

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Estudo do desenvolvimento da integração de micro-cogeração em Portugal

Marco António Lobo Pereira

Dissertação/Relatório de Projecto realizada(o) no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. António Machado e Moura

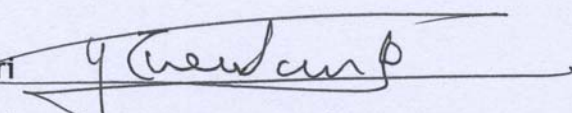
Fevereiro de 2009

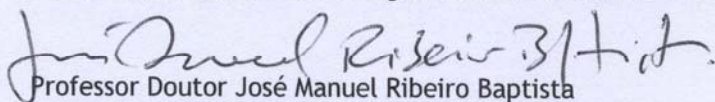
A Dissertação intitulada

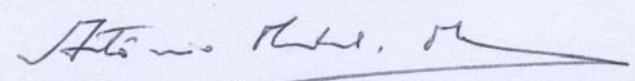
**“ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DA INTEGRAÇÃO DE MICROGERAÇÃO EM
PORTUGAL”**

foi aprovada em provas realizadas em 26/Fevereiro/2009

o júri

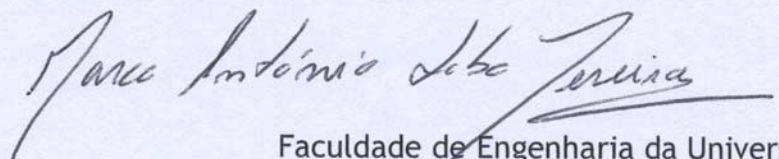

presidente Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


Professor Doutor José Manuel Ribeiro Baptista
professor auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro


Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
professor catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados

Autor - Marco António Lobo Pereira



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Considerando-se a micro-cogeração como uma alternativa energeticamente eficiente em relação a outros métodos de produção de energia, com este trabalho pretendeu-se analisar a rentabilidade de uma eventual integração de um sistema de micro-cogeração numa residência familiar em Portugal.

Apesar de ser uma tecnologia ainda em fase embrionária, não só em Portugal como também no resto da Europa, existem já alguns modelos de sistemas de micro-cogeração disponíveis no mercado, estando outros ainda em fase de desenvolvimento, ou apenas muito recentemente a serem efectivamente testados. No entanto, os sistemas já testados deixam antever uma tecnologia que, se devidamente enquadrada em termos legais, e juntamente com uma aposta na produção de energias renováveis, pode contribuir largamente para um aproveitamento mais eficiente dos recursos energéticos do país, oferecendo simultaneamente soluções economicamente mais rentáveis para os consumidores.

Palavras-chave: Cogeração, Micro-Cogeração, Produção Descentralizada, Eficiência energética, Energia eléctrica, Energia térmica.

Abstract

Considering micro-CHP as an energy efficient alternative in relation to other methods of energy production, with this work it was intended to analyze the yield of an eventual integration of a system of micro-CHP in a family house in Portugal.

Even though it is a technology still in development, not only in Portugal but also in other countries in Europe, there are already some available micro-CHP models in the market and others almost ready to be released for commercial usage. In fact, the tested systems anticipate a technology that, if properly adjusted in legal terms, and together with an expansion of the production of renewable energies, can widely contribute to a more efficient employment of the energy resources of the country, offering more profitable economical solutions for the consumers as well.

Keywords: Cogeneration, Micro-CHP, Decentralized Production, Energetic efficiency, Electric energy, Thermal energy.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor António Machado e Moura, pela orientação e pela motivação dada.

Ao Professor Doutor Cláudio Monteiro, pela preciosa ajuda no arranque da dissertação.

À minha mãe, pela motivação dada e por me proporcionar a possibilidade de tirar o meu curso.

Às minhas irmãs, por todo o apoio e companhia.

À minha namorada, Teresa, por toda a sua ajuda e incentivo ao longo de todos estes anos.

A todos os meus amigos, que me ajudaram muito ao longo do meu curso.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento do Problema	1
1.2. Motivação	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
Capítulo 2	3
Cogeração e Micro-Cogeração	3
2.1. Cogeração	4
2.2. Micro-Cogeração	5
2.2.1. Vantagens da micro-cogeração	6
2.3. Produção descentralizada	9
2.4. Gases de Efeito de Estufa (GEE).....	10
2.5. Gás Natural em Portugal.....	12
2.6. Cogeração e Micro-Cogeração em Portugal.....	13
2.7. Potenciais utilizadores	14
2.8. Legislação relevante para o sector da micro-cogeração:.....	15
Capítulo 3	17
Tecnologias disponíveis.....	17
3.1. Modos de operação para sistemas de micro-cogeração.....	17
3.2. Parâmetros de caracterização de sistemas de cogeração.....	18
3.3. Tipo de tecnologias de micro-cogeração.....	19
3.3.1. Motor de combustão interna	19
3.3.1.1. Estado da tecnologia.....	20
3.3.1.2. Vantagens.....	20

3.3.2.	Micro-Turbinas	21
3.3.2.1.	Estado da tecnologia.....	22
3.3.2.2.	Vantagens.....	22
3.3.3.	Sistemas de micro-cogeração com Ciclo/Motor Stirling	23
3.3.3.1.	Estado da tecnologia.....	25
3.3.3.2.	Vantagens.....	25
3.3.4.	Sistemas de micro-cogeração com Célula de Combustível	25
3.3.4.1.	Estado da tecnologia.....	26
3.3.4.2.	Vantagens.....	28
3.3.5.	Sistemas de micro-cogeração com o ciclo Rankine orgânico	29
3.3.5.1.	Estado da tecnologia.....	30
3.3.5.2.	Vantagens.....	30
3.4.	Comparação das tecnologias de micro-cogeração.....	31
3.5.	Componentes auxiliares	34
3.5.1.	Baterias	34
3.5.2.	Chillers	34
Capítulo 4	37
Caso de Estudo.....		37
4.1.	Cenário	38
4.2.	Determinação da procura da energia térmica para aquecimento de uma habitação....	39
4.3.	Determinação da procura de energia térmica necessária para aquecimentos das águas quentes sanitárias	44
4.4.	Determinação da procura de energia térmica total necessária para aquecimento e águas quentes sanitárias	46
4.5.	Avaliação económica.....	47
Capítulo 5	49
Conclusões e trabalho futuro		49
5.1.	Conclusões.....	49
Referências.....		52

Lista de figuras

Figura 2.1 - Comparação dos rendimentos entre cogeração e produção separada de calor e electricidade. (Os números representam unidades de energia)	4
Figura 2.2 - Esquema de sistema de micro-cogeração	5
Figura 2.3- Sistema de micro-cogeração com motor Stirling (Whispergen)	6
Figura 2.5.- Eficiência global de uma central eléctrica	8
Figura 2.6.- Eficiência global de um sistema de micro-cogeração (ex:célula de combustível).....	8
Figura 2.7 - Emissões sectoriais de GEE do sector energético português, 2005 (Fonte: REA, 2007)	10
Figura 2.8 - Evolução das emissões de GEE em Portugal, e projecções do PNAC 2006 (Fonte: REA, 2007)	11
Figura 2.9 - Repartição mensal da produção de energias primárias (Fonte: REN)	11
Figura 2.10 - Mapa da Rede de Transporte de Gás Natural em Alta Pressão	12
Figura 2.11 - Cogeração instalada em Portugal por tecnologia (Fonte: Cogen Portugal) ...	13
Figura 2.12 - Exemplo de aplicação de um sistema de micro-cogeração numa habitação .	14
Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de um motor de combustão interna a quatro tempos.....	20
Figura 3.2 - Esquema de funcionamento de uma micro-turbina.....	22
Figura 3.3- Esquema de funcionamento de um motor Stirling	24
Figura 3.4 - Esquema de uma célula de combustível.....	26
Figura 3.5 - Esquemas das células PEMFC e SOFC	27
Figura 3.6 - Esquema de montagem de uma célula SOFC	28
Figura 3.7 - Esquema de funcionamento de um ciclo Rankine.....	29

Figura 3.8 - Exemplos de motores de ciclo Rankine	30
Figura 3.9 - Comparação do rendimento eléctrico entre as principais tecnologias de micro-cogeração	31
Figura 3.10 - Comparação do investimento entre as principais tecnologias de micro-cogeração.....	31
Figura 3.11 - Curva comparativa entre os <i>chillers</i> de adsorção e absorção (Fonte: KRUM International)	35
Figura 4.1 - Imagem do Climate Energy's Hydronic Freewatt.....	38
Figura 4.2 - Modelo implementado no programa TRNSYS para simulação das necessidades energéticas para aquecimento de uma habitação	39
Figura 4.3 - Perfil da utilização de luz artificial	40
Figura 4.4 - Controlo da temperatura diária.....	41
Figura 4.5 - Temperaturas do exterior e interiores sem aquecimento central	41
Figura 4.6 - Temperaturas do exterior e interiores com o aquecimento central ligado no Modo 1.....	41
Figura 4.8 - Temperaturas do exterior e interiores com o aquecimento central ligado no Modo 2.....	42
Figura 4.9 - Necessidades de energia térmica nas diferentes divisões no Modo 2.....	43
Figura 4.10 - Modelo implementado no programa TRNSYS para simulação do consumo de AQS.....	44
Figura 4.11 - Perfil do consumo de AQS diário.....	44
Figura 4.12 - Energia necessária no aquecimento de águas quentes sanitárias.....	45
Figura 4.13 - Curva da potência térmica requerida ao longo de um ano.	46

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Factores de conversão (Fonte: MONTEIRO, 2005/2006)	18
Tabela 3.2 - Exemplos de custo do kWh _{CALOR} (Fonte: MONTEIRO, 2005/2006)	18
Tabela 3.3 - Especificações dos motores de combustão interna	21
Tabela 3.4 - Especificações de uma micro-turbina.....	23
Tabela 3.5 - Especificações das diferentes células de combustível	27
Tabela 3.6 - Tabela comparativa entre os três sistemas de micro-cogeração emergentes (fonte: ADENE).....	32
Tabela 4.1 - Características do Climate Energy's Hydronic Freewatt.....	38
Tabela 4.2 - Avaliação económica	47
Tabela 4.3 - Emissões de CO2	47

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AFC	Célula de Combustível Alcalina
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BT	Baixa Tensão
CEEETA	Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
DGFER	Distributed Generation - Future Energy Resources
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GN	Gás Natural
MCFC	Célula de Combustível de Carbonatos Fundidos
PAFC	Célula de Combustível de Ácido Fosfórico
PEMFC	Célula de Combustível de permuta protónica (<i>Proton Exchange Membrane Fuel Cells</i>)
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
REA	Relatório do Estado do Ambiente
REN	Rede Eléctrica Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SOFC	Célula de Combustível de Óxidos Sólidos (<i>Solid Oxide Fuel Cells</i>)

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento do Problema

Actualmente, e cada vez mais, a produção sustentável de energia ganha particular importância. A escassez de recursos, o aumento do preço do petróleo e as crescentes preocupações ambientais obrigam a que se repense todo o sistema de produção, fornecimento e consumo de energia. É neste sentido que se tem vindo a destacar a aposta na utilização de energias renováveis, assim como numa alteração legislativa que as considere, e tenha em conta o consumidor final.

Relativamente às energias renováveis, Portugal tem vindo a adoptar uma posição positiva, no sentido de, através de legislação específica, beneficiar os produtores que apostem nessas energias alternativas.

No entanto, existem outras alternativas que se poderiam impor como uma solução para o futuro, na medida em que apostam numa rentabilidade e eficiência energéticas a ter em conta. É o caso da micro-cogeração de energia, um tipo de produção descentralizada de electricidade, em alternativa ou complemento às grandes centrais electro-produtoras, que poderá representar uma alteração na forma como as redes de transporte e distribuição de electricidade são encaradas actualmente, abrindo novas oportunidades de mercado.

A micro-cogeração de energia, por apostar numa abordagem integrada do serviço energético junto do consumidor final, revela-se assim como um meio essencial de contribuir para a diminuição da dependência energética do país. No entanto, devido sobretudo a questões de ordem política e legislativa que não têm permitido a elaboração de um enquadramento adequado, a integração de sistemas de micro-cogeração em Portugal e no resto da Europa é ainda muito reduzida, sendo que muitos destes sistemas encontram-se ainda em fase de desenvolvimento ou são ainda protótipos.

Pelas experiências já realizadas noutros países com sistemas de micro-cogeração, acredita-se que se trata de um meio eficiente de redução do consumo energético do país, e simultaneamente de acordo com as novas medidas e propostas nacionais com impacto na redução de emissões de Gases de Efeito de Estufa para cumprimento do Tratado de Quioto.

1.2. Motivação

“You will use cogeneration to save money, but there are other benefits of cogeneration if you are concerned with the air you breathe and the energy used from mother earth.” (KOLANOWSKI, 2003, p. *ix*)

Tratando-se a micro-cogeração de um sistema de produção de energia em pequena escala, a sua proximidade com o consumidor final pode revelar-se atractiva, no sentido em que este se torna também produtor de energia, de acordo com as suas necessidades, e através de um sistema que poderá adquirir como um qualquer electrodoméstico, por exemplo.

Em Portugal, a elaboração de um enquadramento adequado, por exemplo através de uma equiparação da micro-cogeração à cogeração ao nível de acesso a tarifas especiais de gás natural, revela-se urgente de modo a serem criadas condições para uma aposta mais alargada nestes sistemas, tornando-os economicamente mais atractivos.

De um modo geral, ao produzirem electricidade no local final de consumo, reduzindo assim as perdas por transporte nas redes eléctricas, os sistemas de micro-cogeração apresentam um elevado grau de eficiência. Por outro lado, muitas destas tecnologias utilizam principalmente gás natural, o que resulta em menores emissões de CO₂ do que nos casos em que se usa outro tipo de combustível. Por fim, existe ainda a possibilidade de aproveitar a energia térmica libertada na produção de electricidade, e que de outro modo seria desperdiçada.

Por estas características, a implantação de sistemas de micro-cogeração em Portugal, e nomeadamente em residências familiares, revela-se um desafio que motivou a elaboração deste trabalho, numa tentativa de se perceber qual o grau de eficiência da utilização destes sistemas.

1.3. Estrutura da Dissertação

Este trabalho encontra-se estruturado em vários capítulos, distribuídos de acordo com o tema a analisar.

No capítulo 2 apresenta-se uma introdução aos conceitos de Cogeração e Micro-Cogeração de energia, Produção Descentralizada e Gases de Efeito de Estufa (GEE). Apresenta-se o estado actual das tecnologias de Cogeração e Micro-Cogeração em Portugal, relacionando-as com a utilização de Gás Natural, e os seus potenciais utilizadores. É também feita uma breve abordagem à legislação nacional mais relevante para o sector da micro-cogeração.

O capítulo 3 centra-se especificamente nos sistemas de micro-cogeração. É feita uma apresentação e descrição das diferentes tecnologias disponíveis ou em desenvolvimento, descrevendo-se o seu modo de operação, as suas vantagens e desvantagens, bem como o seu actual estado de desenvolvimento e aplicação no mercado.

No capítulo 4 apresenta-se o caso de estudo realizado, através do qual se procurou estudar a rentabilidade económica e energética da aplicação de um sistema de micro-cogeração a uma residência familiar do norte de Portugal. Ainda neste capítulo são descritos os cálculos efectuados, e apresentados os resultados e conclusões deste estudo.

No capítulo 5 referem-se as conclusões retiradas da elaboração deste trabalho, assim como as possibilidades futuras de investigação e aplicação prática, de que este estudo pretendeu ser um ponto de partida.

Capítulo 2

Cogeração e Micro-Cogeração

“Whenever you turn on the heater in your car, you are cogenerating. The heat your engine would normally dissipate through your radiator is passed through your car's heater warming the inside of the passenger compartment as you drive along. The single fuel you are using is the gasoline (or natural gas) in your tank, but it is providing both the power to drive your car and the heat to keep you warm. And that's what cogeneration is. Using one fuel to produce two usable energy sources. In this discussion the fuel will be natural gas (although propane and diesel oil may also be used) and the usable energy will be electricity and hot water.” (KOLANOWSKI, 2003, p. ix)

A preservação do ambiente e a eficiência energética constituem-se actualmente como dois dos principais objectivos no desenvolvimento da geração de energia eléctrica. Cada vez mais a produção descentralizada (produção dispersa) de energia, como a microgeração e a micro-cogeração, impõe-se como uma solução para o futuro. Estas fontes produtoras dispersas estão perto dos consumidores e podem ser usadas de modo isolado, ou seja, fornecendo toda a energia necessária ao consumidor, ou de modo integrado com a rede eléctrica, fornecendo o excedente ou o total da energia produzida ao sistema eléctrico.

As tecnologias de micro-cogeração possuem inequívocas vantagens ambientais e energéticas, mas devido ao seu elevado preço de aquisição, por falta de benefícios fiscais ou por ainda não terem acesso a tarifas de gás natural especiais, a sua penetração no mercado português tem sido quase nula.

2.1. Cogeração

No funcionamento de centrais termoelétricas usam-se processos convencionais de transformação da energia fóssil em energia eléctrica. No entanto, por mais eficiente que seja o processo, a maior parte da energia contida no combustível usado no accionamento das turbinas é transformado em calor e perdido para o meio ambiente. Isto acontece porque na transformação da energia térmica em trabalho são usados processos que obedecem às leis da termodinâmica. A eficácia dessa conversão é limitada pela Segunda Lei da Termodinâmica, sendo que uma parte da energia e dos reagentes que não pode ser recuperada, é libertada e perdida no meio ambiente.

Com o intuito de aumentar a eficiência do processo de produção de electricidade começou-se a usar o método de cogeração. Este método consiste no aproveitamento local do calor residual originado nos processos termodinâmicos de geração de energia eléctrica, que de outra forma seria desperdiçado. O aproveitamento pode dar-se sob a forma de vapor ou água quente, para uma aplicação secundária, que pode ou não estar ligada com o processo principal.

Pode então definir-se o conceito de cogeração de energia, como sendo a produção termodinamicamente sequencial de duas ou mais formas de energia a partir da mesma fonte de energia primária (EDUCOGEN, 2001).

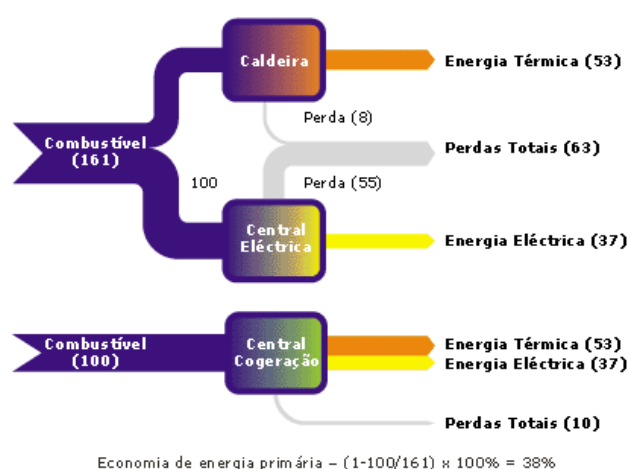


Figura 2.1 - Comparação dos rendimentos entre cogeração e produção separada de calor e electricidade. (Os números representam unidades de energia)

Analisando a figura 2.1, percebe-se que a aplicação do conceito resulta num considerável decréscimo do consumo da energia primária.

