço do edifício energia.
- Redução do investimento inicialmente previsto pelo Hospital, tendo-se reduzido o número inicial de Chillers eléctricos e caldeiras, bem como os equipamentos associados.
- Redução dos custos das energias (Eléctrica e Térmica) entre 10% e 15%
- Instalação desenhada ao ínfimo pormenor, recorrendo a modelações 3D, de modo a racionalizar o pequeno espaço disponível, obrigando à revisão do projecto inicialmente previsto.
- A Construção foi efectuada na sua maioria em estaleiro, sendo montada no local
- Equipamento
 - 2 Motores Caterpillar a gás natural, de 1165 kWe cada
 - 1 chiller de absorção de 1.100 kW
- Instalação
 - Investimento de 2,0 M€ Euros
 - Arranque em Janeiro de 2006
 - 6.000 horas de funcionamento
- Recuperação de Energia
 - Energia Eléctrica de 11,5 GWh/ano
 - Energia Térmica:
 - Água Quente de 5,0 GWh/ano
 - Água Gelada de 2,6 GWh/ano



6. Legislação

De acordo com o decreto-lei n.º 186/95, a Cogeração é definida como: O processo de produção combinada de energia eléctrica e térmica, destinando-se ambas a consumo próprio ou de terceiros, com respeito pelas condições previstas na lei.

A publicação do Decreto-Lei n.º 189/88, a primeira legislação orientada para a promoção da produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis, combustíveis nacionais ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos, bem como da Cogeração, representou um marco fundamental na história da produção independente em Portugal.

Seguidamente apresenta-se a evolução em termos cronológicos da principal Legislação relativa á Cogeração em Portugal:

- ❖ Decreto-Lei nº 189/88, de 27 de Maio de 1988
 - Criação de um acentuado desenvolvimento de utilização do processo de Cogeração;
 - Surgimento de muitas especialidades;
 - Necessidade de autonomização do enquadramento legal da Cogeração;

- ❖ Decreto-Lei nº 186/95 de 27 de Julho de 1995
 - Consagra a separação legislativa das formas de produção de energia eléctrica, aplicando-se exclusivamente à produção de energia em instalações de Cogeração;
 - Regula a produção de Energia através de processo de Cogeração;

- ❖ Decreto-Lei nº 118/98 de 7 de Maio de 1998
 - Revisão do “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios” (**RSECE**) criado pela primeira vez em 1992 com a seguinte sigla: RQSECE

Este Regulamento destina-se aos edifícios em que há consumos efectivos de energia para climatização (aquecimento e/ou arrefecimento).

Dirige-se sobretudo aos edifícios de serviços, mas também se aplica a todos os edifícios residenciais que tenham sistemas de aquecimento ou de arrefecimento com mais de 25 kW de potência instalada.

Este regulamento estabelece um conjunto de regras de modo que “as exigências de conforto e de qualidade do ambiente impostas no interior dos edifícios, possam vir a ser asseguradas em condições de eficiência energética”.

Relativamente á Cogeração este documento refere que tem de haver uma concepção correcta dos sistemas primários fornecedores de energia e opções de URE (utilização racional de Energia), avaliando a viabilidade económica de sistemas menos convencionais do tipo Co-gerações ou micro-Cogerações, captação de energias renováveis, redes urbanas de distribuição de calor e/ou frio, etc., e ainda dos sistemas já previstos no actual RSECE (recuperação de calor, arrefecimento gratuito, gestão centralizada, repartição de potências, etc.), tal como imposto pela Directiva Europeia;

❖ Decreto-Lei nº 538/99 de 13 de Dezembro de 1999

- Criação do Mercado Interno de Electricidade;
- A defesa do Ambiente – estreitamento das políticas ambiental e energética;

A limitação em matéria das emissões dos gases que provocam o efeito de estufa (GEE), em resultado da implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas e do Protocolo de Quioto, dela decorrente, foram alguns dos motivos que provocaram uma revisão da legislação referenta á Cogeração por parte do Governo. O Decreto-Lei nº 538/99 de 13 de Dezembro de 1999 vem operar essa revisão, destacando-se:

- A alteração do tarifário aplicável ao fornecimento para a rede do Sistema Eléctrico Público (SEP) da energia eléctrica produzida em instalações de Cogeração, estabelecendo-se os princípios necessários à internalização dos benefícios ambientais proporcionados por essas instalações;
- O alargamento das situações em que é autorizado o fornecimento a terceiros da energia eléctrica produzida, seja nos casos em que a Cogeração se encontra associada a um processo de autoconsumo da energia eléctrica produzida, seja nos casos em que a energia é fornecida às filiais e empresas associadas do Cogrador;
- A alteração das regras para definição da potência máxima de ligação das instalações de Cogeração à rede do SEP com vista a facilitar o acesso a essa rede;

❖ Portaria nº 31/2000 de 27 de Janeiro de 2000

- Estabelecimento da Fórmula de cálculo da remuneração, pelo fornecimento da energia à rede (SEP), das instalações de Cogeração licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei n.º 538/99, de 13 de Dezembro, cuja potência de ligação seja superior a 10 MW.

