

Sistema de Micro-cogeração com Motor de Combustão Interna: Aplicação a uma Residência Unifamiliar

*Projecto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Equipamentos e Sistemas Mecânicos*

Autor

Ricardo António Brazão Batista Rosa

Orientador

Prof. Adjunto: António Manuel de Morais Grade

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Dezembro, 2013

A vocês:

Pai, Mãe e Irmã

AGRADECIMENTOS

O espaço limitado desta secção de agradecimentos, seguramente, não me permite contemplar, como devia, a todas as pessoas que, ao longo do meu Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos me ajudaram, directa ou indirectamente, a cumprir os meus objectivos e a realizar mais esta etapa da minha formação académica. Desta forma, deixo apenas algumas palavras, poucas, mas com um sentido, e profundo, sentimento de reconhecido agradecimento.

Ao meu orientador, Mestre António Grade, expresso o meu agradecimento pela orientação e apoio incondicional que em muito elevaram os meus conhecimentos científicos e, sem dúvida, muito estimularam o meu desejo de querer saber mais e a vontade constante de querer fazer melhor.

Aos meus amigos, aos mais presentes e aos mais distantes, que sempre me apoiaram e sempre que necessitei estavam ao meu lado. Pelas palavras de encorajamento, amizade e apoio.

Ao pessoal de Coimbra pelos momentos de escape e diversão, em especial aos colegas de Licenciatura e de Mestrado pelas tardes de trabalho partilhadas e pela companhia.

À AE ISEC, que além da amizade, contribuiu para o desenvolvimento de competências pessoais e, certamente, profissionais.

À Isecotuna – Tuna Mista do ISEC, pelas amizades, momentos de diversão e companheirismo.

À minha irmã Sofia pela força, motivação e palavras de confiança que me deu ao longo deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, aos meus pais António Joaquim e Helena, pelo grande apoio e incentivo que me deram durante todos estes anos de estudo e pelos sacrifícios que fizeram para sustentar a minha formação. Sei que estão orgulhosos de mim por ter concluído mais esta fase, e este trabalho é em parte para vós. Pela confiança que me inculcaram ao longo dos meus anos de vida, sei que é a vós que devo o facto de ser aquilo que sou hoje.

A todos vós, um MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A produção combinada de calor e electricidade, também denominada de cogeração, é uma tecnologia recente que proporciona, quer uma melhoria da eficiência energética, quer benefícios ambientais, através da redução do consumo de energia primária e das emissões associadas de gases com efeito de estufa. A natureza da produção descentralizada, inerente a esta tecnologia, possui igualmente, o potencial para reduzir as perdas associadas às ineficiências na transmissão e distribuição de electricidade, garantir o abastecimento eléctrico contínuo, evitando as falhas de abastecimento da rede pública, assim como aliviar os problemas de procura nos picos de consumo, podendo assumir um impacto profundo no sistema energético português.

Este trabalho começa por analisar os principais sistemas de micro-cogeração existentes, compara-os e, posteriormente, efectua o projecto de um sistema de micro-cogeração, através de um motor de combustão interna, no sector residencial.

Palavras-chave: Micro-cogeração, motor de combustão interna, produção descentralizada, AQS.

ABSTRACT

The combined heat and power also called cogeneration is the latest technology with the potential to provide an improvement in energy efficiency as well as environmental benefits by reducing the primary energy consumption and the corresponding emissions of greenhouse gases. The decentralized nature of electricity production inherent to this technology also has the potential to reduce the losses associated with inefficiencies in transmission and distribution of electricity, ensures continuous power supply, avoiding the failures of the public supply network, as well as reduces the problems of demand in peak load, and may eventually have a deep impact on the Portuguese energy system.

This study begins by reviewing the main existing micro-cogeneration systems, compare them and carries out the project of a micro-CHP, using a internal combustion engine, in the residential sector.

Keywords: *Micro-CHP, internal combustion engine, decentralized production.*

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO	1
1. ENQUADRAMENTO DO TEMA DO PROJECTO	1
2. OBJECTIVOS DO PROJECTO.....	2
3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	3
II. COGERAÇÃO E MICRO-COGERAÇÃO.....	4
1. CONCEITO DE COGERAÇÃO.....	4
2. VANTAGENS DA COGERAÇÃO RELATIVAMENTE ÀS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS.....	8
2.1. Micro-cogeração.....	9
3. TECNOLOGIAS DE MICRO-COGERAÇÃO: COMPARAÇÃO	10
3.1. Motores de combustão alternativos	11
3.2. Motores <i>Stirling</i>	13
3.3. Ciclo de <i>Brayton</i>	15
3.4. Ciclo de <i>Rankine</i>	16
3.5. Células de combustível.....	18
4. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO	21
4.1. Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro.....	22
4.2. Decreto-Lei nº 118-A/2010 de 25 de Outubro	24
III. SISTEMAS DE MICRO-COGERAÇÃO COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	25
1. CICLOS. COMBUSTÍVEIS	25
1.1. Motores de ignição por faísca (Ciclo Otto)	26
1.2. Motores de ignição por compressão (Ciclo Diesel)	27
1.3. Tipos de Combustíveis	28
2. DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE MICRO-COGERAÇÃO COM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	32
2.1. Descrição geral do sistema	32
2.2. Componentes da instalação	33
2.2.1. Motor de Combustão Interna	33
2.2.2. Inversor de corrente (a utilizar quando necessário)	34
2.2.3. Depósito de Inércia	35
2.2.4. Radiadores e Toalheiros.....	36