Embora James Watt já sugerisse o uso do calor residual das máquinas a vapor, os primeiros sistemas comerciais de cogeração foram instalados apenas no final do século XIX, quando o fornecimento de energia eléctrica proveniente de grandes centrais era ainda raro. Nessa época, era comum que os consumidores de energia eléctrica de médio e grande porte instalassem as suas próprias centrais de geração de energia. Porém, a redução dos custos de energia que entretanto se verificou, associada ao aumento das fontes energéticas disponíveis

(e portanto a preços mais reduzidos do combustível e da electricidade) levou a que as empresas industriais fossem abandonando essas instalações, onde se combinava a produção de energia mecânica ou eléctrica e energia térmica, levando à diminuição da aquisição de caldeiras destinadas exclusivamente à produção de energia térmica, passando a comprar energia eléctrica às empresas produtoras e distribuidoras desta forma de energia. Em resposta às crises petrolíferas dos anos setenta, este aproveitamento combinado de recursos energéticos voltou a ser incentivado e foi objecto de análises teóricas mais elaboradas. Foram então desenvolvidas teorias de análise do desempenho destas instalações, que permitiram uma definição adequada das melhores condições de funcionamento dos equipamentos de produção combinada de electricidade e calor.

2.2. Micro-Cogeração

A micro-cogeração é um processo de cogeração em pequena escala, que, na literatura especializada, assume diversas definições de acordo com a potência que envolve. Na tentativa de contribuir para uma maior clarificação do termo, a recente Directiva da União Europeia 2004/8/CE, faz a distinção entre “micro-cogeração” - quando a potência eléctrica é inferior a 50 kW_e (art.3º alínea m) - e “cogeração de pequena dimensão” - quando esta tem uma capacidade instalada inferior a 1 MW_e (art. 3º, alínea n).

A micro-cogeração refere-se então a uma geração descentralizada de energia através de sistemas providos de componentes térmicos activos, indicados para uso residencial ou no sector do pequeno comércio.

O conceito de micro-cogeração está ilustrado na figura 2.2. Uma máquina motriz, como um motor de combustão interna, acciona um gerador onde se produz energia eléctrica. O calor desperdiçado pelo motor principal é recuperado e é usado para accionar os componentes térmicos activos como por exemplo um chiller de absorção ou desumidificador, e na produção de água ou ar quente através do uso de permutadores de calor.

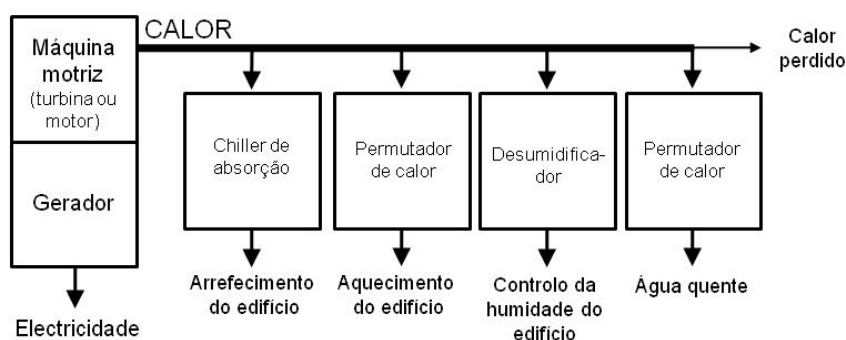


Figura 2.2 - Esquema de sistema de micro-cogeração

Um sistema de micro-cogeração é instalado como uma caldeira de aquecimento moderna. Pode ser colocado, por exemplo, em cozinhas ou em caves ocupando um espaço equivalente a um frigorífico, ou uma máquina de lavar a loiça, com o mesmo nível de ruído. Um exemplo de um sistema de micro-cogeração pode ser visto na figura 2.3.

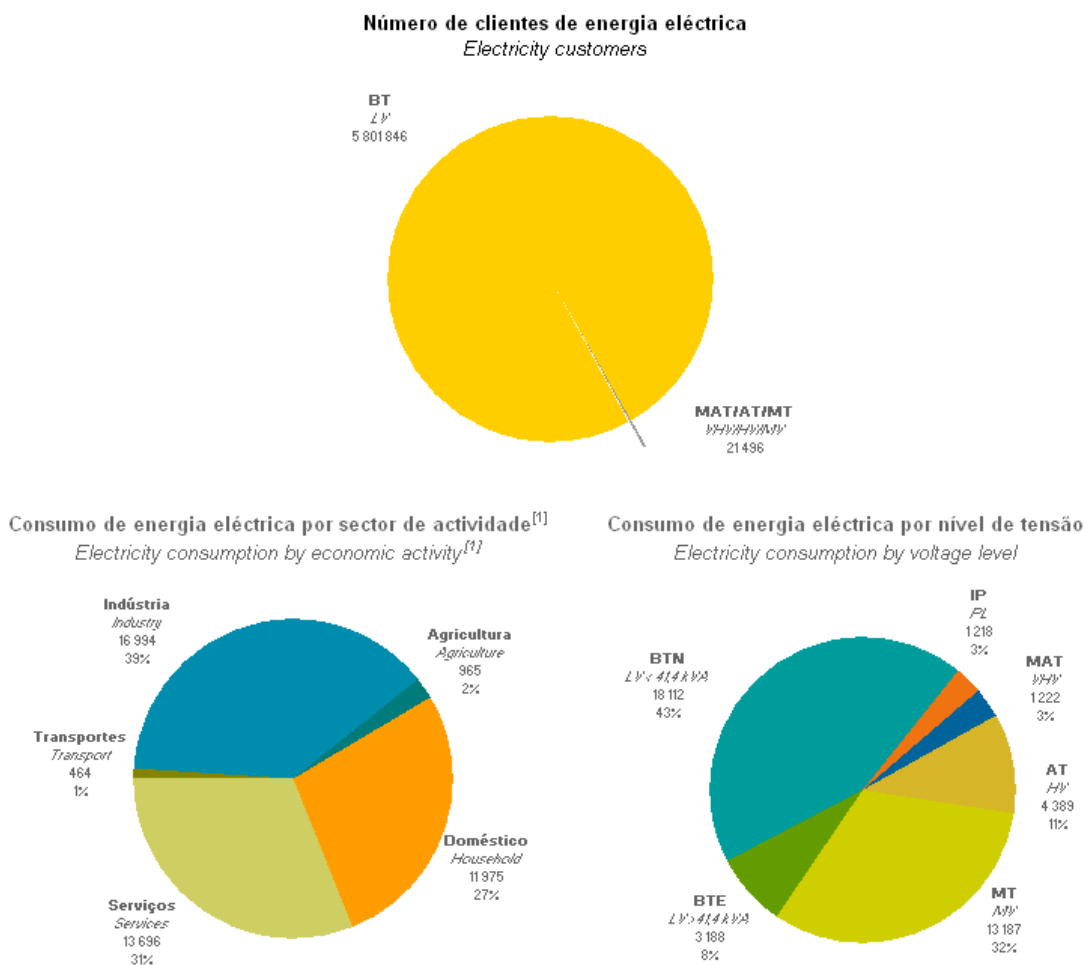


Figura 2.3- Sistema de micro-cogeração com motor Stirling (Whispergen)

2.2.1. Vantagens da micro-cogeração

A cogeração já provou ser um benefício em muitas situações industriais, no aumento da eficiência térmica, reduzindo a quantidade de energia primária. A aplicação da cogeração em pequena escala, de modo a ser usada em residências ou em pequenas lojas comerciais é uma opção atractiva devido ao seu grande potencial no mercado.

Os sectores residencial e do pequeno comercio, são normalmente utilizadores de baixa tensão, com um potência contratada inferior a 50 kVA. Na figura 2.4 podemos ver que o número de utilizadores de baixa tensão domina o mercado e aqueles que possuem uma potência contratada inferior a 41,4kVA consomem 43% da energia eléctrica portuguesa.



^[1] inclui o autoconsumo
self consumption included

Fonte - Source: DGGE, EDP

Figura 2.4 - Clientes e consumo da energia eléctrica no SEN em 2004

A energia consumida pelo sector doméstico, além de representar uma das maiores partes do consumo da energia no sistema eléctrico nacional, é ainda um segmento em crescimento. Hoje em dia coloca-se a questão: Como é que a micro-cogeração pode ser considerada uma opção viável de modo ir de encontro às necessidades no sector comercial e doméstico?

A resposta a esta questão pode ser encontrada analisando o “ciclo de vida” da energia. No método tradicional de produção e distribuição de energia existem deficiências associadas. Em primeiro lugar, a maior parte da energia contida no combustível é perdida nas grandes centrais eléctricas em forma de calor. Tradicionalmente as centrais eléctricas convertem apenas 30% da energia contida no combustível em energia eléctrica. Existem centrais com ciclo combinado que são mais eficientes, mas mesmo assim apenas convertem 50% da energia contida no combustível em electricidade. Além disso, estas centrais estão geralmente localizadas a uma longa distância das populações, tendo a energia eléctrica de ser transportada através de redes de transporte de alta tensão. Esta tensão tem de ser posteriormente reduzida, por vezes mais do que uma vez, até chegar ao consumidor final, o que leva a perdas na rede entre 5 a 10%. Tal significa que as grandes centrais têm que produzir entre 5 a 10% mais energia do que a necessária. Ineficiências e poluição são

problemas associados às convencionais centrais eléctricas, e que têm incentivado o desenvolvimento de produção descentralizada.

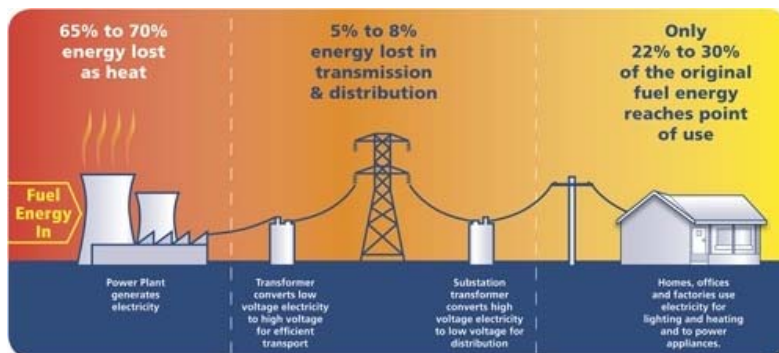


Figura 2.5.- Eficiência global de uma central eléctrica

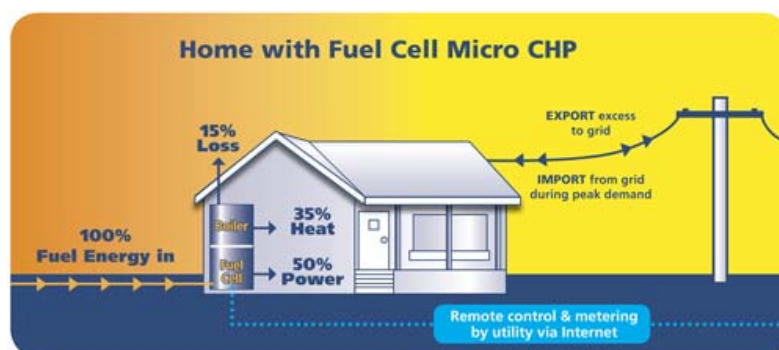


Figura 2.6.- Eficiência global de um sistema de micro-cogeração (ex:célula de combustível)

Depois da electricidade chegar ao consumidor, esta é usada em iluminação artificial, electrodomésticos, ar condicionado, aquecimento da água, e em alguns casos no aquecimento central. Com um sistema de micro-cogeração conseguem-se atingir estas mesmas aplicações finais com uma maior eficiência energética. As unidades de micro-cogeração produzem energia eléctrica e utilizam a energia térmica que se iria perder, de modo a aquecer o ambiente e/ou as água sanitárias, ou para refrigerar, caso um chiller de absorção esteja incorporado no sistema. Como o aquecimento e o arrefecimento são assim cumpridos sem dependência da electricidade, e devido à existência de produção de electricidade por parte do sistema de micro-cogeração, a quantidade de energia comprada à rede eléctrica vai ser menor.

Outra vantagem de um sistema de micro-cogeração é o facto de não existirem perdas associadas à distribuição e transmissão de energia eléctrica, ao contrário das tradicionais centrais eléctricas. Os sistemas de micro-cogeração podem converter cerca de 85% da energia contida no combustível em energia eléctrica e energia térmica.

A rentabilidade dos sistemas de cogeração tem, em geral, vindo a diminuir nos últimos anos, devido essencialmente a uma subida de preço dos combustíveis face ao preço da electricidade. A viabilidade económica dos projectos de cogeração depende fortemente da diferença entre o preço destas duas energias, da sua estabilidade e também do preço de aquisição porque ainda não existe uma produção em série destes produtos (ex: pilhas de combustível).

2.3. Produção descentralizada

Na literatura científica, ainda não existe um consenso quanto à definição do conceito de produção descentralizada. Muitos países definem-na com base no nível de tensão, outros partem do princípio que a produção descentralizada é aquela que está ligada directamente à rede que abastece os consumidores. Outros ainda definem-na como tendo algumas características básicas como por exemplo usar fontes renováveis, cogeração, não ser despacháveis, etc.. Ackerman [et al.] (2002) desenvolveram um trabalho onde analisaram as questões relevantes de forma a obterem uma definição mais precisa de “produção descentralizada”. Para isso avaliaram parâmetros tais como o objectivo deste tipo de produção energética, a sua localização, a taxa de produção descentralizada, as diferentes tecnologias, os impactes ambientais, o modo de operação, os responsáveis pelas instalações e a percentagem de injeção na rede.

No geral, Ackerman [et al.] (2002) definiram a produção descentralizada como “um meio de produção de electricidade que tanto pode estar directamente ligado ao sistema de rede de distribuição como através do consumidor”.

Para além do conceito de produção descentralizada, encontram-se vulgarmente na literatura científica outros conceitos semelhantes como geração distribuída ou produção distribuída. Estes dois conceitos são habitualmente usados como sinónimos da produção descentralizada, mas por vezes referem-se apenas às tecnologias de energia descentralizada que incluem a energia térmica e eléctrica (WADE, 2007).

Os conceitos de microgeração ou microprodução de energia referem-se às aplicações da produção descentralizada onde são utilizadas tecnologias com menores potências, habitualmente à escala de um produtor doméstico ligadas à rede pública de baixa tensão.

Em Portugal, de acordo com o decreto-lei 68/2002 de 25 de Março (adiante referido como DL 68/2002), o conceito de microgeração consiste na “produção de energia eléctrica em baixa tensão destinada predominantemente a consumo próprio, sem prejuízo de poder entregar a produção excedente a terceiros ou à rede pública”. No entanto, “a potência a entregar à rede pública (...) não poderá ser superior a 150 kW”.

Segundo o decreto-lei 363/2007, de 2 de Novembro (adiante referido como DL 363/2007), a nova legislação portuguesa referente à microprodução, “o produtor de pequena escala tem o direito de fornecer energia à rede desde que pertença às unidades de grupo I”, ou seja, desde que a sua instalação de produção de electricidade monofásica em baixa tensão tenha uma “potência de ligação até 5,75 kW”.

As tecnologias de microgeração, do ponto de vista global, reduzem os investimentos em redes de transporte e distribuição, e têm a mais-valia de se poderem implementar em curtos períodos de tempo, com riscos de investimento muitas vezes menores (ELLERN, et al., 2003).

Com uma perspectiva de crescimento anual das necessidades energéticas europeias de 1,4%, acompanhadas de um crescimento de emissões de CO₂ à taxa anual de 1% (DGFER, 2004), torna-se cada vez mais urgente investir na racionalização da energia, principalmente nos países com piores eficiências energéticas, como Portugal. Uma das estratégias para tornar Portugal um país energeticamente melhor passa pela integração de tecnologias mais eficientes no Sistema Eléctrico Nacional (SEN), como as unidades de produção descentralizada de elevada eficiência.

2.4. Gases de Efeito de Estufa (GEE)

De acordo com o Relatório de Estado do Ambiente de 2006 (REA, 2007), o sector de energia é dos que mais contribui para o efeito de alterações climáticas, sendo a produção e transformação de energia e os transportes os principais responsáveis pela emissão dos Gases de Efeito de Estufa (GEE).

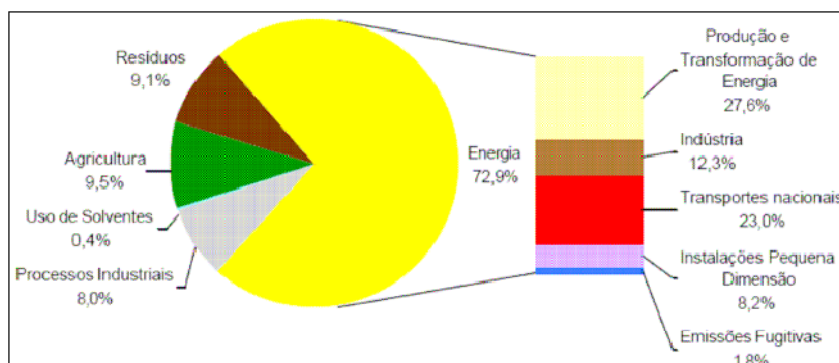


Figura 2.7 - Emissões sectoriais de GEE do sector energético português, 2005 (Fonte: REA, 2007)

Os GEE, que representam menos de 1% dos gases presentes na atmosfera (que é composta por aproximadamente 79% de azoto e 21% de oxigénio), controlam os fluxos de energia na atmosfera através da absorção da radiação infravermelha.

Os primeiros gases identificados como responsáveis pelo aumento do efeito de estufa, e que integram o Protocolo de Quioto, são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O). Mais recentemente foram considerados outros GEE (incluídos também no Protocolo de Quioto), os compostos halogenados (HFC ou hidrofluorcarbonos, PFC ou perfluorcarbonos e o SF₆ ou hexafluoreto de enxofre), que têm contribuído para o agravamento do problema do aquecimento global. Os HFC e os PFC foram introduzidos como produtos alternativos às substâncias responsáveis pela destruição da camada de ozono (CFC), enquanto que o SF₆, o gás com maior Potencial de Aquecimento Global (PAG) considerado no Protocolo de Quioto, é muito usado nos sistemas de transmissão e distribuição de electricidade.

O Protocolo de Quioto é um instrumento internacional para a mitigação das alterações climáticas e tem por objectivo a redução de pelo menos 5% das emissões de GEE em relação às do ano de 1990, nos países desenvolvidos, durante o período de 2008 a 2012. Neste instrumento foram definidos os tectos de emissões para os países que rectificaram o protocolo tendo os países da União Europeia visto uma redução de 8% nas suas emissões relativamente ao ano base de 1990. Portugal, no entanto, beneficiou de um aumento de 27%.