Como uma síntese desta portaria podemos dizer que se estabelecem três tarifários distintos, aplicáveis a toda a energia eléctrica fornecida pelas respectivas instalações à rede do SEP, consoante:

- A potência de ligação das instalações de Cogeração seja inferior ou igual a 10 MW;
- A potência de ligação das instalações de Cogeração seja superior a 10 MW;
- As instalações de Cogeração sejam utilizadoras de energia primária que, em cada ano, seja constituída em mais de 50% por recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos, independentemente da potência de ligação.

❖ Decreto-Lei nº 313/2001 de 10 de Dezembro de 2001

- Criação de um regime especial para a Produção de Energia Eléctrica;
- Foram criadas as condições de exploração de Cogeração e novos tarifários;

A maior parte deste Decreto foi uma revisão ao Decreto nº 538/99 já apresentado anteriormente, pois este estabeleceu as regras aplicáveis à produção combinada de calor e electricidade, vulgarmente conhecida como Cogeração. A experiência derivada da sua aplicação postulou a necessidade de introduzir alguns ajustamentos no articulado, no sentido de propiciar o desejável desenvolvimento das instalações de Cogeração, por forma a serem atingidas as recomendações da União Europeia.

❖ Despacho nº 7127/2002 de 14 de Abril de 2002

- Revisão da fórmula de cálculo da remuneração, pelo fornecimento da energia entregue à rede, das instalações de Cogeração licenciadas;
- Fixação dos valores de referência já previstos em Portarias anteriores;

A fórmula de cálculo que é fixada no Despacho anterior que já é proveniente do Decreto-Lei nº 313/2001 de 10 de Dezembro de 2001, é dada por:

- $REE = E/[C - [T/(0,9 - 0,2 \times (CR/C))]]$ em que REE é um coeficiente adimensional designado rendimento eléctrico equivalente, E é a energia eléctrica produzida anualmente, T é a energia térmica útil consumida anualmente, C é a energia primária consumida anualmente e avaliada a partir do poder calorífico inferior dos combustíveis usados e CR é o equivalente energético dos recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos consumidos. Naturalmente que E, T, C e CR estão expressos nas mesmas unidades de energia.

O rendimento eléctrico equivalente tem um valor mínimo, o qual é diferenciado em função do combustível usado. Assim, tem-se:

- $REE \geq 0,55$ – para o caso do gás natural e gás de petróleo liquefeito;
- $REE \geq 0,50$ – para o caso do fuelóleo;
- $REE \geq 0,45$ – para o caso de instalações de biomassa;

Para finalizar no caso de $CR=0$ e de se usar gás natural, a fórmula anterior toma a forma: $REE = E/[C - [T/0,9]] \geq 0,55$.

❖ Despacho nº 19151/2002 de 8 de Agosto de 2002

- Aprovação do Guia para a realização de Auditorias Energéticas às instalações de Cogeração;
- Criação do Guia para aceitação e reconhecimento de Auditores para realização de Auditorias Energéticas às instalações de Cogeração;

Relativamente a este Despacho podemos referir que actualmente a lei reconhece às instalações de Cogeração o direito de serem remuneradas pelos benefícios relativos ao custo e emissões de poluentes que evitam, quando comparadas com as formas de energia tradicionais de conversão de energia. Assim torna-se necessário medir a eficiência global

do processo que varia muitas vezes no tempo. Neste contexto a actual legislação relativa às instalações de Cogeração estabelece a obrigatoriedade de avaliação das condições de funcionamento dessas instalações, **de dois em dois anos**, a realizar por um auditor independente reconhecido pela DGGE (Direcção-Geral de Geologia e Energia).

- ❖ Despacho 19111 / 2005 de 19 de Agosto de 2005
 - Nova e última alteração dos valores unitários de referência já alterados anteriormente em outros Despachos;

- ❖ Conselho de Ministros de 26 de Janeiro de 2006

A última Legislação aplicada á Cogeração até então, saiu do Conselho de Ministros de 26 de Janeiro de 2006 onde foi aprovado o novo RSECE (apesar de este continuar a não ser aplicado).

Este novo regulamento, para além da adequação da anterior regulamentação à realidade presente do sector em Portugal, inserem-se também no espírito da Directiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios, e que tem por principal objectivo a redução dos consumos energéticos, através da implementação de soluções técnicas eficientes e da utilização de fontes de energias renováveis.

Nestas soluções técnicas eficientes subentende-se a Cogeração, que nesta revisão passou a ser obrigatória para os grandes edifícios (>1000 m²), onde os países-membros deverão exigir estudos de viabilidade técnica, ambiental e económica para sistemas descentralizados de fornecimento de energia e designadamente Cogeração e “district-heating”, antes de ser concedida a autorização de construção. Os edifícios a reconstruir/restaurar, onde a energia tiver um peso significativo, deverão, caso não façam provas de lhes ser desfavorável o investimento, considerar a instalação da Cogeração para atingir os critérios de eficiência energética. As economias de energia, resultantes dos sistemas de Cogeração, são reconhecidas nos cálculos da eficiência energética dos edifícios.