3.	IMPACTE AMBIENTAL	37
IV.	ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICRO- COGERAÇÃO A UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR	39
1.	NECESSIDADES DE ENERGIA TÉRMICA DE AQUECIMENTO NO EDIFÍCIO CONSIDERADO.	39
2.	DIMENSIONAMENTO E SELECÇÃO DO EQUIPAMENTO	40
2.1.	Cálculo das Necessidades Térmicas de Aquecimento	40
2.1.1	Descrição da Instalação	42
2.1.2	Equipamento Utilizado	44
2.1.2.1	Motor Dachs Mini-CHP	44
2.1.2.2	Caldeira Vulcano Lifestar ZW 24-2 DH AE23	45
2.1.2.3	Colectores solares Vulcano PremiumSun FKT – 1S	46
2.1.2.4	Depósito Vulcano SK-300-1	47
2.1.2.5	Radiadores e toalheiros Vulcano	47
2.1.3	Acessórios Utilizados	49
3.	MODO DE FUNCIONAMENTO DA INSTALAÇÃO	51
4.	RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA	53
V.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	55
VI.	BIBLIOGRAFIA	57
VII.	ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Produção combinada vs. Produção separada de calor e electricidade	5
Figura 2 – Consumo bruto de energia eléctrica em Portugal	6
Figura 3 – Energia eléctrica produzida por cogeração na UE	7
Figura 4 – Produção de energia eléctrica na Europa	7
Figura 5 – Emissões de CO ₂ : Solução convencional vs. Cogeração	8
Figura 6 - Funcionamento de um sistema de micro-cogeração com um MCI	12
Figura 7 - Funcionamento de um Motor <i>Stirling</i>	14
Figura 8 – Turbina de gás para aplicações em unidades de micro-cogeração.....	15
Figura 9 – Ciclo de Bryton e o respectivo diagrama T-s	16
Figura 10- Ciclo de <i>Rankine</i> simples e respectivo diagrama T-s	17
Figura 11 - Funcionamento da célula de combustível.....	26
Figura 13 - Funcionamento do motor de ignição por faísca a 4 tempos	27
Figura 14 - Funcionamento do motor de ignição por compressão a 4 tempos.....	28
Figura 15 - Processo de destilação do petróleo	29
Figura 16 – Mapa de distribuição da rede de gás natural em território nacional	31
Figura 17 – Exemplo de um esquema de uma montagem de um sistema de micro-cogeração	33
Figura 18 – Exemplo de um motor de combustão interna utilizado para micro-cogeração.....	34
Figura 19- Exemplo da função de um Inversor DC-AC	35
Figura 20 – Depósito acumulador Vulcano.....	36
Figura 21 – Radiador e Toalheiro	37
Figura 22 – Edifício residencial em estudo (Fachada principal) – Representação 3D do CYPE.....	40
Figura 23 – Edifício residencial em estudo (Traseiras) – Representação 3D do CYPE	40
Figura 24 – Plantas da residência (cave, rés-do-chão e primeiro andar respectivamente).....	41

Figura 25 – Esquema ilustrativo da Instalação de Aquecimento e AQS	43
Figura 26 – Esquema ilustrativo da instalação eléctrica.....	44
Figura 27 – Características do Motor Dachs mini-CHP	45
Figura 28 – Características da válvula TK2	49
Figura 29 – Recuperação de Energia Térmica.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características principais dos diversos tipos de pilhas de combustível	20
Tabela 2 – Constituintes da gasolina.....	29
Tabela 3 – Constituintes do gasóleo.....	30
Tabela 4 - Constituição do gás natural comercializado em Portugal.	30
Tabela 5 - Carga Térmica de Aquecimento.....	42
Tabela 6 – Características da Caldeira Vulcano	46
Tabela 7 – Características Colector Solar	46
Tabela 8 – Características do depósito SK 300-1.....	47
Tabela 9 – Cálculo do número de elementos dos radiadores (Modelo EL600)	48
Tabela 10 – Cálculo do número de elementos dos toalheiros (Modelo JA 1740/550).....	49
Tabela 11 – Diâmetros Normalizados	51
Tabela 12 – Bombas seleccionadas	51

SIMBOLOGIA, SIGLAS E ABREVIATURAS

SIMBOLOGIA

A - Área.....	[m ²]
d - Diâmetro.....	[mm]
P - Potência.....	[W]
Q _g - Caudal de gás.....	[m ³ /h]
Q _a - Caudal de água.....	[l/min]
u - Velocidade.....	[m/s]
d _n - Diâmetro normalizado.....	[mm]
H - Altura manométrica.....	[mca]