Esta meta já foi atingida e ultrapassada em 1999, data em que foram contabilizadas 38,6% das emissões acima das emissões de 1990. Em 2005 os GEE situaram-se cerca de 45% acima do valor de 1990 (REA, 2007).

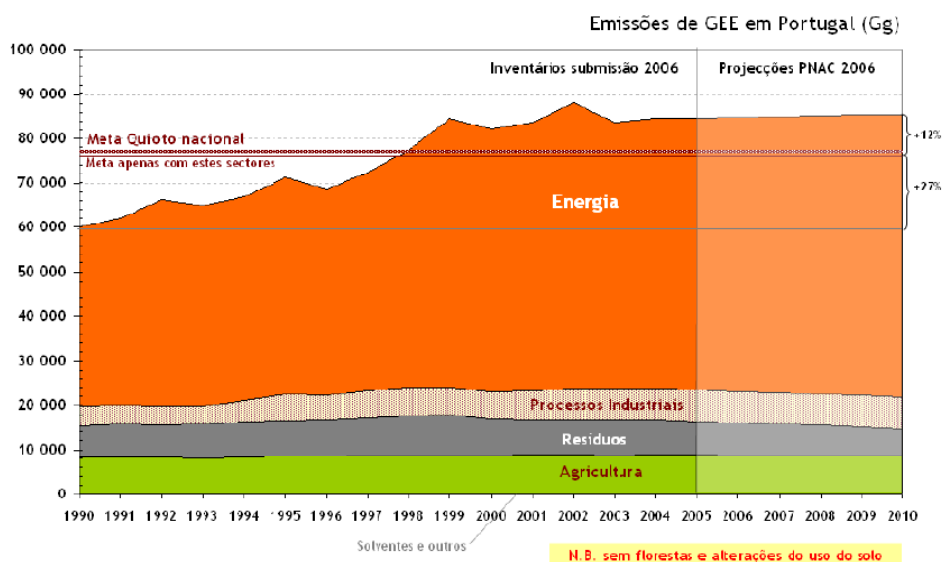


Figura 2.8 - Evolução das emissões de GEE em Portugal, e projecções do PNAC 2006 (Fonte: REA, 2007)

O cumprimento dos tectos de emissão acordados no Protocolo de Quioto levou a União Europeia a definir metas de forma a aumentar a utilização de electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis. Portugal foi um dos Estados-Membros mais ambiciosos, tendo acordado uma meta de 39% de produção eléctrica consumida a partir de fontes renováveis para o ano 2010. O Governo anunciou mais tarde uma produção de electricidade com base em energias renováveis de 45% do consumo em 2010, superando os 39% comprometidos com a União Europeia.

Analisando as energias primárias na produção da energia eléctrica em Portugal percebe-se a ainda grande utilização de carvão como uma das energias primárias, principalmente quando a energia proveniente das grandes centrais hidroeléctricas é mais baixa devido aos períodos de secas.

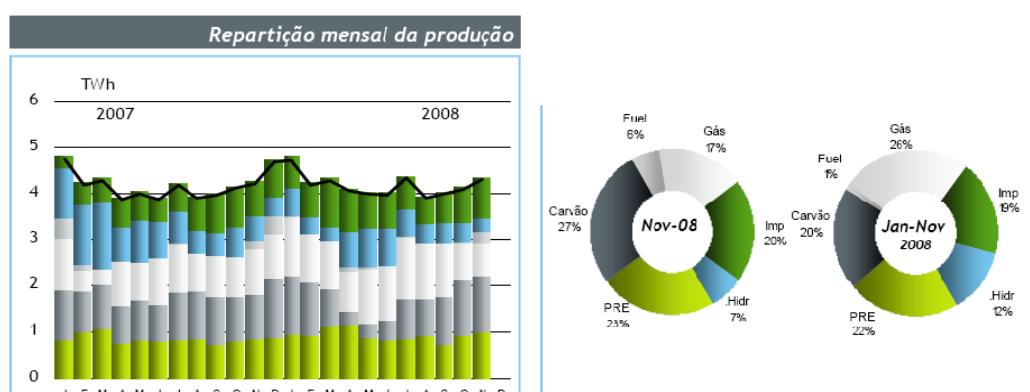


Figura 2.9 - Repartição mensal da produção de energias primárias (Fonte: REN)

Um outro método, para além do uso das energias renováveis, é por exemplo o aumento da utilização da cogeração e da micro-cogeração a gás natural. Por possuírem um maior rendimento global em relação às outras centrais na produção de energia, a quantidade de energia primária é menor, logo a quantidade de GEE emitidos será inferior. Outra vantagem

em relação às centrais termoeléctricas a carvão é a possibilidade de uso de uma energia primária menos poluidora, como por exemplo o gás natural.

2.5. Gás Natural em Portugal

Em sistemas de cogeração e micro-cogeração um dos combustíveis preferidos é o Gás Natural, devido à sua acessibilidade e ao seu preço, comparativamente ao hidrogénio ou ao diesel.

Em Portugal, dois dos maiores problemas para os potenciais clientes de micro-cogeração a gás são o elevado preço do Gás Natural comparativamente com o resto da Europa, e a falta de acesso ao Gás Natural por parte de alguns potenciais clientes.

Em Portugal a rede de gás natural ainda é recente e por isso ainda não está totalmente expandida. Verifica-se pela figura 2.10, que os consumidores do interior norte do país assim como os do sul são abastecidos por via de unidades autónomas de regaseificação de gás natural. Estas unidades consistem em grandes depósitos de gás natural liquefeito, alimentados com gás transportado em camiões cisterna, procedendo-se posteriormente à sua regaseificação e à injeção deste gás em redes locais de distribuição autónomas.

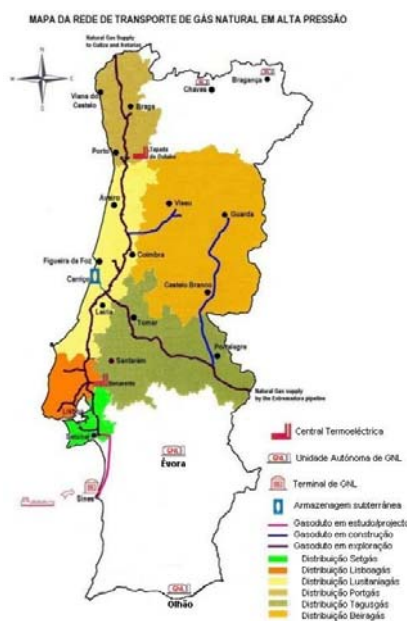


Figura 2.10 - Mapa da Rede de Transporte de Gás Natural em Alta Pressão

Um outro problema é que, ao contrário da electricidade, as variações das tarifas de gás natural são diferenciadas em função das regiões. Uma maior distância em relação ao terminal de abastecimento, ou ao gasoduto de transporte, acrescida à necessidade de existirem locais de armazenamento, são algumas das razões para as tarifas serem mais elevadas. Como o preço do gás aumenta em função da distância, e como a rentabilidade de um sistema de micro-cogeração a gás se calcula em função do preço do Gás Natural e da Electricidade, pode encontrar-se aqui um dos motivos pelo qual não existam mais potenciais clientes de sistemas de micro-cogeração em Portugal.

2.6. Cogeração e Micro-Cogeração em Portugal

Os sistemas de produção combinada de calor e de electricidade, a cogeração propriamente dita, baseados em caldeiras e máquinas de vapor, começaram a ser instalados em unidades industriais (açúcar, refinação de petróleo, papel, têxtil, etc.) a partir dos anos 30 do século passado. Em 1997, com a introdução do Gás Natural, um combustível fóssil ideal para a produção de energia por ser pouco poluente, a cogeração em Portugal começou a crescer. No final de 2005 a potência instalada, em cogeração, em Portugal foi cerca de 1.207 MW, com uma produção anual estimada de 13% do consumo total da energia eléctrica nacional.

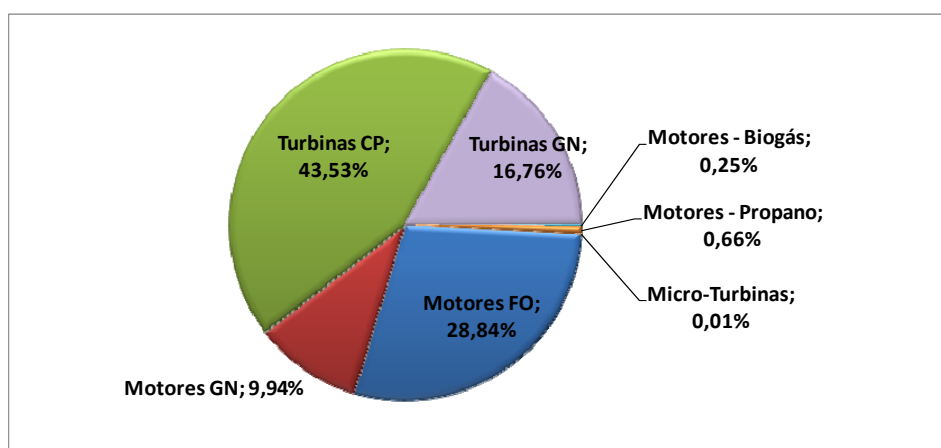


Figura 2.11 - Cogeração instalada em Portugal por tecnologia (Fonte: Cogen Portugal)

Por sua vez, a micro-cogeração em Portugal ainda está num estado embrionário. Os poucos exemplos de instalações de micro-cogeração existentes encontram-se principalmente no sector dos serviços.

A primeira instalação de micro-cogeração foi inaugurada a 15 de Dezembro de 2003, numa Estação de Redução de Pressão e Medida da Galp Transgás situada em Frielas. Nesta instalação, o equipamento de micro-cogeração escolhido foi um turbina a gás natural de 80 kW de potência eléctrica e o calor gerado era aproveitado com a função de repor a temperatura do gás natural, que sofria um forte arrefecimento devido à redução de pressão nesta estação.

Outro exemplo foi a instalação de micro-cogeração na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Vila Real, que começou a produzir energia eléctrica a partir do biogás, graças a uma parceria entre a empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro e a Tecaprod - Produtora de Energia. Neste projecto, apoiado pela Agência de Desenvolvimento, um dos principais objectivos era “permitir uma redução de 50% na factura da electricidade gasta pela própria ETAR”, conforme explicou o responsável pelo projecto, Nuno Afonso Moreira. A Tecaprod foi igualmente responsável pela primeira instalação de micro-cogeração a biogás ligada à rede pública em Portugal, nas piscinas municipais de Santa Marta de Penaguião e da instalação de micro-cogeração a gás natural no Ginásio Clube de Vila Real.

2.7. Potenciais utilizadores

A cogeração pode ser aplicada praticamente em qualquer edifício que necessite de mais do que um tipo de energia (electricidade, água quente, água fria, aquecimento do ambiente, vapor; quase todo o tipo de energias que necessitem de uma primária).

Sendo as duas energias geradas a energia eléctrica e a energia térmica, o principal potencial dos sistemas de micro-cogeração é a sua aplicação em edifícios equipados com sistemas de aquecimento central. Nestes casos, os sistemas convencionais de aquecimento são substituídos por sistemas de micro-cogeração. O calor produzido pelo sistema será usado para aquecimento do ar e da água, sendo também possível o arrefecimento destes através do uso de chillers de água. A electricidade produzida será para utilização própria ou eventual venda à rede.

O sector dos serviços é também um potencial utilizador deste tipo de tecnologia, podendo ser edifícios de hotelaria (restaurantes), edifícios hospitalares, piscinas, ginásios, edifícios de comércio (centros comerciais, hipermercados), edifícios públicos (sobretudo Bancos).

Até recentemente, a aplicação da micro-cogeração no sector doméstico era feita sobretudo em condomínios residenciais (com 75 a 100 apartamentos), devido às gamas de potências dos primeiros sistemas de micro-cogeração serem demasiado altas para serem usadas apenas numa habitação. Actualmente começa já a existir um conjunto variado de equipamentos de micro-cogeração de apenas alguns kW, e de dimensões cada vez mais reduzidas, permitindo alargar a sua utilização a uma única unidade residencial.

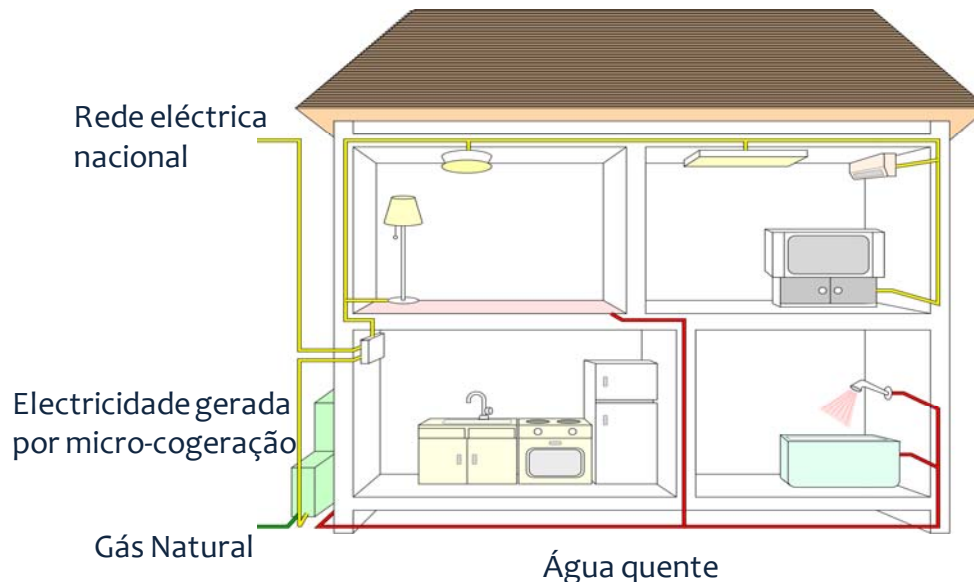


Figura 2.12 - Exemplo de aplicação de um sistema de micro-cogeração numa habitação

De acordo com as estimativas da COGEN Europe (2004), as unidades de micro-cogeração, com potências inferiores a 150 kW, apresentam um potencial técnico de mercado de cerca de 500 MW. Segundo a mesma fonte, este nível de potência instalada poderia representar uma redução de 287 kt de dióxido de carbono por ano em Portugal, o que representaria cerca de 5% das emissões nacionais deste poluente. Como foi referido atrás,

ainda não existe um consenso na definição de micro-cogeração, e neste caso as estimativas da COGEN Europe definiram micro-cogeração como sendo unidades com potências eléctricas inferiores a 150 kW_e, o que difere da definição da Directiva da União Europeia 2004/8/CE, onde se considera “micro-cogeração” quando a potência eléctrica é inferior a 50 kW_e. Actualmente não existe disponível desagregação de dados sobre a fracção deste potencial relativa ao mercado indicado para sistemas com potência eléctrica inferior a 50 kW_e, a verdadeira micro-cogeração, mas crê-se que o seu valor continue a ser significativo.

2.8. Legislação relevante para o sector da micro-cogeração:

- Decreto-Lei n.º 26852 de 30 de Julho de 1936 - Publica o Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas
- Decreto-Lei n.º 446/76 de 5 de Junho Introdz alterações ao Decreto-Lei n.º 26852 de 30 de Julho de 1936
- Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio, estabeleceu as regras aplicáveis à produção em regime especial.
- Decreto-Lei n.º 186/95, de 27 de Julho - conjunto de diplomas que deram um novo enquadramento jurídico ao Sistema Eléctrico Nacional passando a produção combinada de calor e electricidade a reger-se por regime autónomo.
- Decreto-Lei n.º 538/99, de 13 de Dezembro, fez a revisão do Decreto-Lei nº186/95 aplicável à produção de energia eléctrica a partir de instalações de cogeração.
- Directiva 90/377/CEE do Conselho, de 29 de Junho de 1990, que estabelece um processo comunitário que assegure a transparência dos preços no consumidor final industrial de gás e electricidade
- Guia Técnico das Instalações de Produção Independente de Energia Eléctrica, Direcção-Geral de Energia, Junho de 1994
- Directiva 96/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Dezembro de 1996, relativa às regras comuns para o mercado interno de electricidade
- Decreto-Lei n.º 68/2002. DR 71 SÉRIE I-A de 2002-03-25 Regula o exercício da actividade de produção de energia eléctrica em baixa tensão (BT), desde que a potência a entregar à rede pública não seja superior a 150 kW
- Portaria n.º 764/2002 de 1 de Julho Estabelece o tarifário aplicável às instalações de produção de energia eléctrica em baixa tensão, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março, bem como estabelece as disposições relativas ao período de vigência das modalidades do mesmo tarifário
- Despacho n.º 12827/2003 (2.ª série) Clarifica o cálculo de VRD(BTE)_m, parcela da renumeração mensal (VRD_m) definida na Portaria n.º 764/2002 de 1 de Julho

- Procedimento de Licenciamento de Instalações Eléctricas de Microprodução com Autoconsumo do Grupo II, aprovados por Despacho do Director-Geral de Energia, de 29 de Outubro de 2003
- Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro de 2001, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes renováveis de energia no mercado interno de electricidade
- Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, de 13 de Março de 2001, relativa à realização do mercado interno de energia
- Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Março de 2001, que altera as Directivas 96/92/CE e 98/30/CE relativas às regras comuns para os mercados internos de electricidade e do gás natural
- Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa à eficiência energética: rendimento energético dos edifícios
- Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à promoção da cogeração baseada na procura de calor útil no mercado interno de energia
- Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à eficiência energética e serviços de energia
- Decreto-Lei nº 78/2006 - desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).
- Decreto-lei 363/2007: Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de electricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de micro produção

Capítulo 3

Tecnologias disponíveis

3.1. Modos de operação para sistemas de micro-cogeração

Existem três modos de operação de um sistema de micro-cogeração, caracterizados segundo o critério em que se baseia o ajustamento, de acordo com as necessidades, da produção eléctrica e da produção térmica.

- Controlo-Calor (*Heat-match mode*)

Segundo este modo, o sistema de micro-cogeração de energia deve satisfazer as necessidades de calor (sem exceder a capacidade de cogeração do sistema). Caso seja necessário, deverá ser complementado por caldeiras adicionais de modo a cobrir as necessidades de calor. A energia eléctrica deverá ser consumida ou vendida à rede.

- Controlo-Eléctrico (*Electricity-match mode*)

Neste modo de funcionamento, a electricidade exigida é a variável controladora para a potência de saída do sistema de micro-cogeração. Se a energia eléctrica produzida não for suficiente para as necessidades existentes, estas serão cobertas pela rede eléctrica pública. A energia térmica deverá ser usada tão bem quanto possível, ou armazenada em caldeiras.

- Controlo combinado (*Mixed-match mode*)

É possível aplicar modos de funcionamento combinado (*controlo-calor com função controlo-eléctrico*), electricidade máxima e/ou exigência de calor, electricidade mínima e/ou exigência de calor), através de um sistema de gestão de energia que selecciona um modo de funcionamento óptimo, de tempo variável, conforme as necessidades específicas.