No que respeita a questões ambientais, dependendo da natureza, dimensão e localização das instalações, importa referir, nomeadamente: o Impacte Ambiental (Decreto-Lei n.º. 69/2000, de 3 de Maio), o Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º. 292/2000, de 14 de Novembro), a emissão de poluentes (Portaria n.º. 1058/94, de 2 de Dezembro e Portaria n.º. 268/93, de 12 de Março), e a autorização para a queima de resíduos (Decreto-Lei n.º. 239/97, de 9 de Setembro e Decreto-Lei n.º. 273/98, de 2 de Setembro).

Depois de analisado todo este enquadramento legal, podemos concluir que a energia entregue à rede passou a ser remunerada de acordo com os custos evitados pelo sistema público na produção e transporte dessa mesma quantidade de electricidade a que acresce um prémio ambiental sempre que a eficiência da Cogeração exceder o do processo convencional equivalente. Isto significou para os Co-geradores nacionais uma melhoria evidente e bastante importante relativamente ao que era pago ao abrigo das legislações de 1988 e 1995.

Pelo facto de o preço pago pela rede ao produtor estar parcialmente indexado ao preço do combustível do mercado internacional, os riscos de exploração devidos a variações nos custos da principal matéria prima, como aconteceu nos últimos anos, estão agora controlados, salvaguardando-se assim a estabilidade económica durante a vida útil dos projectos.

7. Conclusão

Podemos então concluir que a implementação destas tecnologias tem claros benefícios directos e indirectos, os económicos, a longo prazo, tendo em conta o elevado custo inicial e os ambientais devido ao reaproveitamento da energia desperdiçada na produção de energia eléctrica para a produção de energia térmica conseguindo uma considerável redução de produção de energia e consequentemente uma redução de CO2 produzido. Ainda existem estudos a serem desenvolvidos para um melhor rendimento destes equipamentos, também é necessário referir que todos estes equipamentos têm custos muito elevados devido um pouco á sua recente investigação e desenvolvimento daí em muitos casos não ser economicamente viável a implementação deste tipo de tecnologia, como é o caso dos utilizadores domésticos ou mesmo das pequenas e médias industrias. Em Portugal as aplicações mais consideráveis podem ser vistas em hospitais, tal como referido anteriormente, visto terem grandes necessidades de energia, tanto eléctrica como térmica e o pay-back ser considerado razoável.

Portanto falamos de uma tecnologia que demonstra claramente os seus benefícios e que tem vindo a tomar um lugar de destaque nos últimos anos quando se fala de eficiência energética e de questões ambientais inerentes á energia.

8. Referências

8.1 – W W W

- ❖ www.google.pt
Pesquisa em (Cogeração/Trigeração)
- ❖ www.cogenportugal.com
- ❖ www.energiasrenovaveis.pt
- ❖ www.dgge.pt
- ❖ www.ist.pt
- ❖ www.trigemed.com
- ❖ www.tecnoveritas.net
- ❖ www.cogeneration.net/
- ❖ www.edp.pt
- ❖ www.erse.pt
- ❖ www.ren.pt
- ❖ www.climanet.pt
- ❖ www.ieee.com
- ❖ www.plugpower.com
- ❖ www.SULZERHEXIS.com
- ❖ www.fsc-online.com

- ❖ www.wikipedia.com
- ❖ www.semanario.pt

8.2 – Bibliográficas

- ❖ Revista “O Electricista”
- ❖ Revista “Tecno Hospital”
- ❖ Revista “Diálogo”(Siemens)
- ❖ Micro-CHP Fact Sheet Portugal – COGEN Europe
- ❖ Analysis of Trigeneration Systems with respect to energy Consumption, CO₂-Emission and Economics.
Institute für Energietechnik
Technische Universität Berlin
- ❖ Produção de Energia em Edifícios Hospitalares - III Congresso da ATEHP
- ❖ [Azevedo, João Luís Toste]
Apontamentos sobre Cogeração, IST;
- ❖ [Carvalho, João]
“Um modelo de pilhas de Combustível ligadas ao Sistema de Energia Eléctrica ”
Tese de Mestrado, IST
- ❖ [Leitão, André Craveiro]
[Fonseca, João Miguel Afonso dos Santos]
“ Células de Combustível e Integração na Rede para Sistemas com elevada Qualidade de Energia”
Projecto final de Curso, DEEC, FCTUC, Setembro 2005
- ❖ [TRIGEMED]
“Promotion of tri-generation technologies in the tertiary sector in Mediterranean countries (Greece, Italy, Spain, Portugal),
Contract no. 4.1031/Z/01–130/2001”
- ❖ [Brandão, Sérgio da Silva]
“Cogeração”
Deec,2004