SIGLAS E ABREVIATURAS

AFC - *Alkaline Fuel Cell*

AQS – Águas Quentes Sanitárias

BT – Baixa Tensão

CE – Comunidade Europeia

CHP – Combined Heat Power

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto de Lei

H – Hidrogénio

H₂O - Água

MCFC - *Molten Carbonate Fuel Cell*

MCHP – *Micro Combined Heat and Power*

MCI – Motor de Combustão Interna

NO_x - Óxidos de Azoto

O₂ – Oxigénio

°C – Graus Celcius

PAFC - *Phosphoric Acid Fuel Cell*

PANEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PEM - *Proton Exchange Membrane*

REN – Rede Energética Nacional

RESP – Rede Eléctrica de Serviço Público

SEI – Sistema Eléctrico Independente

SEP – Sistema Eléctrico de Serviço Publico

SOFC - *Solid Oxid Fuel Cell*

SO_x – Óxidos de Enxofre

SRM – Sistema de Registo de Microprodução

UE – União Europeia

I. INTRODUÇÃO

1. ENQUADRAMENTO DO TEMA DO PROJECTO

A energia desempenha um papel fundamental na sociedade, sendo que a economia e o desenvolvimento de um país estão directamente ligados a esta. Cada vez mais, a crescente ascensão dos preços dos combustíveis fósseis, derivados à sua insuficiência, aumentam a preocupação, não só do cidadão comum, mas também por parte do Sector Empresarial e do Governo. A estes factores juntam-se as inúmeras degradações do meio ambiente verificadas por todo o globo terrestre.

Considerando que Portugal não possui actualmente qualquer tipo de recurso energético fóssil cuja exploração seja rentável, - o país importa a maioria da energia que consome, ou seja, Portugal possui uma dependência energética do exterior, cerca de 73,9% em 2011 (DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia) - há a necessidade de criar novas formas de produção de energia para diminuir esta dependência energética.

Nos dias que correm, é cada vez mais comum ouvirmos falar nas novas tecnologias de produção combinada de energia térmica e eléctrica, pois a aposta nestas tem vindo a sofrer um enorme aumento, influenciado pelos preços da produção de cada uma individualmente. Contudo, este não é o único factor que impulsiona a decisão de apostar nessas tecnologias. As preocupações com a vulnerabilidade do sistema energético, bem como os possíveis cenários catastróficos que o planeta sofrerá, caso não sejam reforçadas as medidas de conservação da sustentabilidade ambiental, assumem-se, igualmente, como factores de decisão. Assim, a produção combinada destas energias, através de instalações de pequena e grande potência, complementada, se possível com energias renováveis, pode contribuir para a alteração do panorama descrito.

A micro-cogeração de energia é um tipo de produção descentralizada de electricidade, com uma rentabilidade e eficiência elevadas, que aposta numa abordagem integrada do serviço energético junto do consumidor final, contribuindo assim 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 em fase de desenvolvimento ou são ainda protótipos (Lobo, 2009).

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.

2. OBJECTIVOS DO PROJECTO

Pretende-se realizar o projecto da instalação de um equipamento de micro-cogeração com motor de combustão interna num determinado edifício – habitação unifamiliar, para suprir as suas necessidades energéticas em termos de água quente sanitária e de aquecimento central. O projecto deverá contemplar a possibilidade de se aplicar, ou não, colectores solares térmicos para o aquecimento das águas quentes sanitárias.

O projecto deverá incluir a descrição pormenorizada da constituição e funcionamento da instalação de micro-cogeração, da sua interacção com os sistemas de aquecimento central e AQS, a determinação das necessidades energéticas de aquecimento ambiente e AQS, o dimensionamento e selecção do equipamento de micro-cogeração, do depósito de inércia e das redes de água quente, os dispositivos de medição, controlo e segurança, o esquema completo com lista de materiais e o desenho de implementação dos equipamentos.

Finalmente, o projecto deverá ainda referir a legislação aplicável, salientando as suas implicações no mesmo.

3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente projecto encontra-se dividido em sete capítulos, que e descrevem em seguida.

No capítulo I é apresentada a introdução do relatório, onde é feita referência ao enquadramento do tema, objectivos e a estrutura do projecto.

Apresenta-se no capítulo II – **Cogeração e micro-geração**, uma revisão bibliográfica de todos os sistemas existentes. Este é articulado de modo a fazer a comparação entre todos os sistemas de micro-cogeração estudados, fazendo a sua descrição e comparando as vantagens e desvantagens entre eles.

O capítulo III – **Sistemas de micro-cogeração com motores de combustão interna**, aborda o funcionamento e a constituição dos motores de combustão interna, bem como os ciclos de funcionamento dos mesmos. Neste capítulo, expõem-se os combustíveis utilizados e faz-se uma breve descrição de um funcionamento de um sistema de micro-cogeração com um motor de combustão interna.