3.2. Parâmetros de caracterização de sistemas de cogeração

Os sistemas de cogeração caracterizam-se através das equações que a seguir se apresentam, onde E é a energia produzida, Q é o calor produzido, e C é o combustível utilizado.

Rendimento eléctrico:

$$\eta_E = \frac{E}{C}$$

Rendimento térmico:

$$\eta_C = \frac{Q}{C}$$

Rendimento global:

$$\eta_G = \frac{E + Q}{C}$$

Devem ser usados factores de conversão apropriados, de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 3.1 - Factores de conversão (Fonte: MONTEIRO, 2005/2006)

Electricidade	Fuel-óleo	Gás Natural
290×10^{-6} TEP/kWh	0,969 TEP/Ton	0,820 TEP/ 10^3 m ³

Factor da utilização de energia (FUE):

$$FUE_{PP} = \frac{P_E E + P_Q Q}{P_C C}$$

Onde P_E , P_Q e P_C são preços por unidade de energia.

O quadro seguinte apresenta um exemplo do custo do kWh_{CALOR}:

Tabela 3.2 - Exemplos de custo do kWh_{CALOR} (Fonte: MONTEIRO, 2005/2006)

Combustível	Custo (PTE/kWh)
Propano a granel (considerando consumo entre 5 e 100 ton/ano)	7,58 - 6,78
Fuel 3,5% S	2,60
Gás Natural (considerando valor mínimo acordado de 30 e 40 PTE/m ³)	2,78 - 3,70
Bomba de calor (considerando valor de 13 PTE/kWh e COP de 3,5)	3,71

3.3. Tipo de tecnologias de micro-cogeração

Existem várias tecnologias que foram ou que ainda estão a ser desenvolvidas para aplicação na micro-cogeração. Os diversos equipamentos podem ser separados em sistemas baseados em processos electroquímicos (por exemplo: as pilhas de combustível) ou baseados em combustão (por exemplo: motores de combustão interna, turbinas a gás, motores Stirling, etc).

3.3.1. Motor de combustão interna

Os motores de combustão interna podem ser definidos como máquinas que obtêm energia mecânica através da energia química contida no combustível. Quando usados em micro-cogeração, os motores de combustão interna são ligados a um gerador que transforma a energia mecânica resultante da combustão em energia eléctrica. O calor da exaustão dos gases e o do ciclo de arrefecimento do motor é aproveitado por permutadores de calor e ligado ao sistema de aquecimento.

Existem dois tipos de motores de combustão interna: motores de explosão ou de ignição por faísca que funcionam num ciclo Otto e utilizam gasolina ou combustíveis gasosos; e motores a Diesel que funcionam num ciclo Diesel e o combustível usado são o gasóleo ou um combustível mais pesado (menos refinado).

Os motores a Diesel usados na micro-cogeração de energia são normalmente motores a quatro tempos. Durante o primeiro tempo, o ar é injectado para o cilindro (câmara de combustão) através de uma válvula de admissão. Depois, durante o segundo tempo, uma pequena parte do ar é comprimido aumentando a sua temperatura até aos 440°C. No fim da fase de compressão, o combustível vaporizado é injectado para dentro do cilindro. As altas temperaturas provocam uma combustão espontânea da mistura combustível/ar. O último tempo consiste na exaustão dos gases de combustão. Este tipo de motor apresenta uma eficiência eléctrica superior em relação aos motores de explosão e opera numa gama alargada, que vai desde 5 kW até 10 MW. Nos motores a Diesel existe também a possibilidade de ser usado biodiesel como combustível, o que, devido à sua excelente biodegradabilidade, baixa toxicidade e alto rendimento, é uma boa escolha quando existe uma preocupação ambiental.

Nos motores de explosão o modo de funcionamento é muito similar ao dos motores a diesel, mas o sistema opera num ciclo Otto, e a ignição é provocada através de uma faísca eléctrica no momento exacto em que o pistão executa a primeira volta completa. Os motores de explosão operam numa gama entre 3kW até 6MW. Este tipo de motor apresenta uma

eficiência eléctrica inferior em relação aos motores a diesel, mas a sua eficiência global é superior.

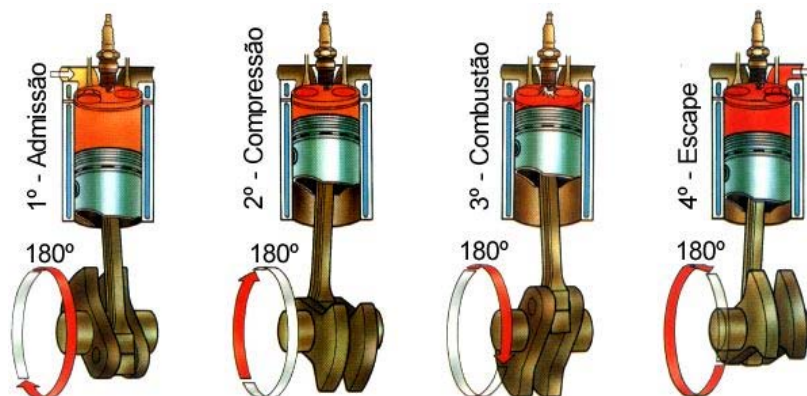


Figura 3.1 - Esquema de funcionamento de um motor de combustão interna a quatro tempos

3.3.1.1. Estado da tecnologia

Os motores de combustão interna têm sido usados há mais de um século. Esta tecnologia é utilizada nas mais variadas situações, como por exemplo nos transportes (terrestres, marítimos e aéreos), em pequenos electrodomésticos como motosserras, sendo uma óbvia escolha de motor num sistema de micro-cogeração. Ao longo dos anos foi possível ter motores pequenos, com pequena emissão de gases NO_x através do uso de catalisadores, e mesmo a diminuição do ruído para níveis aceitáveis para o uso interno de uma residência.

É recomendado uma manutenção contínua nos sistemas de micro-cogeração com motor de combustão interna, como a troca de óleo do motor, mudança dos filtros, velas, etc., em intervalos de 3,000h de funcionamento. Nos modelos mais recentes a manutenção apenas é necessária em intervalos de 6,000h e considerando que estes sistemas não estão a funcionar 24h por dia, aproximadamente as manutenções são feitas anualmente que é o mesmo das caldeiras.

Os motores a Diesel normalmente por terem uma razão de compressão logo possuem maior eficiência que os motores de explosão, mas são mais pesados e mais ruidosos.

3.3.1.2. Vantagens

Os motores de combustão possuem várias vantagens em sistemas de micro-cogeração. Em primeiro lugar, é uma tecnologia muito bem conhecida, pode trabalhar com uma variedade de tipos de combustível, como gasolina, gás natural, diesel, etc., os motores maiores tem um tempo de vida de perto dos 20 anos, podendo ser inferior nos motores mais pequenos, a eficiência eléctrica está entre os 25-45%, e um pequeno tempo de arranque é outra das vantagens.

As suas frequentes manutenções, o ruído e os gases emitidos são os problemas deste tipo de motor.

Tabela 3.3 - Especificações dos motores de combustão interna

	Thermo dynamical cycle	Fuel used	Efficiencies		Power size range
			total	electrical	
Diesel engine	Diesel cycle	Gas, biogas, ELFO*), LFO **), HFO****), rape oil, RME ****)	65 - 90	35 - 45	5 kW _{el} to 20 MW _{el}
Spark ignition engine	Otto cycle	Gas, biogas, naphtha	70 - 92	25 - 43	3 kW _{el} to > 6 MW _{el}
Average cost investment in €/kW _e (Fuel oil engine)			340 - 2000		
Average cost investment in €/kW _e (spark ignition gas engine)			450 - 2500		
Operation and maintenance costs in €/kWh _{el}			0,0075 - 0,015		

3.3.2. Micro-Turbinas

O termo “micro-turbina” refere-se em geral a um sistema de dimensões relativamente reduzidas composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador eléctrico, com uma potência total disponível não superior a 300 kW.

O funcionamento das micro-turbinas é similar ao das suas equivalentes maiores, mas a sua eficiência eléctrica é de apenas 15% (sem recuperador de calor). O ar é aspirado e forçado para o interior da turbina a alta velocidade e a alta pressão, o ar é misturado ao combustível e é queimado na câmara de combustão, os gases produzidos na combustão ao passar na turbina sofrem expansão, transmitindo energia mecânica ao veio, accionando o compressor e o gerador.

De modo a aumentar o rendimento da micro-turbina é usual a integração no sistema de um recuperador de calor (regenerador) que permite aproveitar parte do calor disponível nos gases de escape para pré aquecer o ar comprimido antes de este entrar na câmara de combustão, contribuindo, assim para o aumento da eficiência global, onde rendimento eléctrico atingido é da ordem dos 30%.

A maioria das micro-turbinas usadas para micro-cogeração existentes no mercado inclui no “kit” um recuperador de calor extra para aproveitamento da energia térmica contida nos gases de exaustão, ainda que também existam algumas unidades em que é necessária a aquisição separada. Em sistemas de cogeração para águas quentes o rendimento global pode atingir mais de 80%, enquanto que nas situações em que se pode utilizar directamente os gases de combustão aquele valor pode ultrapassar os 90% (mais adequado para processos de secagem ou pré-aquecimento com ar quente na indústria).

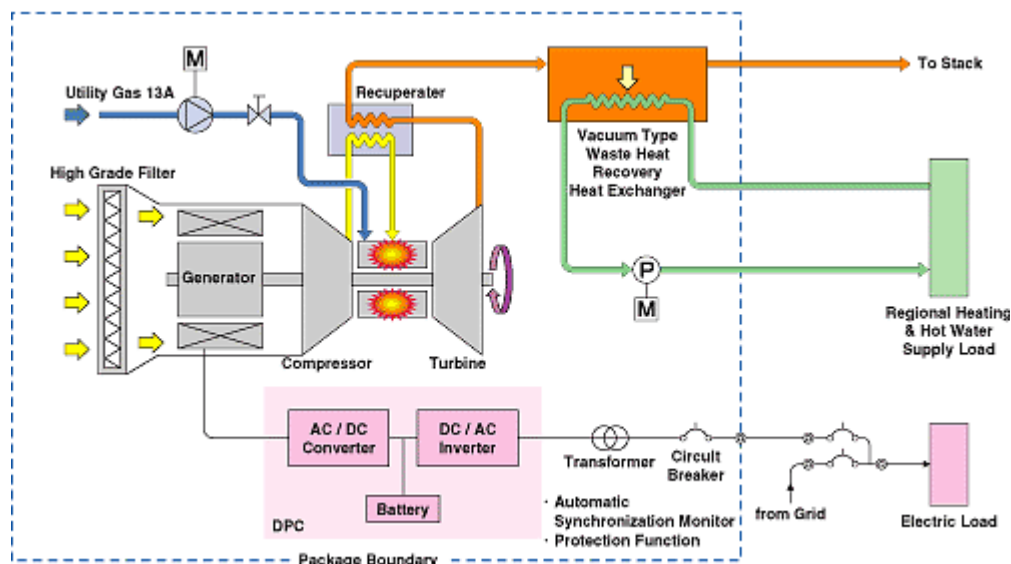


Figura 3.2 - Esquema de funcionamento de uma micro-turbina

De salientar ainda que vários tipos de combustível podem ser utilizados na maioria das micro-turbinas. Os mais comuns, além do gás natural, hidrogénio, o gasóleo, e o propano. Um compressor adicional poderá ser utilizado quando a pressão de alimentação do combustível gasoso não for suficiente. No entanto, o gás natural é, dos combustíveis indicados, aquele que menos emite poluentes gasosos, o que o torna particularmente adequado para instalações em consumidores localizados em centros urbanos, como é o caso de grande parte dos potenciais utilizadores da micro-cogeração.

3.3.2.1. Estado da tecnologia

As microturbinas estão disponíveis comercialmente e são produzidos em larga escala por vários fabricantes mundiais como a Turbec, Capstone Calnetix. Apesar de os fabricantes virem a desenvolver sistemas cada vez mais pequenos, o uso em sistemas de micro-cogeração para uso residencial ainda está por ser realizado; actualmente apenas existem microturbinas com potências superiores a 30kW.

De modo a possuírem rendimentos mais elevados estão a ser desenvolvidas microturbinas que utilização materiais cerâmicos nas lamina e no regenerador, assim como um modelo de microturbina de três fases, (Wilson TurboPower).

3.3.2.2. Vantagens

Comparativamente com os motores de combustão interna as microturbinas são menos poluentes, devido à baixa temperatura de combustão existe uma baixa emissão de NOx, as microturbinas são mais leves do que motores de combustão interna da mesma potência, e os intervalos entre manutenções tipicamente são mais altos a cada 5,000-8,000 horas, praticamente o dobro dos motores de combustão interna.

Podem ser usados com diferentes combustíveis, são compactas e tem um tempo de resposta alto, tornando-as ideais para sistemas de reserva.

A maior desvantagem é o seu custo inicial elevado para um tempo de vida relativamente baixo (cerca de 10 anos), as manutenções também são caras, e o rendimento eléctrico não é muito alto, mas o suficiente quando usado em sistemas de micro-cogeração devido ao seu alto rendimento total.

Tabela 3.4 - Especificações de uma micro-turbina

	Power to heat ratio	Fuel used	Efficiencies		Power size range
			Total	electrical	
Micro turbine	0,2 – 0,8	Natural gas, gas oil, diesel, propane, Kerosene, biogas, flare gas, etc.	65 – 90	15 - 30	15 kW _{el} to 300 kW _{el}
Average cost investment in €/kW _{el} (Diesel engine)			900 – 2.500		
Operation and maintenance costs in €/kWh _{el}			0,006 – 0,21		

3.3.3. Sistemas de micro-cogeração com Ciclo/Motor Stirling

Este tipo de motor é um motor de combustão externa, pelo que difere substancialmente de uma instalação de combustão convencional em que o combustível é queimado no interior da máquina. O calor é fornecido ao motor Stirling por uma fonte externa, tal como um gás combustível, e isso faz com que um fluido de trabalho, por exemplo hélio, se expanda e provoque o movimento de um de dois pistões (ou êmbolos) no interior de um cilindro. O referido pistão é designado de “pistão de trabalho”. Um segundo pistão, denominado de “pistão de deslocamento”, transfere então o gás para uma zona arrefecida onde é recomprimido pelo pistão de trabalho. O pistão de deslocamento transfere o gás comprimido ou ar para uma secção quente da máquina e o ciclo continua.

De um modo geral, este tipo de motor funciona com um ciclo termodinâmico composto por 4 fases e executado em 2 tempos de pistão: compressão isotérmica (= temperatura constante), aquecimento isométrico (= volume constante), expansão isotérmica e arrefecimento isométrico. Este é o ciclo ideal (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. Ou seja, o motor Stirling surpreende pela sua simplicidade, já que é composto de duas câmaras a diferentes temperaturas que aquecem e arrefecem 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, enquanto que nas versões de potência e rendimento mais elevados se recorre normalmente ao hélio ou ao hidrogénio pressurizado que, por serem gases de maior condutividade térmica e menor viscosidade, transportam energia térmica (calor) mais rapidamente e têm menor resistência ao escoamento, implicando menos perdas por atrito. Ao contrário dos motores de combustão interna, o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor, tratando-se portanto de uma máquina de ciclo fechado.

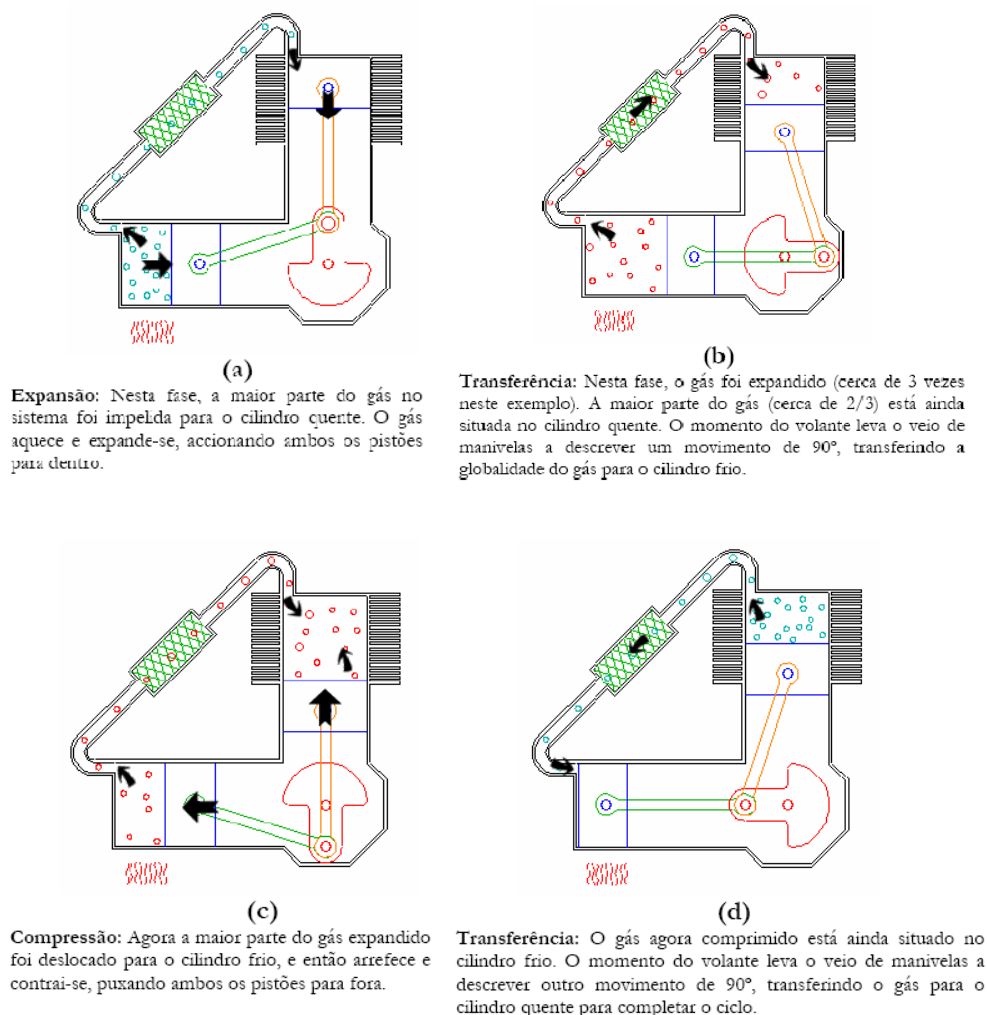


Figura 3.3- Esquema de funcionamento de um motor Stirling

Teoricamente, o motor Stirling é a máquina térmica mais eficiente possível. Alguns protótipos construídos pela empresa holandesa Phillips nos anos 50 e 60 chegaram a índices de 45%, superando facilmente os motores a gasolina, diesel e as máquinas a vapor (eficiência entre 20% e 30%). A fim de diminuir as perdas térmicas, é normalmente instalado um “regenerador” entre as câmaras quente e fria, onde o calor (que seria rejeitado na câmara fria) fica armazenado para a fase seguinte de aquecimento, aumentando largamente a eficiência termodinâmica. Pode dizer-se que estamos perante uma tecnologia com várias décadas de experiência (conhecida desde inícios do século XIX como alternativa aos motores a vapor, mas que depois caiu em desuso devido ao aparecimento dos motores eléctricos, menos dispendiosos), constituindo novidade apenas a sua utilização para caldeiras de micro-geração. Para este tipo de geradores de calor, existe a necessidade de se terem pequenos motores com uma capacidade entre 0,2 e 4 kWe. Turbinas a gás e até mesmo motores a gás não são adequados para este tipo de dimensão (apesar de o actual motor de ignição por faísca mais pequeno ser de 3 kWe), pelo que o motor Stirling constitui uma boa alternativa.

3.3.3.1. Estado da tecnologia

Actualmente esta tecnologia encontra-se em desenvolvimento em várias partes do mundo, como a Dinamarca, a Holanda e o continente Australiano, sobretudo ao nível de motores de baixas potências, enquadráveis na verdadeira definição de micro-cogeração. O rendimento eléctrico para esses motores ainda não é muito elevado, situando-se tipicamente na gama dos 10% (motor de 350 We), ou entre 12,5% (motor de 800 We) e 25% (motor de 3 kWe), mas acredita-se que possa ser possível obter soluções com pelo menos 25% de rendimento eléctrico e um rendimento global de 90%.

3.3.3.2. Vantagens

As vantagens do motor Stirling são várias: apresenta menos partes móveis e com menor atrito; não necessita de uma caldeira complementar; não dispõe de câmara de combustão interna; tem um elevado rendimento teórico; não possui injectores de combustível e é adequado para a produção maciça. O queimador externo permite uma exaustão bastante limpa, e portanto apresenta reduzidas emissões de partículas e hidrocarbonetos inqueimados. É verdadeiramente multi-combustível, pois pode utilizar praticamente qualquer fonte energética: gasolina, etanol, metanol, gás natural, diesel, biogás, GPL, energia solar, calor geotérmico e outros. Basta gerar uma diferença de temperatura significativa entre a câmara quente e a câmara fria para produzir trabalho (quanto maior a diferença de temperatura, maior é a eficiência do processo e mais compacto o motor). A manutenção deste tipo de motor é baixa e tem um tempo de vida elevado, é muito silencioso e apresenta baixa vibração.

Uma grande vantagem dos motores Stirling num sistema de micro-cogeração, é o aproveitamento imediato do calor libertado pelo queimador que não é aproveitado pelo motor Stirling que pode ser usado para aquecimento de água e do ar.

Além de tudo isto, possui ainda a possibilidade de controlo da produção de energia eléctrica do motor através da redução da temperatura do lado quente, o que permite a produção de electricidade independentemente das necessidades de energia térmica.

As desvantagens são o seu custo elevado, o motor necessita de uns minutos de aquecimento antes de começar a produzir energia, e não se pode mudar rapidamente a sua potência.

De entre outros problemas técnicos ainda por resolver e que normalmente se associam a esta tecnologia, pode mencionar-se o seu sistema de vedação, que impede o vazamento do fluido de trabalho, particularmente quando se empregam gases inertes e leves (hélio, hidrogénio), difíceis de serem confinados sob alta pressão sem escaparem para o exterior.

3.3.4. Sistemas de micro-cogeração com Célula de Combustível

Uma célula de combustível é constituída por dois eléctrodos e entre os dois um electrólito. A função do electrólito é de actuar como um meio que permite aos iões (H^+ , OH^- , O_2^- , CO_2 , ...) passarem, no sentido de um eléctrodo para o outro eléctrodo ao atravessarem o electrólito. Exteriormente existe uma ligação eléctrica entre os dois eléctrodos (ânodo e cátodo) onde é ligado o receptor (a carga).

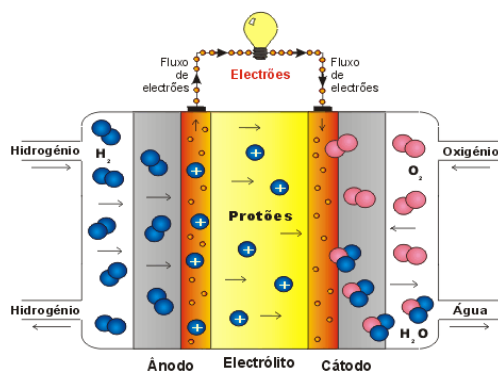


Figura 3.4 - Esquema de uma célula de combustível

Uma pilha de combustível é constituída por uma associação em série de células de combustível, uma vez que cada célula individual produz apenas uma tensão aproximada de 0,8 V.

As pilhas de combustível representam um conceito de produção de electricidade completamente diferente dos referidos atrás, na medida em que neste caso não existe combustão. Este tipo de equipamento converte directamente a energia química contida na fonte de energia (normalmente hidrogénio ou gás natural) em electricidade, através de um processo electroquímico (reações de oxidação-redução). No caso dos sistemas baseados em combustão, a energia química contida no combustível sofre uma série de conversões até atingir a forma final de energia eléctrica (química \square térmica \square mecânica \square eléctrica), resultando em sucessivas perdas de energia. Por esta razão, o rendimento eléctrico das pilhas de combustível é significativamente superior ao dos motores de combustão interna e das micro-turbinas a gás, podendo situar-se na gama dos 35-45% (sendo o rendimento térmico da ordem de 20-50%).

3.3.4.1. Estado da tecnologia

Actualmente existem cinco tipos de células de combustível:

- Célula de combustível de ácido fosfórico - (PAFC)
- Célula de combustível alcalinas - (AFC)
- Célula de combustível de carbonatos fundidos - (MCFC)
- Célula de combustível de óxidos sólidos - (SOFC)
- Célula de combustível com membrana de permuta protónica (PEMFC)

Tabela 3.5 - Especificações das diferentes células de combustível

Fuel Cell Type	Electrolyte	Charge Carrier	Operating Temperature	Fuel	Electric Efficiency (System)	Power Range/ Application
Alkaline FC (AFC)	KOH	OH ⁻	60–120°C	Pure H ₂	35–55%	<5 kW, niche markets (military, space)
Proton exchange membrane FC (PEMFC)*	Solid polymer (such as Nafion)	H ⁺	50–100°C	Pure H ₂ (tolerates CO ₂)	35–45%	Automotive, CHP (5–250 kW), portable
Phosphoric acid FC (PAFC)	Phosphoric acid	H ⁺	~220°C	Pure H ₂ (tolerates CO ₂ , approx. 1% CO)	40%	CHP (200 kW)
Molten carbonate FC (MCFC)	Lithium and potassium carbonate	CO ₃ ²⁻	~650°C	H ₂ , CO, CH ₄ , other hydrocarbons (tolerates CO ₂)	>50%	200 kW–MW range, CHP and stand-alone
Solid oxide FC (SOFC)	Solid oxide electrolyte (yttria, zirconia)	O ²⁻	~1000°C	H ₂ , CO, CH ₄ , other hydrocarbons (tolerates CO ₂)	>50%	2 kW–MW range, CHP and stand-alone

Os dois principais tipos de células de combustíveis desenvolvidos para micro-cogeração são as PEMFC e as SOFC.

Nas PEMFC a membrana de permuta de protões é uma folha plástica fina que permite aos iões H⁺ passarem através dela; é revestida nos dois lados por partículas de um metal altamente dispersivo (predominantemente platina) que se tornam catalisadores activos.

O hidrogénio é fornecido ao ânodo onde o catalisador encoraja os átomos de hidrogénio a libertarem os seus electrões tornando-se iões H⁺ ou seja protões. Os electrões libertados seguem para o cátodo, mas são aproveitados antes de lá chegarem como corrente eléctrica. O cátodo por seu lado é alimentado com oxigénio e os protões ao serem difundidos através da membrana (electrólito) para o cátodo, combinam-se originando H₂O, completando o processo. Este tipo de pilhas é sensível as impurezas do combustível.

Nas SOFC O transportador da carga nestas células de combustível é o ião oxigénio. No cátodo, as moléculas de oxigénio provenientes do ar são divididas em iões oxigénio com a adição de quatro electrões. Esses iões são conduzidos através do electrólito e combinam-se com o hidrogénio no ânodo libertando aí quatro electrões. Os electrões atravessam um circuito externo fornecendo assim potência eléctrica.

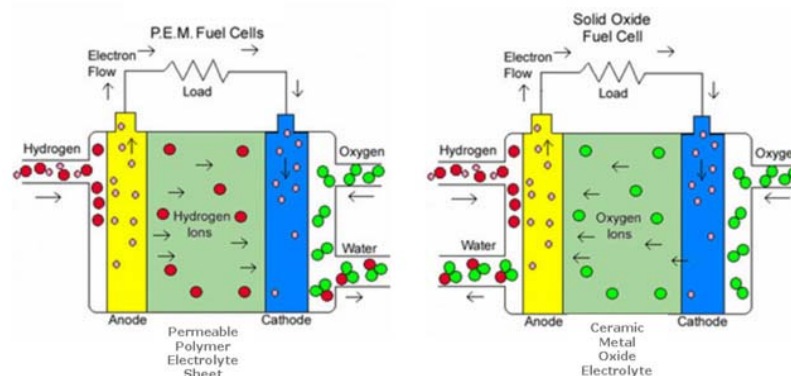


Figura 3.5 - Esquemas das células PEMFC e SOFC

Algumas companhias já desenvolveram sistemas de micro-cogeração com células de combustíveis, mas quase todas ainda estão em fases de testes. A sistemas com SOFC com 1kWe produzido pela Sulzer Hexis com rendimentos eléctricos de 30% já se encontra em fases de testes. Sistemas de micro-cogeração com PEMFC foram apresentados pela Vaillant e podem gerar 5kWe.

Ainda que todas as pilhas de combustível se baseiem na oxidação do hidrogénio, existem vários tipos de “fuel cells” e em diferentes estados de desenvolvimento (muitos deles ainda em fase laboratorial, outros próximos já de uma fase de pré-comercialização). Antevê-se o sector dos transportes como o grande mercado inicial para as pilhas de combustível, o que deverá permitir uma redução considerável do seu custo de fabrico, conseqüente da sua produção em massa.

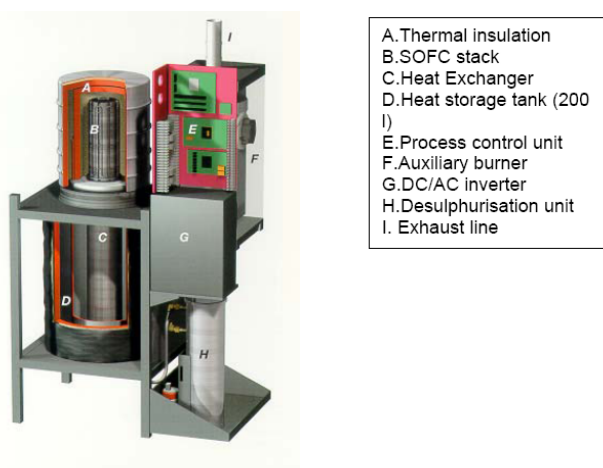


Figura 3.6 - Esquema de montagem de uma célula SOFC

3.3.4.2. Vantagens

As células de combustível SOFC têm a vantagem de converter gás natural em hidrogénio pois não requerem reformador (componente que tem como função converter os hidrocarbonetos em misturas de hidrogénio e dióxido de carbono), reduzindo assim o custo e a complexidade da unidade e aumentando a eficiência de conversão. Em contrapartida, este tipo de célula possui uma temperatura de funcionamento bastante alta, e necessita de uma contínua saída de calor, mesmo quando não existe um requisito térmico. Por sua vez, as células de combustível PEMFC, são células de baixa temperatura até 210°C e poderão colocar limitações em sistemas domésticos de cogeração no que diz respeito ao fornecimento de água quente. Outro problema é o curto tempo de vida da membrana.

As emissões resultantes do funcionamento das pilhas de combustível são praticamente nulas e as necessidades de manutenção são reduzidas, ao nível do reformador, bombas e ventilador.

A principal desvantagem desta tecnologia reside no seu ainda elevado custo inicial, justificado não só pela inexistência de produção em grande escala destes equipamentos, mas também pela necessidade de utilização de materiais especiais no seu fabrico (como por exemplo metais preciosos).

3.3.5. Sistemas de micro-cogeração com o ciclo Rankine orgânico

O princípio da geração de electricidade usando o processo do ciclo Rankine orgânico (ORC) corresponde sensivelmente ao convencional ciclo Rankine. A diferença é que em vez de ser usada água, utiliza um fluido orgânico com um baixo ponto de ebulição. Numa primeira fase esse fluido é bombeado, idealmente numa forma isentrópica, de uma pressão baixa para uma pressão alta. Em seguida o fluido pressurizado entra numa caldeira onde é aquecido a pressão constante até se tornar num vapor superaquecido.

Em sistemas de micro-cogeração, é comum usar-se o gás natural para fonte de calor. De seguida, o vapor superaquecido expande-se através de uma turbina para gerar trabalho. Idealmente, esta expansão é isentrópica. Com esta expansão, tanto a pressão quanto a temperatura se reduzem. Por fim, o vapor entra então num condensador, onde é arrefecido até à condição de líquido saturado. Este líquido retorna então à bomba e o ciclo volta a repetir-se.

Os sistemas com o ciclo Rankine de água/vapor, são usados em grande escala entre 1MW até algumas centenas de MW. Como a eficiência do ciclo Rankine é proporcional à pressão do fluido interno, para atingir essas pressões é necessário altas temperaturas. Se o sistema apenas consegue atingir temperaturas relativamente baixa (400°C) o vapor não consegue ter pressão suficiente, nestes casos usa-se um fluido orgânico.

A gama de potências eléctricas deste tipo de equipamento pode ir desde os poucos kW até aos 3 MW por unidade.

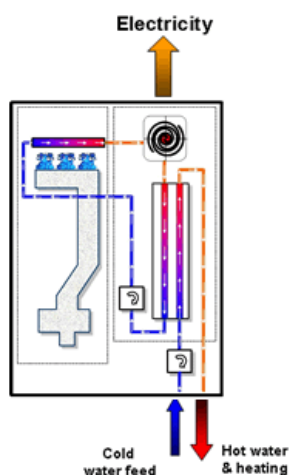


Figura 3.7 - Esquema de funcionamento de um ciclo Rankine

3.3.5.1. Estado da tecnologia

Tipicamente os sistemas com ciclo Rankine são usados em sistemas na escala do MW, mas nos últimos anos já existe sistemas com ciclo Rankine com potências inferiores a 5kWe. Empresas como a Enginion na Alemanha, e a Cogen Micro na Austrália já desenvolveram sistemas com ciclo Rankine usando um motor de pistões e água como fluido interno.

O ciclo Rankine para micro-cogeração é uma tecnologia menos dispendiosa do que a maior parte das outras tecnologias, tornando-o uma tecnologia competitiva. O problema é que muitas destas unidades ainda estão em fase de testes.

3.3.5.2. Vantagens

O sistemas com ciclo Rankine usados em sistemas em grande escala possuem uma durabilidade de 30 anos, logo como os sistemas com escala mais pequenos apesar de ainda não existir dados reais, espera-se que estes tenham tempo de vida similar, devido a estes terem temperaturas e pressões mais baixas dos que os grandes equipamentos.

Os motores com ciclo Rankine também são de combustão externa, podendo ser usados como um esquentador convencional. Muitas das peças usadas na construção destes sistemas de micro-cogeração com ciclo Rankine são peças já existentes no mercado, (ex: peças de ar condicionado) (Energetix), tornando este equipamento mais barato.

Apesar do alto rendimento total, na ordem dos 90%, a grande desvantagem dos pequenos motores de ciclo Rankine é o seu menor rendimento eléctrico, na ordem dos 17% (Cogen Micro), comparativamente com outras tecnologias de micro-cogeração.



Figura 3.8 - Exemplos de motores de ciclo Rankine

3.4. Comparação das tecnologias de micro-cogeração

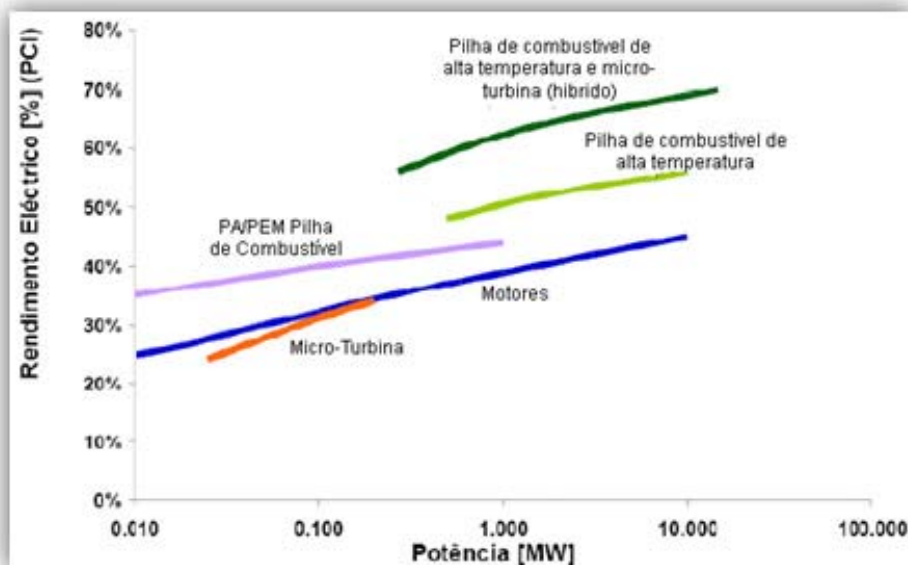


Figura 3.9 - Comparação do rendimento eléctrico entre as principais tecnologias de micro-cogeração

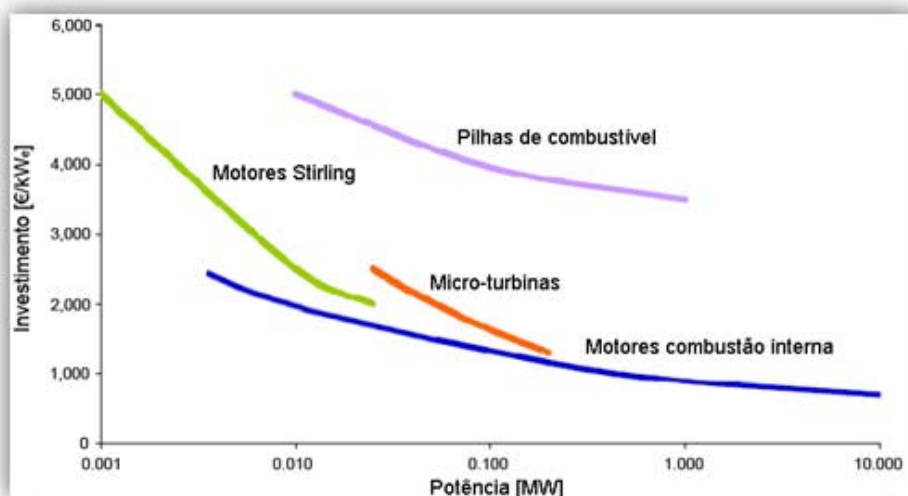


Figura 3.10 - Comparação do investimento entre as principais tecnologias de micro-cogeração

A implantação da maior parte das tecnologias referidas atrás, em sistemas de micro-cogeração encontra-se ainda em fase de desenvolvimento. Apesar de, no geral, todas elas parecerem conduzir a evidentes e atractivas vantagens ao nível ambiental, energético e económico, a sua penetração no mercado não tem sido feita de modo igual para todas.