Apesar de todos os capítulos serem fundamentais para a compreensão deste projecto, é necessário referir que o principal é o capítulo IV - **Micro-geração no sector residencial**, pois é neste que se efectuam os cálculos das necessidades térmicas, dimensionamento, selecção e explicação de todas medidas adoptadas para um bom funcionamento do sistema instalado.

No capítulo V há lugar para as conclusões finais do projecto, bem como as propostas para desenvolvimentos futuros.

No penúltimo capítulo constam as referências bibliográficas utilizadas.

A documentação usada para selecção de materiais e equipamentos, para o cálculo, bem como os relatórios elaborados pelos *softwares* utilizados para o desenvolvimento deste projecto podem ser consultados no último capítulo deste projecto, capítulo VII – **Anexos**.

Importa também referenciar que todo este trabalho encontra-se escrito ao abrigo do antigo acordo ortográfico.

II. COGERAÇÃO E MICRO-COGERAÇÃO

1. CONCEITO DE COGERAÇÃO

No funcionamento de centrais termoeléctricas 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 é 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, sendo que uma parte da energia e dos reagentes que não pode ser recuperada, é libertada e perdida no meio ambiente (Pereira, 2009).

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 que cogeração é “ (...) o processo de produção combinada de energia eléctrica e térmica, destinando-se ambas a consumo próprio ou de terceiros, com respeito pelas condições previstas na lei (...)” (Decreto-Lei 186, 1995).

Como é explicitado no Decreto-Lei, a cogeração combina a produção de calor útil e electricidade, permitindo um aproveitamento muito superior da energia térmica proveniente do combustível usado no processo. Esta é a grande distinção, entre a cogeração e os sistemas convencionais de produção de energia eléctrica e calor separadamente.

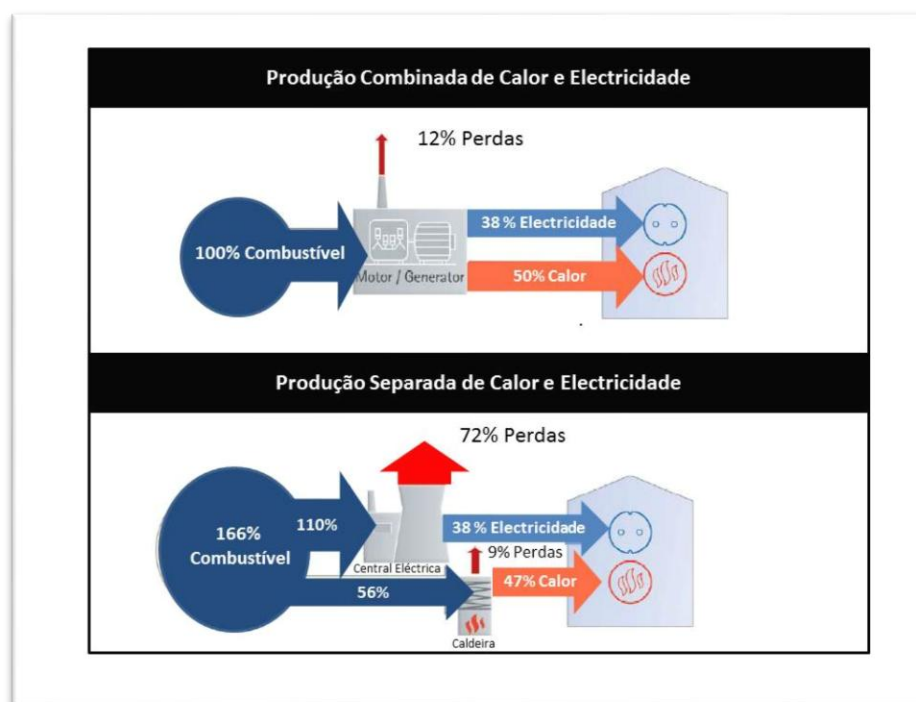


Figura 1- Produção combinada vs. Produção separada de calor e electricidade [Fonte: adaptado de PERCH, 2008]

Analisando a Figura 1, percebe-se logo que a aplicação deste conceito traduz uma grande redução no consumo de energia primária e um aumento no rendimento. Pode dizer-se que nas unidades convencionais de produção de energia eléctrica, aproximadamente 38% do potencial da energia contido no combustível são convertidos em electricidade, enquanto o restante é perdido na forma de calor. Além disto, as perdas adicionais associadas ao transporte e distribuição de electricidade desde a central eléctrica não são quantificadas. Estas perdas são mais elevadas quando a electricidade é distribuída aos pequenos consumidores. Mesmo as tecnologias mais avançadas não convertem mais de 55% do combustível em energia útil.