Actualmente, o mercado mundial de micro-cogeração é dominado sobretudo pelo uso de motores de combustão interna, por se tratar de uma tecnologia já bastante conhecida, apesar de começaram a aparecer alguns protótipos alternativos. Apesar do baixo custo de compra inicial dos motores de combustão interna, as suas potências são mais elevadas quando

comparados com outras tecnologias, como os motores Stirling, por exemplo (como se pode ver na figura 3.10). No entanto, as tecnologias como pilhas de combustível e motores Stirling têm tardado a impor-se como alternativas competitivas. Encontram-se ainda em fase de desenvolvimento e estágio pré-comercial, apesar de nelas se centrarem as maiores expectativas quanto ao seu potencial para sistemas de micro-cogeração, por terem potências mais baixas (como se pode ver na figura 3.9), para além de outras vantagens referidas atrás.

Alguns fabricantes mundiais têm produzido protótipos de motores Stirling, que têm tentado introduzir no mercado principalmente nos últimos 4-5 anos. Entre os vários modelos surgidos e direccionados sobretudo para o uso em sistemas de micro-cogeração ao nível doméstico (em que potências de 1-1,2 kWe são normalmente suficientes), podem referir-se os seguintes: DISENCO (SIGMA), (3 kWe / 9 kWt); Whisper Tech Mk.4- (0,85-1,2 kWe / 6-8 kWt); BG Microgen (1 kWe / 5-36 kWt); ENATEC (1 kWe / 6-24+ kWt). No entanto, apesar de apresentarem bastantes vantagens para micro-cogeração, os motores Stirling, por diversas razões, entre as quais as dificuldades de produção e os custos elevados ainda associados a esta tecnologia, têm demorado a impor-se comercialmente como uma alternativa rentável aos motores de combustão interna.

Entre as tecnologias emergentes, e já em fase de comercialização, as micro-turbinas têm tido um sucesso considerável, com muitos modelos surgidos de desenvolvimentos resultantes da indústria aeronáutica. No entanto, como se viu, a sua utilização em sistemas de micro-cogeração para uso residencial não está ainda implantada, e em comparação aos motores Stirling apresentam potências mais elevadas, como mostra a figura 3.10.

No quadro seguinte podem comparar-se, em resumo, as principais vantagens e desvantagens dos três sistemas de micro-cogeração emergentes, que se acredita virem a constituir uma alternativa mais rentável em relação aos motores de combustão interna:

Tabela 3.6 - Tabela comparativa entre os três sistemas de micro-cogeração emergentes (fonte: ADENE)

	VANTAGENS	DESvantagens
Micro-turbinas	Fiabilidade elevada devido a poucas partes móveis; Instalação simples; Manutenção reduzida; Dimensão compacta e peso reduzido; Níveis de ruído aceitáveis; Possibilidade de uso de gás natural como combustível e flexibilidade na utilização de outros combustíveis; Custos competitivos quando construídas em quantidade; Emissões reduzidas; Gases de exaustão a temperatura elevada para recuperação de calor;	Custos.

	Qualidade de alimentação aceitável.	
Pilhas de combustível	<p>Emissões reduzidas e baixo ruído.</p> <p>Rendimento elevado a várias cargas;</p> <p>Concepção modular, flexibilidade de instalação, tempo de fabrico curto;</p> <p>Operação automatizada, variações de carga rápidas, baixa manutenção;</p> <p>Muitos combustíveis, ainda que requerendo processamento à excepção do hidrogénio puro;</p> <p>Flexibilidade na razão calor/electricidade;</p> <p>Calor de baixo ou alto nível (temp.), dependendo da concepção e do tipo de pilha de combustível.</p>	<p>Custos, duração, densidade de corrente eléctrica, tempo de arranque, degradação;</p> <p>Corrosão com electrólitos líquidos, Enxofre.</p>
Motores Stirling	<p>Vantagens técnicas:</p> <p>Muita experiência na gama de potências elevadas;</p> <p>Menos partes móveis com baixo atrito;</p> <p>Sem câmara de combustão interna;</p> <p>Rendimento teórico elevado;</p> <p>Adequado para produção em massa.</p> <p>Vantagens para micro-cogeração:</p> <p>Sem necessidade de gerador de calor complementar;</p> <p>Produção de electricidade independente da produção de calor;</p> <p>Emissões muito reduzidas;</p> <p>Fácil de controlar;</p> <p>Pode ser construído como uma unidade substituível.</p>	<p>Pouca experiência na gama das baixas potências;</p> <p>Baixo rendimento mecânico nas máquinas existentes (350-800W de potência ao veio);</p> <p>Melhor rendimento para potências superiores (até 3 kW);</p> <p>Primeiras máquinas eram/são muito caras.</p>

3.5. Componentes auxiliares

3.5.1. Baterias

Se o sistema de micro cogeração é usado num sistema isolado ou de modo a aumentar a segurança no abastecimento eléctrico, o consumidor tem a hipótese de adicionar à sua fonte de produção eléctrica sistemas de armazenamento de energia tais como baterias.

As baterias são sistemas de armazenamento de energia que permitem que esta seja acumulada, conservada e restituída mais tarde. São classificadas em baterias primárias e secundárias. As primeiras produzem electricidade a partir de uma reacção electroquímica, geralmente irreversível, o que as inutiliza, sendo as combinações mais usadas as baterias alcalina, carbono-zinco ou clorozinco, lítio, óxido de prata, zinco-ar ou mercúrio. As baterias secundárias necessitam de ser carregadas por uma fonte de alimentação externa antes de produzirem electricidade. Estas baterias conseguem armazenar mais energia do que as primárias, sendo as mais conhecidas as “chumbo-ácido” que têm a vantagem de ser facilmente recicladas (CEEETA, 2001b).

O funcionamento de uma bateria é idêntico ao das células de combustível, mas enquanto as células de combustível, não necessitam ser recarregadas, uma vez que os reagentes são fornecidos continuamente, as baterias (secundárias) quando descarregadas têm de ser carregadas.

3.5.2. Chillers

Por vezes num sistema de micro-cogeração além do calor pretende-se frio, para isto usa-se um *chiller*. Um *chiller* de água é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. A produção combinada de electricidade, calor e frio, é também denominada por trieração.

Os principais *chillers* usados em sistemas de micro-cogeração são os *chillers* de absorção de queima indirecta e os *chillers* de adsorção.

Os *chillers* de absorção de queima indirecta são considerados os ideais para sistemas de micro-cogeração, onde utiliza a água quente, ou vapor de baixa pressão como fonte de calor, tendo estas, uma temperatura adequada para este tipo de *chiller*. Na integração de um *chiller* de absorção num sistema de micro-cogeração o brometo de lítio é usado como absorvente devido a uma relação custo eficiência.

Além de bombas hidráulicas, mais nenhum componente móvel é necessário num *chiller* de absorção devido a terem como princípio de base um sistema termoquímico. Como consequência, este tipo de *chillers* apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exigindo muito pouca manutenção. Quando existe a utilização de água como fluido refrigerante, não o torna nocivo para o ambiente. Os *chillers* de absorção apresentam um coeficiente de performance (COPs) de 1,1.

A sua grande desvantagem é o seu investimento inicial muito elevado.

Os *chillers* de adsorção são uma instalação térmica que converte calor em frio por um processo exotérmico. Enquanto que o fluido no *chiller* de absorção se mistura com o

adsorvente para formar a solução, o *chiller* de adsorção utiliza apenas água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente.

Os *chillers* de adsorção com gel de sílica podem funcionar com temperaturas inferiores a 80 °C, o que os torna mais interessante que os *chillers* de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura.

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 (CEEETA, 2001b). Neste tipo de tecnologia, o consumo de electricidade é cerca de 6% da capacidade do *chiller*.

Os *chillers* de adsorção que usam gel de sílica não apresentam riscos para o ambiente, pois este gel é quimicamente neutro.

A grande desvantagem é o seu elevado investimento inicial.

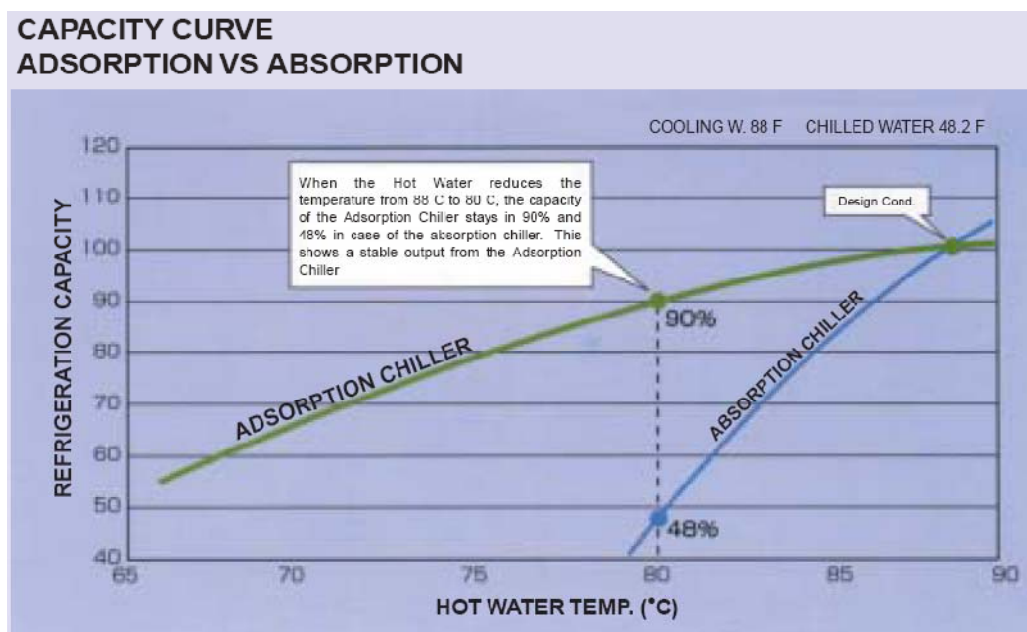


Figura 3.11 - Curva comparativa entre os *chillers* de adsorção e absorção (Fonte: KRUM International)

Capítulo 4

Caso de Estudo

Uma das fases no planeamento de um sistema de micro-cogeração é a determinação da necessidade de energia térmica. No mercado existem vários programas de análise energética de uma habitação, e nesta dissertação o software escolhido foi o TRNSYS.

O software TRNSYS é um programa de simulação detalhada utilizado em processos térmicos, e foi originalmente desenvolvido para aplicações de energia solar. Possui subrotinas disponíveis que representam componentes tipicamente usados em sistema térmicos, sendo que o utilizador/programador deve fornecer os parâmetros que descrevem os componentes (Types) a ser usados. No software TRNSYS existem três algoritmos de integração numérica possíveis (Euler, Heun e Adams), sendo o mais utilizado, o método de Euler modificado.

Apesar das inúmeras potencialidades do software TRNSYS, este ainda é limitado quando se trata de simular um sistema de micro-cogeração, pois não existe nenhum componente que simule o comportamento dos motores stirling, motores de combustão interna ou mesmo micro-turbinas. Este problema não é apenas do software TRNSYS, pois no mercado ainda não existe nenhum software que simule tais motores. A grande vantagem do software TRNSYS em comparação a muitos dos outros softwares testados, é a possibilidade da análise energética horária de uma habitação, enquanto noutros programas essa análise é feita mensalmente, tornando o erro muito grosseiro quando se pretende analisar sistemas de micro-cogeração.

Assim, devido à impossibilidade de simulação de um sistema de micro-cogeração pelo TRNSYS, este apenas foi usado na determinação da procura térmica de uma residência, assim como a quantidade de energia térmica para as águas quentes sanitárias.

Para uma maior rentabilidade o sistema deve funcionar o máximo de tempo possível ao longo do ano. Por isso, a sua potência máxima não deve ser demasiado elevada, caso contrário o sistema irá estar em funcionamento apenas durante poucas horas. Se continuar

em funcionamento existirá uma produção excessiva, originando por isso perdas, o que o tornaria menos eficiente.

4.1. Cenário

Este caso de estudo tem como objectivo analisar as potencialidades de um dos sistemas de micro-cogeração existentes no mercado para uso doméstico. Escolheu-se o sistema de micro-cogeração com motor de combustão interna da Freewatt Systems com o motor Micro-CHP da Honda, (Figura 4.1), por ser já ter sido aprovado em várias casas do Japão e por não possuir uma potência térmica muito elevada, sendo por isso ideal para o uso no sector doméstico.



Figura 4.1 - Imagem do Climate Energy's Hydronic Freewatt

Tabela 4.1 - Características do Climate Energy's Hydronic Freewatt

	Climate Energy's Hydronic Freewatt System
Potência eléctrica gerada	1,2 kW
Potência térmica gerada	3,26 kW
Possui caldeira	Sim
Preço da unidade mais instalação*	8.000€

Neste caso de estudo foi considerado um cenário relativo a uma residência familiar típica portuguesa, próxima da realidade da classe média. Foi considerado uma habitação para quatro pessoas, tratando-se por isso de uma residência com três quartos.

4.2. Determinação da procura da energia térmica para aquecimento de uma habitação

De modo a calcular a procura de energia térmica das casas foi necessário implementar um modelo no programa TRNSYS, apresentado na figura 4.2.

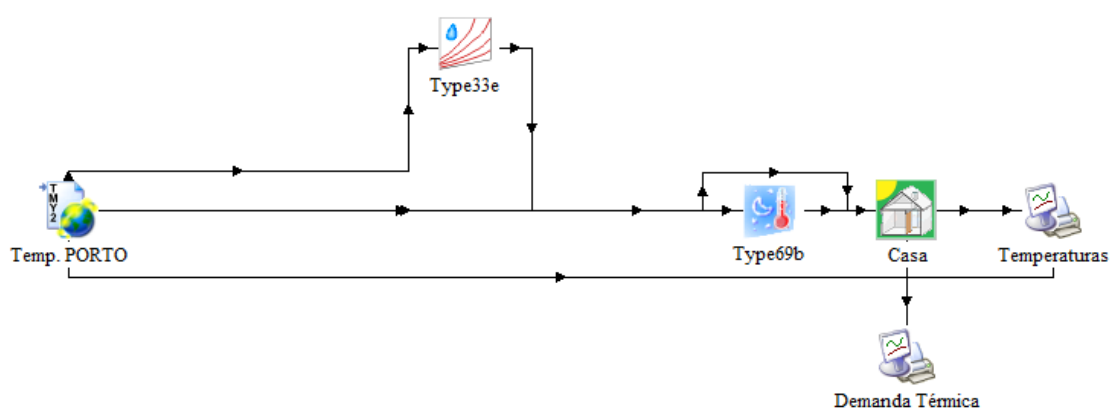


Figura 4.2 - Modelo implementado no programa TRNSYS para simulação das necessidades energéticas para aquecimento de uma habitação

Para que o efeito da temperatura exterior fizesse o efeito térmico correcto na casa, foi necessário utilizar dois componentes: o Type33e e o Type69b. O primeiro tem como entrada o bolbo seco e humidade relativa do ar húmido, e chama a rotina TRNSYS Psychrometrics, retornando as seguintes propriedades correspondentes ao ar húmido: temperatura bolbo seco, ponto de orvalho, temperatura de bolbo molhado, humidade relativa do ar, humidade absoluta razão, e entalpia. O segundo componente determina uma eficaz temperatura do céu, que é usado para calcular a troca de radiação de ondas longas entre uma superfície externa arbitrária e da atmosfera. Ao negro céu numa noite clara, por exemplo, é atribuída uma temperatura de céu de baixa eficácia para dar conta das perdas adicionais radiativas de uma superfície exposta para o céu. Nesta simulação a nebulosidade do céu é calculada com base usuária desde bolbo seco e ponto orvalho temperaturas.

Para a simulação do sistema é necessário criar um modelo de uma residência de modo a ser possível calcular a procura térmica. Para tal foi usado o plug-in TRNBuild incluído no software TRNSYS.

O modelo da residência criado usando o Plug-in TRNBuild foi uma residência com 160m², com três áreas distintas: as divisões dos quartos, sala e quartos de banho foram agrupadas todas numa área com 120 m²; a outra área com 20 m² destina-se à cozinha; e por fim a última com 20m² onde se encontram os corredores.

De modo a tornar esta simulação o mais realista possível foram utilizadas as seguintes considerações:

- Um dos objectivos deste trabalho foi estudar a integração da micro-cogeração em Portugal, e por isso foi usado um ficheiro que contém os dados climatéricos referentes a uma região de Portugal, neste caso o Porto.
- Como a iluminação artificial também contribui para o aquecimento de uma residência, foi usado o perfil de utilização apresentado na Figura 4.3.

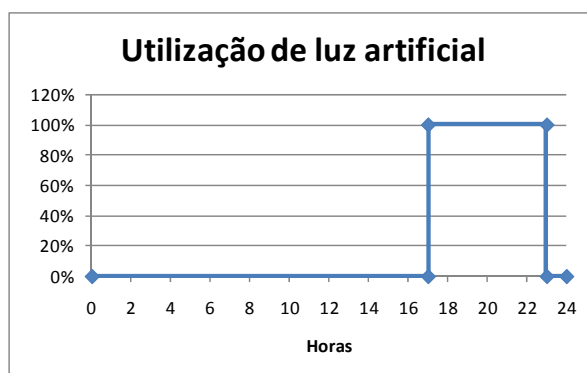


Figura 4.3 - Perfil da utilização de luz artificial

- Foram usados dois modos de controlo da temperatura do sistema de aquecimento central. Num dos modos (Modo 1), foi considerado que o sistema de aquecimento apenas se liga quando a temperatura no interior da habitação for inferior a 20°C. No outro modo de controlo (Modo 2), é usado o modo de controlo de muitos dos sistemas de aquecimento actuais, onde a regulação de temperatura é feita conforme a rotina diária dos habitantes (figura 4.4).

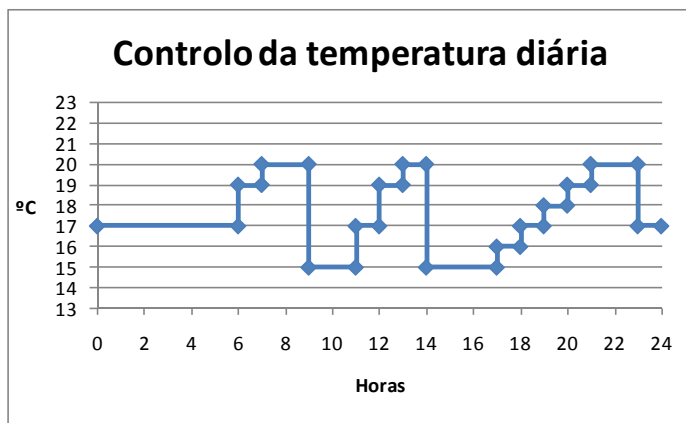


Figura 4.4 - Controlo da temperatura diária

De seguida são apresentados os resultados da simulação do sistema no software TRNSYS de modo a determinar a procura térmica em todas as horas durante um ano, na casa de 160m² usando o controlo de temperatura no modo 1.

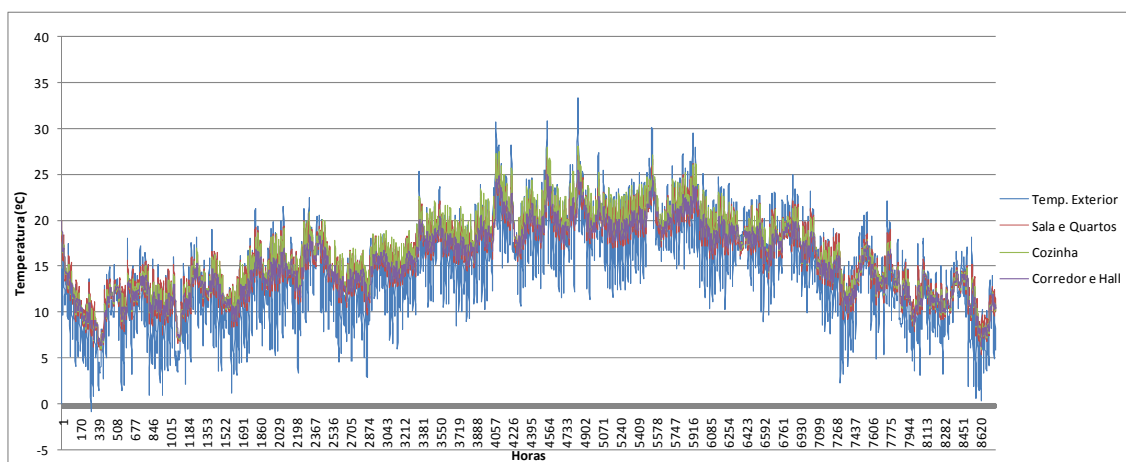


Figura 4.5 - Temperaturas do exterior e interiores sem aquecimento central

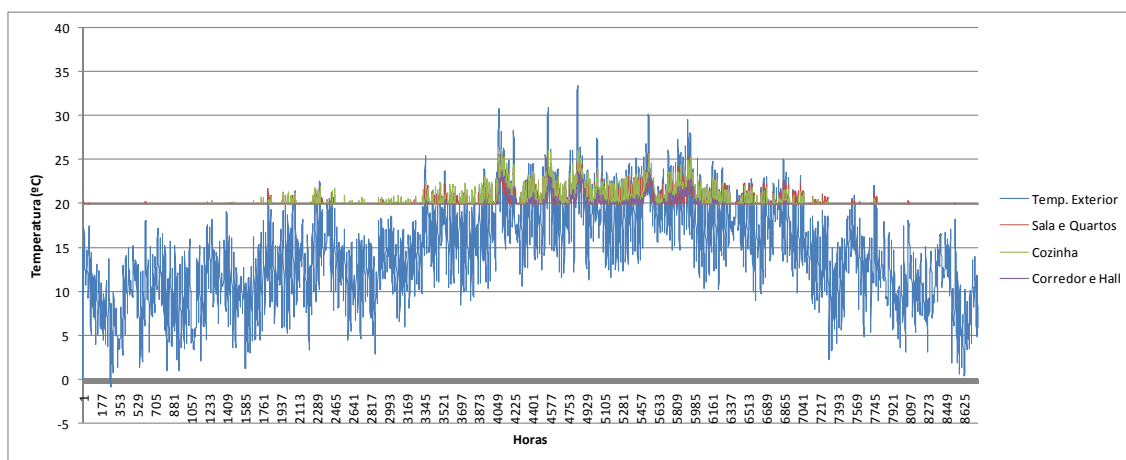


Figura 4.6 - Temperaturas do exterior e interiores com o aquecimento central ligado no Modo 1

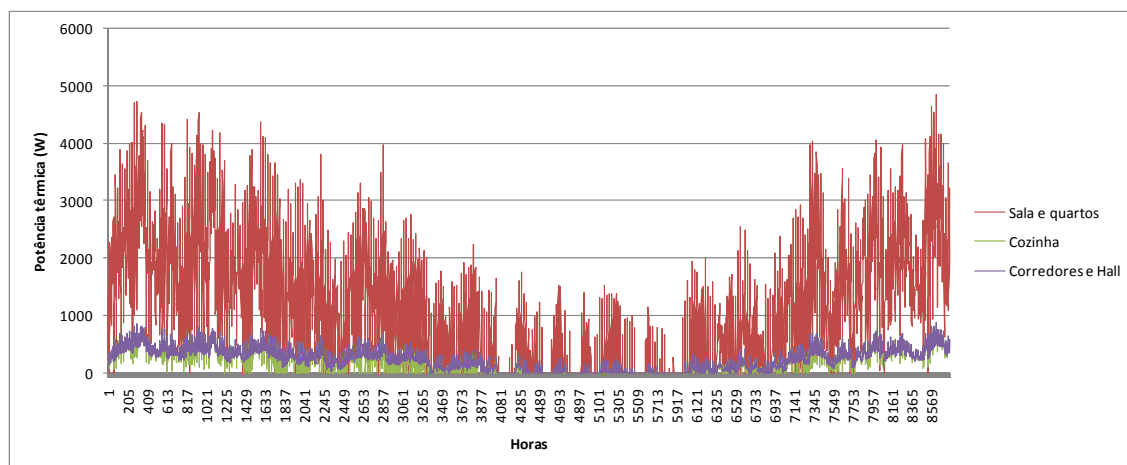


Figura 4.7 - Necessidades de energia térmica nas diferentes divisões no Modo 1

Observa-se que as temperaturas nas diferentes divisões não baixam dos 20°C (Figura 4.5) originando uma constante procura térmica nos períodos mais frios (Figura 4.6). No verão, mesmo com as altas temperaturas que se fazem sentir durante o dia, existem noites que são mais frescas baixando os 12°C (Figura 4.7) e originando por isso uma pequena procura térmica nesses períodos.

A procura de energia térmica necessária para o aquecimento foi cerca de 13,024 MW/h com uma procura máxima exigida de 6613,711 W.

De seguida são apresentados os resultados da simulação do sistema no software TRNSYS de modo a determinar a procura térmica em todas as horas durante um ano, da mesma casa, mas usando agora o controlo de temperatura no modo 2.

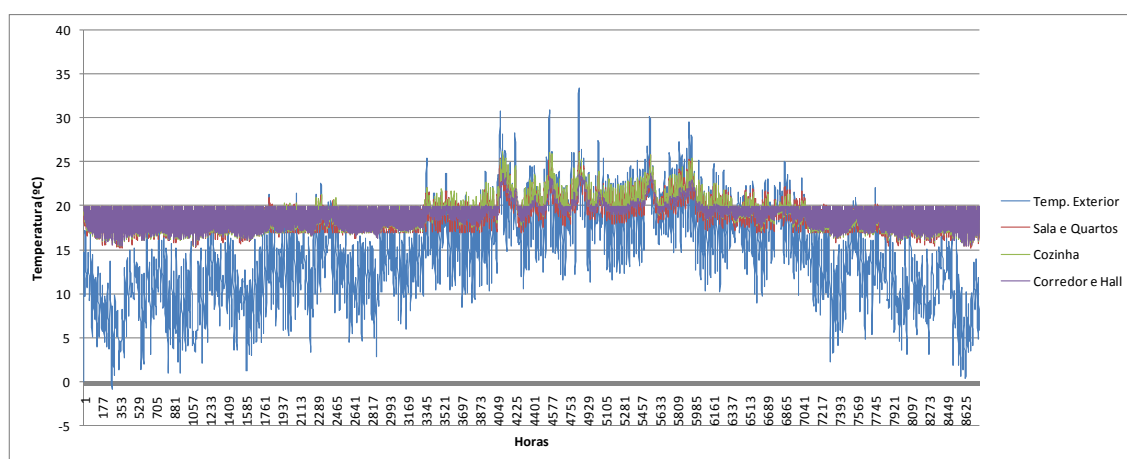


Figura 4.8 - Temperaturas do exterior e interiores com o aquecimento central ligado no Modo 2

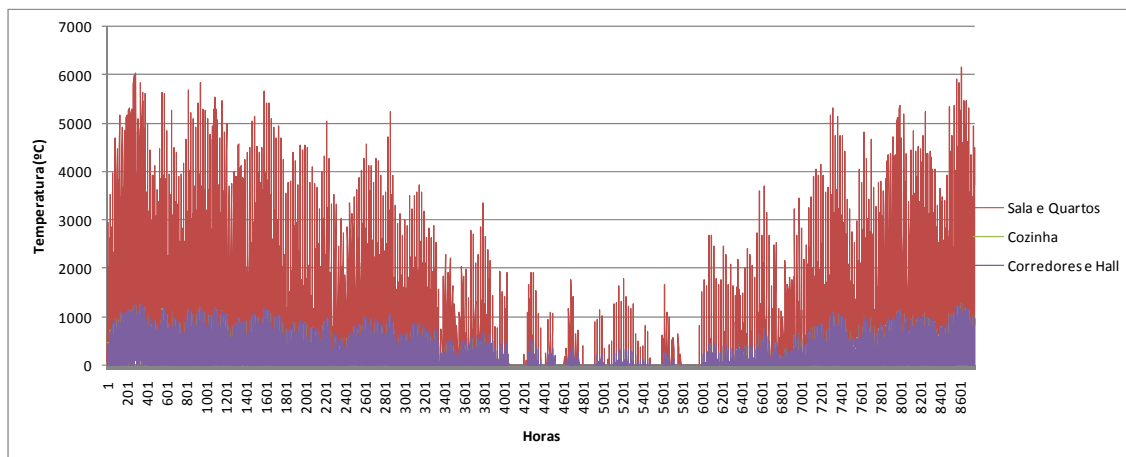


Figura 4.9 - Necessidades de energia térmica nas diferentes divisões no Modo 2

Analisando as figuras anteriores verifica-se que as temperaturas nas diferentes divisões estão entre os 15°C e os 20°C nos períodos mais frios, mas devido ao aquecimento central se desligar quando não está ninguém em casa (Figura 4.8), não existe uma constante procura térmica nos períodos mais frios (Figura 4.9).

A procura de energia térmica necessária para o aquecimento foi cerca de 9226,404 MW/h com uma procura máxima exigida de 8763,181 W.

O inconveniente deste modo de controlo é que ao desligar o aquecimento a temperatura da casa baixa, sendo por isso necessário uma maior potência térmica quando o sistema se torna a ligar. Devido à relativamente baixa potência térmica do sistema de micro-cogeração da Freewatt (3,26 kW), é necessário o uso da caldeira adicional para atingir tal procura.

Para que seja mais favorável o estudo económico ao sistema de micro-cogeração, este deve estar em funcionamento o maior tempo possível e o uso da caldeira adicional deve ser o menor possível, logo, foi considerado que o sistema fosse deixado no modo 1 (constante a 20°C).

4.3. Determinação da procura de energia térmica necessária para aquecimentos das águas quentes sanitárias

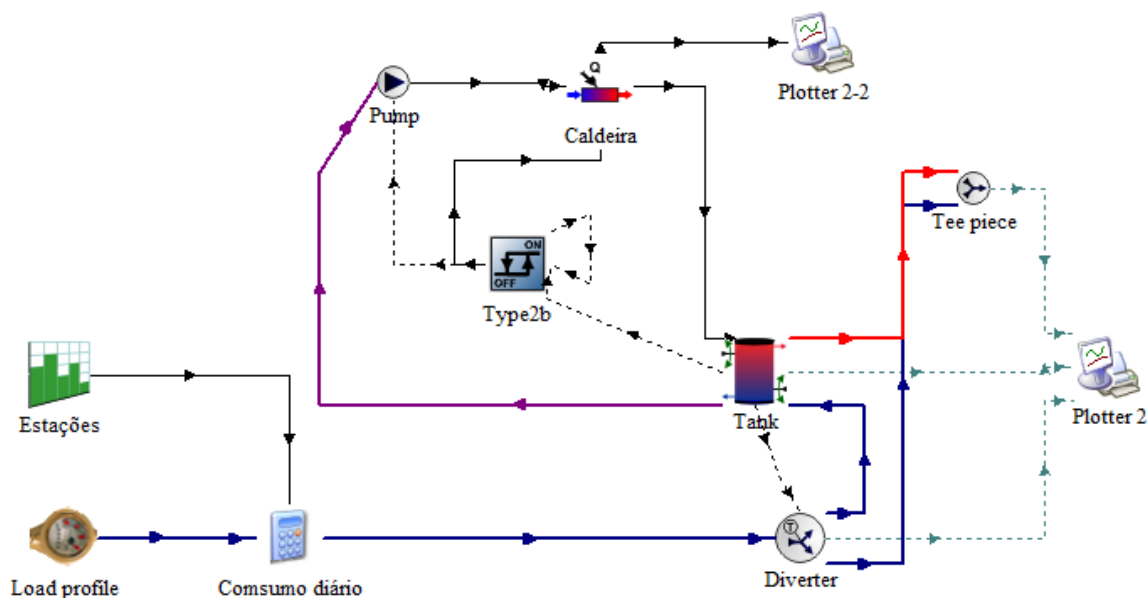


Figura 4.10 - Modelo implementado no programa TRNSYS para simulação do consumo de AQS

No estudo do consumo de águas quentes sanitárias, e como este varia bastante conforme o consumidor, usou-se o consumo de referência de 40 l de água quente a 60°C por pessoa e por dia (do DL n.º 80/2006 artigo 14.º).

Como o consumo de águas quentes sanitárias numa residência não se dá de uma forma constante, foi usado um perfil de consumo que fosse de encontro à rotina diária de um utilizador comum: considerou-se o consumo de água quente mais elevado por volta das sete horas da manhã, e por volta das oito horas da tarde pois é quando normalmente as pessoas costumam tomar banho/chuveiro, antes ou depois de voltar do seu trabalho diário.

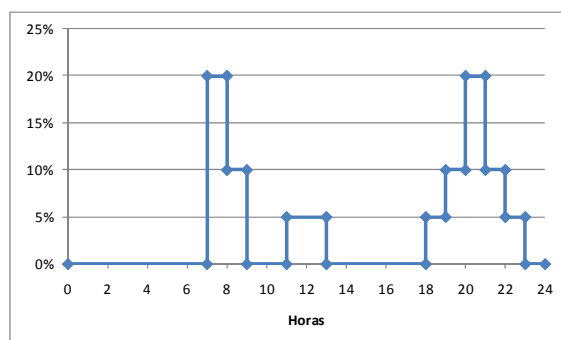


Figura 4.11 - Perfil do consumo de AQS diário

Devido às altas temperaturas que se fazem sentir no verão, e às baixas temperaturas dos invernos, o consumo de água quente não se faz de igual modo durante o ano. Considerou-se por isso que no inverno se consumia mais 10% do que o consumo de referência de AQS, e no verão menos 10%.

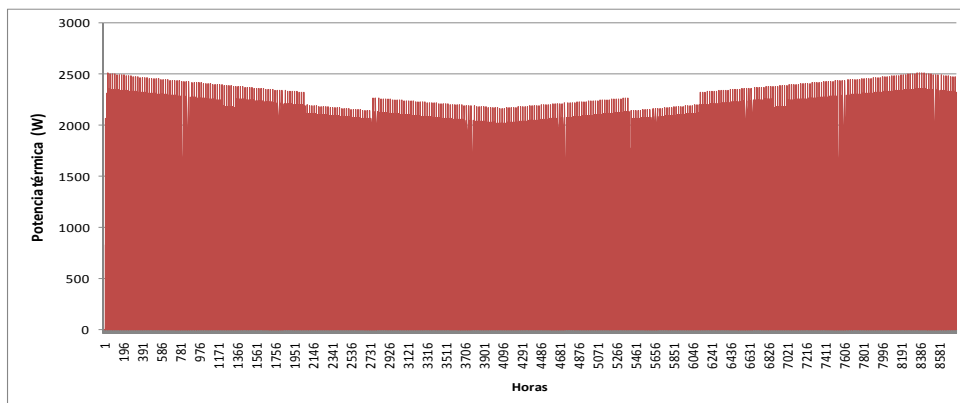


Figura 4.12 - Energia necessária no aquecimento de águas quentes sanitárias.

A procura de energia térmica necessária para o aquecimento de águas quentes sanitárias foi cerca de 4445 kW/h com uma procura máxima exigida de 2516,2W.

Os sistemas de micro-cogeração necessitam geralmente de um tempo de arranque, logo não devem estar sempre a parar. Para que isto não aconteça tão frequentemente, é usual instalar um acumulador térmico de modo a que este possa produzir durante algum tempo, mesmo quando não seja necessária potência térmica. Esta energia excessiva acumulada vai depois sendo continuamente consumida ao longo do tempo.

Neste caso de estudo foi considerado um acumulador térmico de 300 litros, e foi criada uma rotina em VisualBasic, no Excel, de modo a verificar, hora-a-hora, se quando a procura de energia térmica fosse baixa o sistema deveria continuar desligado, e essa procura seria satisfeita com a energia contida no acumulador térmico. O sistema só volta a ligar quando a procura térmica não consegue ser satisfeita pelo acumulador ou quando existe possibilidade de produzir energia térmica excedente durante pelo menos uma hora, de modo a ser armazenada no acumulador.

4.4. Determinação da procura de energia térmica total necessária para aquecimento e águas quentes sanitárias

Depois de somada a procura de energia térmica devida ao aquecimento com a procura de energia térmica do aquecimento de águas sanitárias, foi determinada a procura total de energia térmica sendo de 17,5MWh e a procura máxima exigida de 8,32kW.

A figura 4.13 mostra a procura anual de calor da instalação, onde a linha recta representa a gama de potência térmica do sistema de micro-cogeração. As áreas em que a geração térmica dos sistemas de micro-cogeração está acima da curva da procura térmica correspondem ao tempo de carga dos acumuladores de calor. Cerca de 32% da procura térmica máxima é coberta pelo sistema de micro-cogeração seleccionado. Durante um ano, o sistema de micro-cogeração esteve 4219 horas em funcionamento, produzindo 13,75MWh de energia térmica e 5062kW de energia eléctrica. O sistema da Freewatt Hydronic consegue produzir cerca de 78,6% da energia térmica total necessária, sendo a restante produzida pela caldeira.