Através da utilização do calor a eficiência de um sistema de cogeração pode atingir mais de 90%, o que significa que apenas 10% do combustível consumido é perdido sob a forma de calor. Além disso, como a electricidade gerada pelo sistema de cogeração, geralmente, é usada no local, as perdas associadas ao transporte e à distribuição da electricidade são praticamente desprezáveis. Deste modo, a cogeração oferece economias de energia entre os 15% e os 40% quando comparada com o fornecimento de electricidade e calor das centrais eléctricas e das caldeiras [PERCH, 2008].

Na actual conjuntura vivida em Portugal, cada vez mais as fontes associadas à produção de energia eléctrica são provenientes das energias renováveis (eólica, hídrica, solar, entre outras...). Com os avanços tecnológicos e as crescentes exigências de conforto, o consumo de energia eléctrica (Figura 2) tem vindo a aumentar ano após ano e tem sido acompanhado por um incremento da auto produção de energia eléctrica que vende o excedente dessa mesma produção para o abastecimento da rede pública.

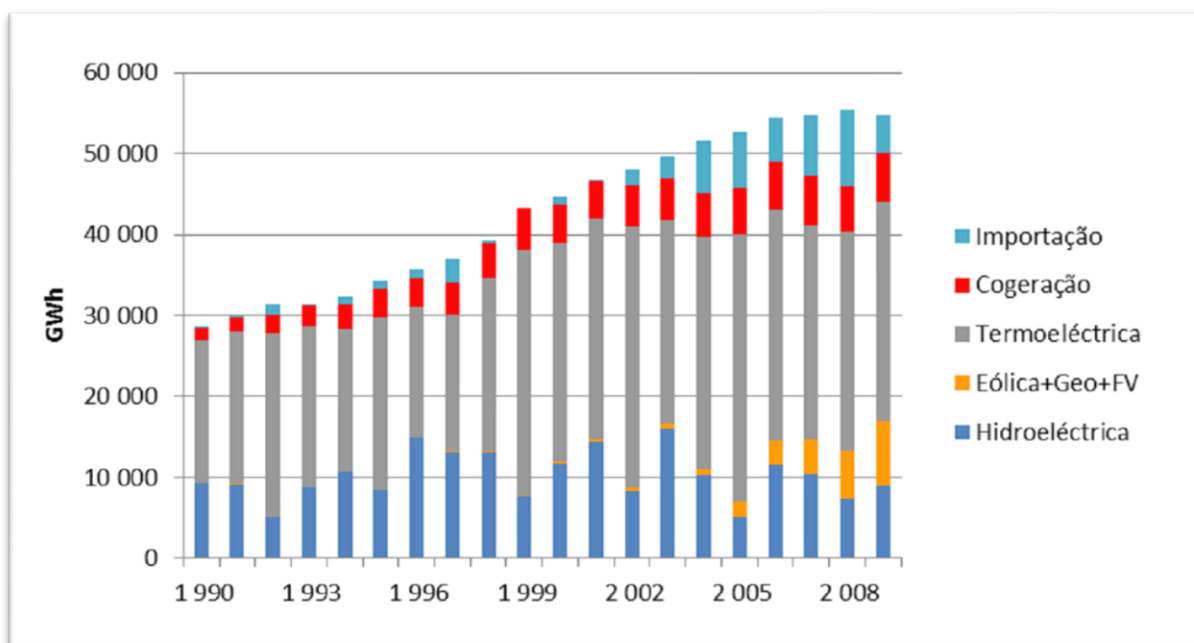


Figura 2 – Consumo bruto de energia eléctrica em Portugal [Fonte: Cogen Portugal]

Perante esta situação de um grande aumento do consumo de energia eléctrica em Portugal e também na União Europeia, houve a necessidade de incentivar novos produtores de energia eléctrica, e criar a respectiva legislação. Incentivou-se também à produção combinada de energia eléctrica e calor útil que resultou na instalação de múltiplas unidades de cogeração.

Numa visão mais alargada na União Europeia, a produção de energia eléctrica combinada com calor está em constante ascensão, havendo cada vez mais incentivos para a instalação de unidades de cogeração. Analisando as Figura 3 e Figura 4 podemos constatar que a Dinamarca é o país que produz mais energia eléctrica a partir de cogeração, e que Portugal, até ao ano de 2007, ocupava a décima segunda posição com cerca de 11% de energia eléctrica produzida por cogeração.

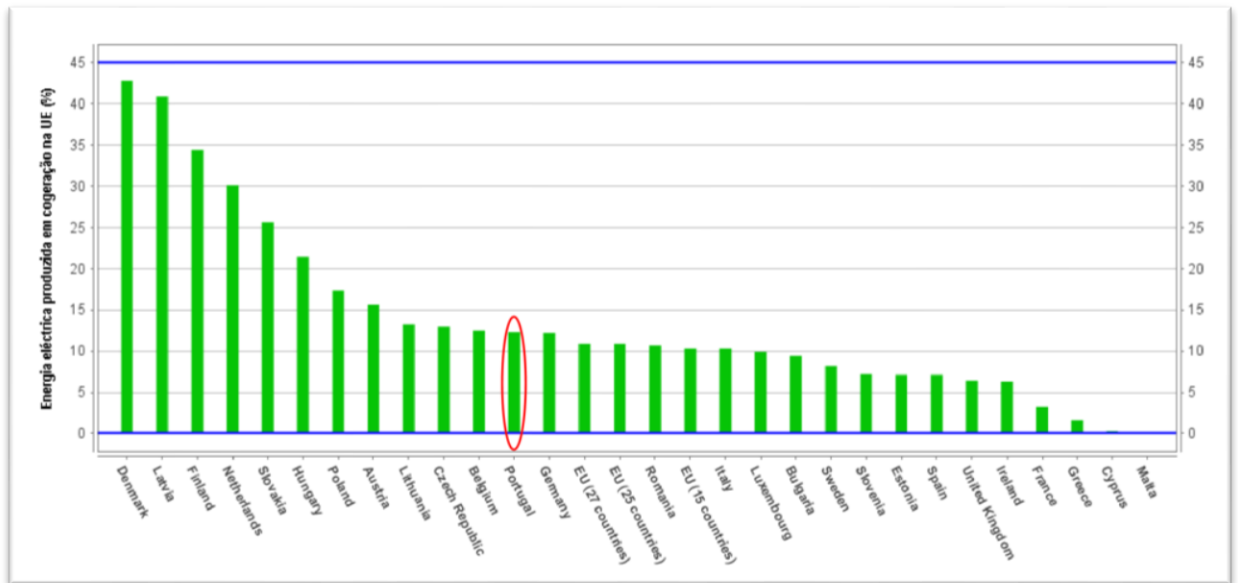


Figura 3 – Energia eléctrica produzida por cogeração na UE [Fonte: Eurostat, 2007]

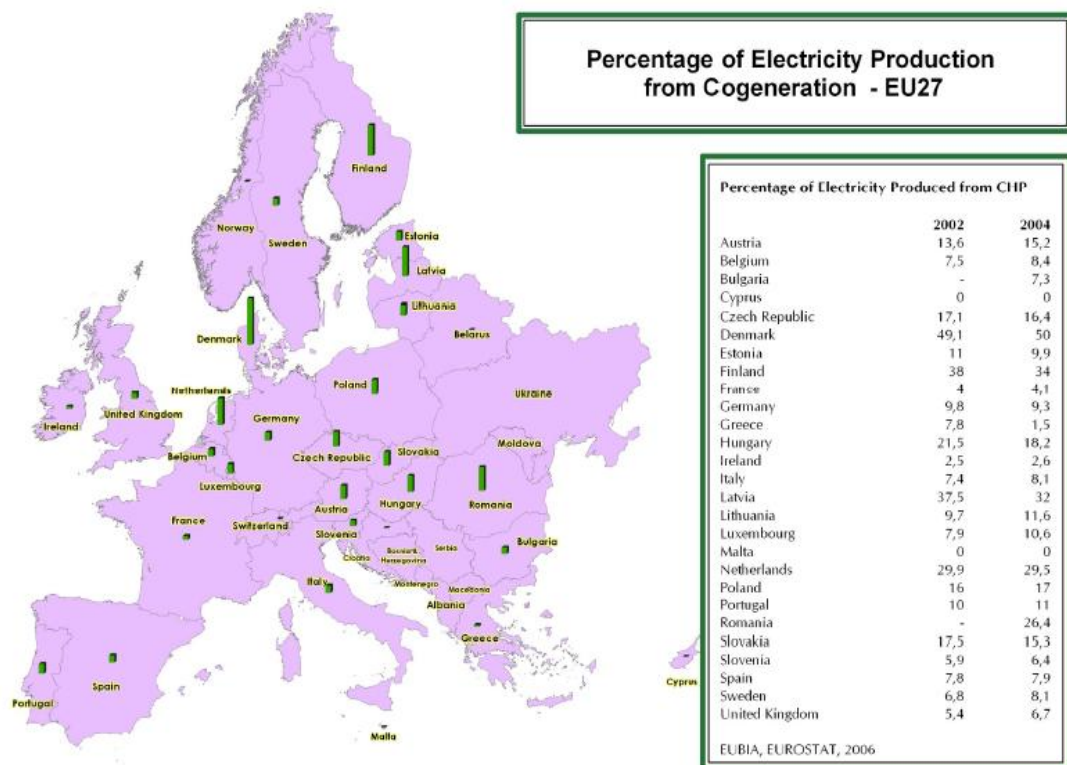


Figura 4 – Produção de energia eléctrica na Europa [Fonte: errec.org]

O mapa da Figura 4 mostra a percentagem de electricidade produzida na Europa por cogeração em 2004. Na maior parte da Europa Ocidental, há um grande potencial para

aplicações em residências e empresas. Devido ao clima mais quente, a parte sul da Europa exige menos aquecimento em geral, portanto, o potencial é menor do que no norte (Eurostat, 2007).