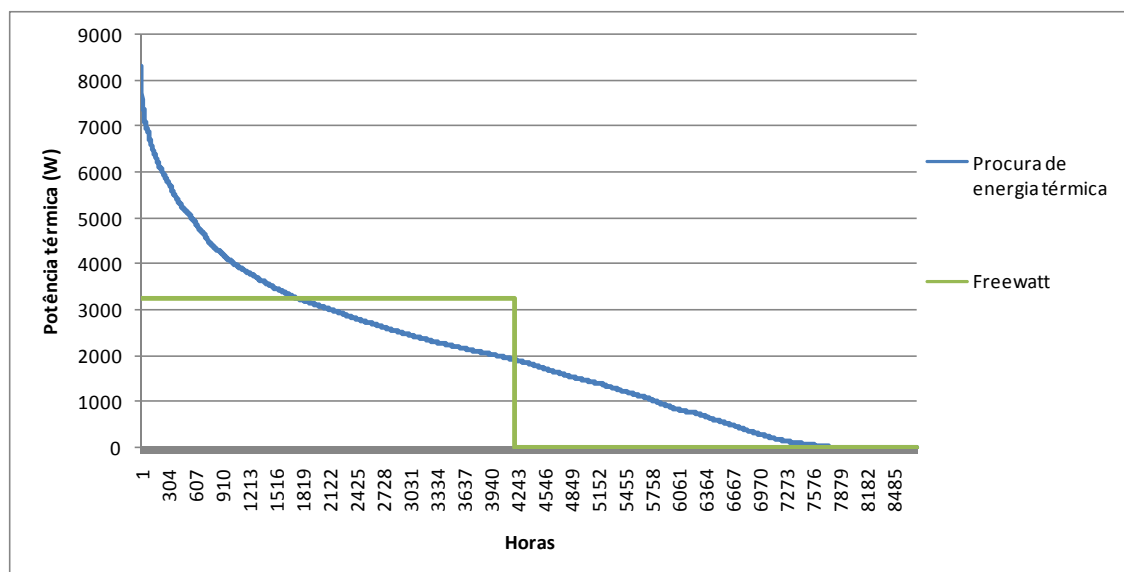


Figura 4.13 - Curva da potência térmica requerida ao longo de um ano.

4.5. Avaliação económica

A avaliação económica deste sistema é feita em comparação com um sistema “alternativo” já existente, neste caso uma caldeira.

Foi considerado que os custos de manutenção de um sistema de micro-cogeração com motor de combustão interna serão de 0,01€ por cada kWh que o sistema produza.

No cálculo dos custos com combustível é necessário determinar o rendimento térmico do sistema de modo a calcular a quantidade de combustível. Foi considerado um rendimento térmico de 0,58.

Gás natural PCI (poder calorífico inferior) =9028 kcal/m³

Preço médio do Gás Natural = 0,5292 Euro/m³

Tabela 4.2 - Avaliação económica

		Sistema de micro-cogeração	Sistema de energia alternativo
Custo da instalação *	€	8000	-
Custos de manutenção	€/a	50,77954648	15
Custos com combustível	€/a	1192,162779	970,3300235
Custos totais parciais	€/a	1242,942326	985,3300235
Electricidade consumida + vendida	€/a	609,3545578	0
Custo TOTAL	€/a	633,5877679	985,3300235
Produção de CO ₂ **	kg/ano	2310,557328	3657,838274
Tempo de retorno do investimento	anos	22,7	

*- No cálculo dos custos totais não entra o custo da instalação de modo a poder-se comparar a diferença das receitas totais.

**- No cálculo da produção de CO₂ foi considerada a seguinte tabela:

Tabela 4.3 - Emissões de CO₂

Electricidade	0,43 kg CO ₂ por kWh
Gás Natural	0,19 kg CO ₂ por kWh

Analisando a avaliação económica deste investimento, percebe-se que é um sistema com potencialidades, pois o custo total anual é menor do que o de um sistema de energia alternativo, e a produção de CO₂ é mais baixa. No entanto, quando analisado o tempo de retorno do investimento, de 22,7 anos, rapidamente se conclui que se trata de um investimento inviável. Isto acontece devido à falta de subsídios dados pelo estado, assim como ao elevado preço do Gás Natural.

Capítulo 5

Conclusões e trabalho futuro

5.1. Conclusões

O objectivo desta dissertação foi a avaliação da possível integração da micro-cogeração em Portugal, principalmente aplicada ao sector doméstico. Neste trabalho procurou-se avaliar, em primeiro lugar, um conjunto de tecnologias existentes, apresentando em cada uma delas os seus principais benefícios.

Seleccionando-se um dos sistemas de micro-cogeração já disponível no mercado, e já testado sobretudo no Japão, estudou-se a sua possível aplicação numa residência familiar portuguesa.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi possível ir retirando algumas conclusões e considerações que, se por um lado se relacionam com o estudo específico efectuado, podem também abrir novas perspectivas e possibilidades de investigação para o futuro.

Como se viu, os sistemas de micro-cogeração, sobretudo para aplicação doméstica, são tecnologias ainda bastante recentes, encontrando-se muitos deles ainda em fase de testes ou desenvolvimento. Isto implica que não existam ainda dados suficientemente concretos para se avaliar, na prática, uma possível integração ao nível doméstico. Muitas vezes os dados existentes são referências das próprias marcas fabricantes, não havendo ainda largas experiências de aplicação efectiva. Em Portugal, e como refere a folha informativa publicada pela Cogen Europe em relação ao estado da micro-cogeração em Portugal (COGEN Europe, 2004), não existe ainda qualquer estudo económico para a micro-cogeração, e são escassas as empresas focadas no mercado desta tecnologia no nosso país.

Por serem ainda muito recentes, os preços iniciais de aquisição e instalação dos sistemas de micro-cogeração disponíveis no mercado são ainda muito elevados, sobretudo se se pensar numa integração a nível doméstico, e por isso num investimento pessoal.

Também por ainda não serem comercializados em Portugal, não se pode saber exactamente qual o seu preço de venda no nosso país. Seguindo as referências disponibilizadas pelos fabricantes, no estudo realizado considerou-se o custo inicial de cerca de 8000€ para aquisição e instalação do sistema de micro-cogeração numa residência, substituindo a caldeira existente. Neste caso, só ao fim de 23 anos o sistema ficaria pago, o que se revela praticamente inviável. Mesmo que o sistema de micro-cogeração fosse integrado de origem na construção da casa (e por isso ao seu valor se subtraísse o custo da caldeira), só ao fim de 20 anos seria rentável, o que também não se apresenta como uma solução viável.

Pelos estudos e análises já realizados com os sistemas existentes ou em protótipos, sabe-se que a micro-cogeração é um processo de geração de energia muito eficiente, com percentagens muitas vezes acima dos 80%, podendo chegar aos 92%.

Simultaneamente, a micro-cogeração de energia produz aproximadamente menos 1350 kg de CO₂ por ano do que um sistema de aquecimento convencional (usando apenas caldeira), dado que a produção de energia eléctrica através das centrais é muito poluente. Aliado à exploração de energias renováveis, um sistema de micro-cogeração pode assim contribuir largamente para uma redução da emissão dos GEE.

Apesar das vantagens da micro-cogeração ao nível da eficiência energética e preservação do ambiente, o actual elevado custo destes sistemas dificulta a sua aplicação ao nível doméstico. Na lei portuguesa, apesar dos recentes benefícios aos produtores de energias renováveis, a situação da micro-cogeração ainda não se encontra claramente estabelecida e enquadrada. No caso da cogeração, por exemplo, aplicam-se já as tarifas reduzidas do gás natural, mas o mesmo não se passa com a micro-cogeração. A energia eléctrica excedente produzida por um sistema de micro-cogeração pode ser armazenada ou vendida à rede eléctrica. No entanto, apesar da sua eficiente produção energética, a venda de energia eléctrica produzida por estes sistemas à rede nacional de energia não se encontra abrangida pelo regime bonificado, estando actualmente incluída no regime geral. Isto implica que, ao contrário das energias renováveis, um eventual produtor de energia eléctrica através de um sistema de micro-cogeração, ao vende-la à rede, não beneficia do preço praticado pelas produções abrangidas pelo regime bonificado, logo a tarifa que lhe é aplicada é muito baixa, não constituindo qualquer rentabilidade em termos económicos.

De modo a incentivar uma implementação da micro-cogeração ao nível doméstico, seria urgente uma (re)definição do enquadramento legislativo deste tipo de produção de energia, de modo a torná-lo economicamente rentável. Isto passaria, para além dos incentivos fiscais na aquisição dos aparelhos, por um enquadramento da micro-cogeração no regime bonificado de venda de energia eléctrica à rede, assim como a atribuição de uma tarifa especial no que diz respeito ao gás natural.

Como se viu, existem ainda algumas limitações que em certa medida atrasam e dificultam a implementação de sistemas de micro-cogeração ao nível doméstico.

Por se tratarem, na sua maioria, como já foi referido, de sistemas ainda em fase de testes e implementação, é essencial uma contínua investigação e análise, em diálogo com eventuais alterações legislativas, para que a micro-cogeração de energia venha a constituir uma alternativa rentável e eficiente, para uma melhor gestão da produção de energia eléctrica.

Encontra-se assim aberto um campo de possíveis investigações futuras, de que esta dissertação pretendeu constituir um ponto de partida, de modo a tornar a micro-cogeração uma possibilidade atractiva para os consumidores.

Por se tratar de uma tecnologia próxima do consumidor final, a que este pode ter fácil acesso (depois de devidamente enquadrada na legislação e no mercado nacional), uma hipótese de estudo futuro poderá ser a averiguação do possível interesse, da aquisição de um sistema de micro-cogeração na área doméstica. Um estudo deste tipo serviria também como meio de divulgação de uma tecnologia ainda pouco conhecida em Portugal pelo utilizador comum.

Uma outra hipótese passaria por se realizar um estudo real através da implementação de sistemas de micro-cogeração pilotos em residências domésticas em Portugal, para que se pudessem analisar, na prática e em proximidade com a realidade portuguesa, o efectivo funcionamento destas tecnologias.

Referências

“EDUCOGEN - The European Education Tool on Cogeneration” (2001), 2ª Edição, disponível em <http://www.cogen-europe.eu/projects/educogen.htm>, acesso em Outubro de 2008

“Micro-CHP needs specific treatment in the European directive on cogeneration” (2003), COGEN Europe Position Papers, disponível em http://www.cogen-europe.eu/publications/position_papers.htm, acesso em Novembro de 2008

“Micro-CHP Systems for Residential Applications. Final Report” (2006), East Hartford: United Technologies Research Center, 2006.

“Micro-CHP Technologies Roadmap Workshop - Meeting 21st Century Residential Energy Needs” (2003), United States Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Distributed Energy Program, disponível em http://www.eere.energy.gov/de/chp/chp_applications/information_resources.html, acesso em Novembro de 2008

“REA - Relatório do Estado do Ambiente 2006” (2007), Agência Portuguesa do Ambiente, disponível em <http://portal.min-agricultura.pt/portal/page/portal/MADRP/PT/servicos/mediateca/publicacoes/publicacoes/ficheiros/REA2006.pdf>, acesso em Dezembro de 2008

“Regras para a Apresentação de Dissertações de Cursos de Mestrado da FEUP”, Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, Junho de 1995.

ACKERMAN, T. [et.al.] (2002), “Distributed generation: a definition”, Electric Power System Research, Volume 57, Número 57, 1 de Abril de 2002, pp. 195-204.

ADENE - Agência para a Energia, <http://www.adene.pt/ADENE.Portal>

AKI, H. (2007), “The Penetration of Micro CHP in Residential Dwellings in Japan”, Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE, 24-28 June 2007, disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4275234&isnumber=4275199> acesso em Novembro de 2008

ALHAKEEM, S.A.M. [et.al.] (2007), “Utilisation of micro combined heat and power system using alternative fuels”, Universities Power Engineering Conference, 2007. UPEC 2007. 42nd International, 4-6 Sept. 2007, disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4469116&isnumber=4468909>, acesso em Novembro de 2008

ANTUNES, Paula (coord.)(2000), “Estudo sobre sector eléctrico e ambiente. 1º relatório. Impactes ambientais do sector eléctrico”, Lisboa: Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, 2000, disponível em <http://www.erse.pt/NR/rdonlyres/8B47301D-050C-43A2-8000-C46CC6DBD2C9/0/SectorEléctricoAmbiente1Relatório.pdf>, acesso em Janeiro de 2009

APA - Agência Portuguesa do Ambiente, <http://www.apambiente.pt/Paginas/default.aspx>

ARNDT, Uli, [et.al.] (2008), “Performance of Residential Cogeneration Systems in Germany”. A Report of Subtask C of FC+COGEN-SIM The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems. Annex 42 of the International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, disponível em <http://www.cogen-sim.net/>, acesso em Outubro de 2008

BEAUSOLEIT-MORRISON, Ian (2008), “An experimental and simulation-based investigation of the performance of small-scale fuel cell and combustion-based cogeneration devices serving residential buildings.”. A Report of FC+COGEN-SIM: The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems, Annex 42 of the International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, disponível em <http://www.cogen-sim.net/>, acesso em Outubro de 2008

CÂMARA, Paulo Roberto da (2005), “Factores de decisão na adoção de um sistema de micro-cogeração de energia a gás natural: um estudo em hotéis três estrelas”, Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Centro de Tecnologia, Programa de Engenharia de Produção, Novembro 2005. Tese de mestrado.

CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (2001a), “Tecnologias de micro-cogeração e sistemas periféricos”, Parte II - Tecnologias de aproveitamento de calor, pp.53-61, disponível em

<http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/Aproveitamento.pdf>, acesso em Outubro de 2008

CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (2001b), “Tecnologias de micro-cogeração e sistemas periféricos”, Parte III - Tecnologias de armazenamento de energia, pp.62-82 disponível em

<http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/Armazenamento.pdf>, acesso em Outubro de 2008

CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (2001c), “Tecnologias de micro-cogeração e sistemas periféricos”, Parte I - Tecnologias de micro-geração, pp.4-17, disponível em <http://www.ceeeta.pt/downloads/pdf/MicroGas.pdf>, acesso em Outubro de 2008

CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente,

<http://www.ceeeta.pt/site/index.html>

COGEN Europe (2004), “Micro-CHP Fact Sheet Portugal”, Novembro 2004, disponível em

[http://www.cogen-](http://www.cogen-europe.eu/Downloadables/Publications/FactSheet_MicroCHP_Portugal.pdf)

[europe.eu/Downloadables/Publications/FactSheet_MicroCHP_Portugal.pdf](http://www.cogen-europe.eu/Downloadables/Publications/FactSheet_MicroCHP_Portugal.pdf), acesso em

Janeiro de 2009

COGEN Europe, <http://www.cogen-europe.eu/index.htm>

COGEN Portugal, <http://www.cogenportugal.com/>

DEBRUYN, Adrian Bryan (2006), “Integration of Combined Heat and Power Generators into Small Buildings. A Transient Analysis Approach”, Canada: University of Waterloo, 2006. Tese de mestrado.

DGFER - Distributed Generation - Future Energy Resources (2004), “Roadmapping of the paths for the introduction of distributed generation in Europe”, Projecto Europeu ALTENER, disponível em http://www.dgfer.org/Downloads/DGFER_Road_Map.pdf, acesso em Outubro de 2008

DORER, Viktor, WEBER, Andreas (2007), “Methodologies for the Performance Assessment of Residential Cogeneration Systems”. A Report of Subtask C of FC+COGEN-SIM The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems. Annex 42 of the International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, disponível em <http://www.cogen-sim.net/>, acesso em Outubro de 2008

EDP, <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/AboutEDP/default.htm>

Eficiência Energética, <http://www.eficiencia-energetica.com/index.html>

ELLERN, M. [et.al.] (2003), “Desenvolvimento de Células a Combustível de Plímero Sólido (PEMFC) para Aplicação em Geração de Energia Eléctrica Distribuída”, in *II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Eléctrica*, Citenel, pp.302-306.

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, <http://www.erse.pt/vpt/entrada/>

EUROPA - O portal da União Europeia, “Protocolo de Quito relativo às alterações climáticas”, disponível em <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28060.htm>, acesso em Novembro de 2008

HORDESKI, Michael F. (2004), “Dictionary of energy efficiency technologies”, Georgia: The Fairmont Press.

JABLKO, R. [et.al.] (2005), “Technical and economical comparison of micro CHP systems”, 2005 International Conference on Future Power Systems, 18 Nov. 2005, disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1600536&isnumber=33649>, acesso em Novembro de 2008

KNIGHT, Ian [et.al.] (2005), “Residential Cogeneration Systems: A Review of The Current Technologies”. A Report of Subtask A of FC+COGEN-SIM. The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems, Annex 42 of the International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, disponível em <http://www.cogen-sim.net/>, acesso em Outubro de 2008

KOLANOWSKI, Bernard R. (2003), “Small-scale cogeneration handbook”, Georgia: The Fairmont Press, 2ª Edição.

Micro combined heat & power, <http://www.microchap.info/>

MONTEIRO, Cláudio (2005/2006), “Cogeração”, Acetatos da disciplina “Produção e transporte de energia II”, Porto, Feup, disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/>, acesso em Outubro de 2008

OLIVEIRA, Fernando (2008), “Relatório de resultados de contactos efectuados com entidades holandesas sobre microgeração baseada na tecnologia de ‘motores *Stirling*’”, ADENE - Agência para a Energia, disponível em <http://www.adene.pt/ADENE/Canais/Projectos/Microgeração.htm>, acesso em Outubro de 2008

PEHNT, Martin [et.al.] (2004), “Micro CHP - a sustainable innovation?”, TIPS - Transformation and Innovation in Power Systems, Discussion Paper 4, Berlin/Heidelberg: June 2004, disponível em <http://www.tips-project.de/>, acesso em Outubro de 2008

PRAETORIUS, Barbara, SCHNEIDER, Lambert (2006), “Micro Cogeneration: towards a decentralized and sustainable energy system?”, 29th IAEE International Conference, Potsdam, 7-10 June 2006.

PREDD, P.P. (2007), “A Power Plant for the Home”, Spectrum, IEEE, April 2007, disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4141326&isnumber=4141249> acesso em Novembro de 2008

REN, <http://www.ren.pt/vPT/Pages/Homepage.aspx>

SIMADER, Günter R. [et.al.] (2006), “Micro CHP systems: state-of-the-art”. Viena: Austrian Energy Agency, 2006, disponível em [http://www.energyagency.at/\(de\)/publ/pdf/greenlodges_chp_stateofart.pdf](http://www.energyagency.at/(de)/publ/pdf/greenlodges_chp_stateofart.pdf), acesso em Novembro 2008

SLOWE, Jon (2006), “Micro-CHP to Increase Energy Efficiency: Emerging Technologies, Products and Markets”, Delta Energy & Environment Affiliation, disponível em http://mail.mtprog.com/CD_Layout/Day_2_22.06.06/1400-1545/ID33_Slowe_final.pdf, acesso em Novembro de 2008

WADE - World Alliance for Decentralized Energy (2003), “Guide to Decentralized Energy Technologies”, disponível em http://www.localpower.org/documents/report_de_technologies.pdf, acesso em Novembro de 2008