2. VANTAGENS DA COGERAÇÃO RELATIVAMENTE ÀS TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS

Graças à elevada eficiência energética da cogeração e da micro-cogeração, estas apresentam-se como uma alternativa, que permite a redução da factura energética de utilizadores com necessidades simultâneas de calor e electricidade. O aspecto ambiental é também de realçar, uma vez que, os sistemas de cogeração, permitem uma redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera e uma poupança no consumo de combustíveis fósseis (Figura 5).

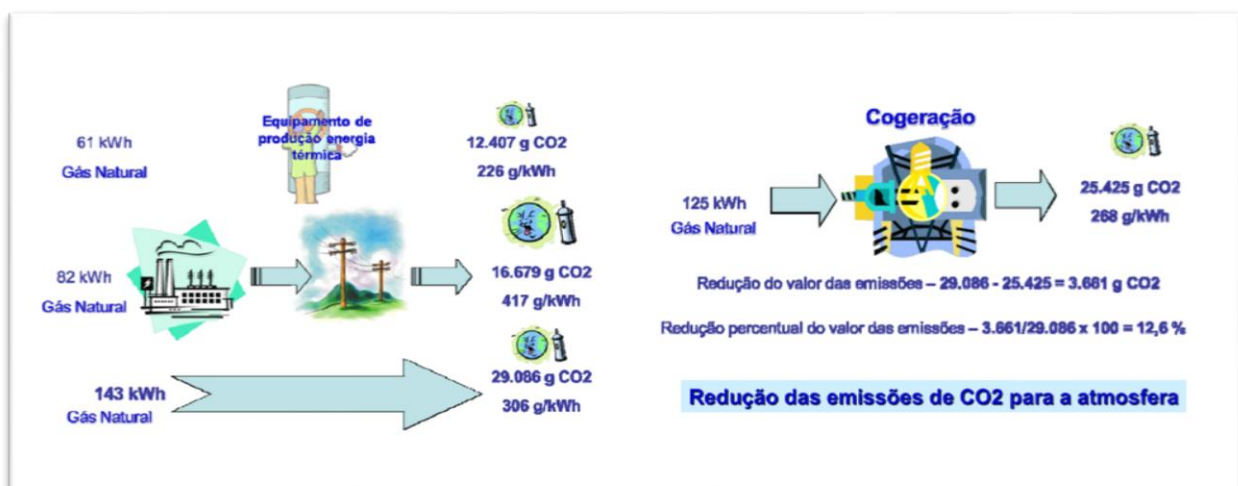


Figura 5 – Emissões de CO₂: Solução convencional vs. Cogeração [Fonte: Cogen Portugal]

De forma sucinta, podem ser apresentadas as seguintes vantagens da micro-cogeração (Pinho, 2009):

- Economia de energia primária – permite a poupança (utilização eficiente) de combustível devido à produção simultânea de calor e electricidade;
- Redução global da emissão de gases poluentes para a atmosfera;

- Diminuição dos custos da energia eléctrica – devido à descentralização das centrais de cogeração e aos custos reduzidos, relativamente aos processos convencionais de produção de energia;
- Redução das perdas associadas ao transporte da energia eléctrica;
- Taxas de retorno atractivas, tendo em consideração os apoios governamentais;
- Redução da potência de reserva disponível por parte das companhias de electricidade;
- Melhoria na gestão da energia eléctrica por parte das entidades reguladoras.

2.1. Micro-cogeração

A preservação do meio ambiente e a eficiência energética constituem-se actualmente como os principais objectivos no desenvolvimento da geração de energia eléctrica. Cada vez mais, a produção descentralizada de energia, como por exemplo, a micro-cogeração, impõe-se como uma solução para o futuro.

O conceito de micro-cogeração, também conhecido como *Micro Combined Heat and Power* (MCHP) tem vindo a ganhar impacto nos últimos anos. No entanto, o desenvolvimento desta tecnologia remonta aos séculos XVIII e XIX, com o desenvolvimento do motor *Stirling* (Gomes, 2009).

Entende-se por micro-cogeração a produção descentralizada de energia mecânica e/ou eléctrica e calor em simultâneo indicado para uso residencial ou no sector dos pequenos serviços. É uma técnica utilizada de modo isolado, ou seja, são aplicações de menor potência, que podem utilizar toda a energia eléctrica ou fornecer o excedente para a rede pública, e ainda é aproveitado todo o calor gerado na produção desta mesma electricidade. Isto quer dizer que os sistemas tradicionais de aquecimento são substituídos por geradores eléctricos equipados com permutadores de calor, de forma a recuperar o calor rejeitado. O calor produzido é geralmente utilizado para aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS) e aquecimento central.

Não obstante as tecnologias de micro-cogeração possuírem inequívocas vantagens ambientais e energéticas, a sua introdução no mercado português tem sido praticamente nula. O elevado

preço de aquisição, por sua vez associado à falta de benefícios fiscais ou à ausência de tarifas de gás natural especiais, podem assumir-se como razões explicativas para tal facto.

Nos últimos anos, com os avanços tecnológicos no campo da energia, impulsionados pelos custos dos combustíveis, associados à preocupação com as questões ambientais, tem havido um maior interesse na produção descentralizada. Segundo a Agência Internacional de Energia (2002), citado por Gomes (2009), os principais factores por trás desta tendência são:

- A liberalização do mercado energético;
- O desenvolvimento de tecnologias de produção de energia em pequena escala;
- As dificuldades encontradas na construção de novas redes de transmissão;
- O aumento do número de clientes que procuram electricidade com elevada fiabilidade;
- As preocupações com questões ambientais relacionadas com as alterações climáticas.

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

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

3. TECNOLOGIAS DE MICRO-COGERAÇÃO: COMPARAÇÃO

Para se iniciar a produção de electricidade e calor no local de consumo, existem inúmeras tecnologias no mercado, podendo-se optar por uma ou por várias, sendo a escolha determinada pela eficiência e também pelo custo associado.

Dentro das tecnologias existentes para aplicação no sector residencial destacam-se:

- Micro-cogeração;
 - Motores de combustão alternativos;
 - Motores *Stirling*;
 - Ciclo de Brayton
 - Ciclo de Rankine
 - Pilhas de combustível

3.1. Motores de combustão alternativos

É uma tecnologia que recorre aos convencionais Motores de Combustão Interna, adiante designados por MCI, comparáveis aos usados nos automóveis. Para aplicações em micro-cogeração (< 15kWe) usam-se tipicamente motores a funcionar segundo o ciclo Otto. Nestes motores, um combustível, como por exemplo o gás natural, é misturado com o ar e comprimido num cilindro sendo a ignição da mistura induzida por uma faísca externa. A energia mecânica resultante da combustão é então usada para gerar electricidade através de um gerador eléctrico. O calor da exaustão dos gases e circuito de arrefecimento do motor é aproveitado por permutadores de calor para os sistemas de aquecimento.

Os motores Diesel a quatro tempos também são usados em unidades de micro-cogeração, apresentando uma razão electricidade/calor superior aos motores Otto, e operam numa gama mais alargada de potências que vai dos 5 kWe até aos 10 MWe. Nos últimos anos tem-se assistido a uma tendência para usar biodiesel como combustível, principalmente em países com maior “sensibilidade ecológica”, dada a sua excelente biodegradabilidade, baixa toxicidade e também bons valores de rendimento. Os MCI operam com menor excesso de ar, o que conduz a temperaturas de combustão mais elevadas e, conseqüentemente, ao aparecimento de NO_x devido à oxidação do nitrogénio contido no ar.

O rendimento eléctrico dos sistemas de micro-cogeração com MCI, depende fortemente da potência eléctrica (dimensão) do sistema. Para sistemas abaixo de 15 kWe o rendimento eléctrico geralmente não excede os 26%.

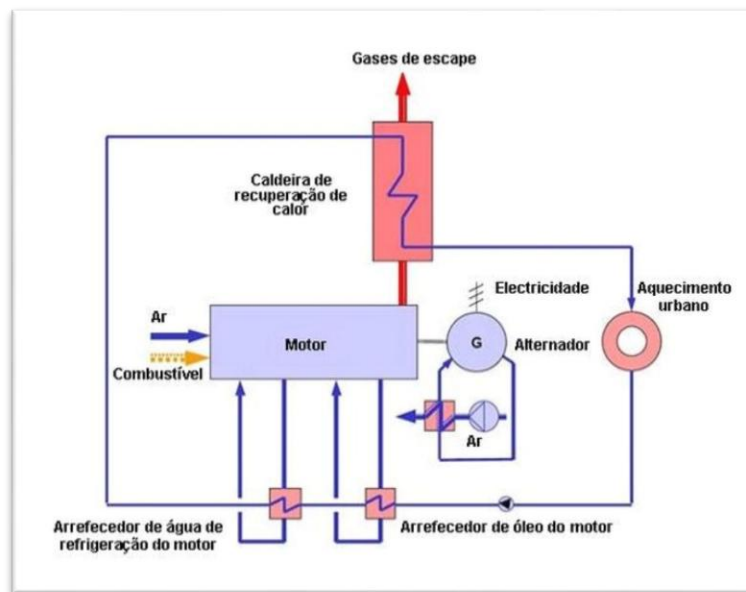


Figura 6 - Funcionamento de um sistema de micro-cogeração com um MCI [Fonte: Cogen Portugal]

As vantagens e desvantagens mais importantes dos motores alternativos são:

Vantagens:

- Arranque rápido;
- Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- Elevada eficiência mecânica.

Desvantagens:

- Tempo de vida útil curto;
- Baixo rendimento térmico;
- Elevados custos de manutenção devidos às paragens frequentes;
- Ruído.

3.2. Motores *Stirling*

Neste motor, inventado e patenteado por *Robert Stirling* em 1816 na Escócia, a combustão, ao contrário dos motores convencionais, MCI, tem lugar numa câmara de combustão separada, ou seja, externamente. O fluido de trabalho, podendo ser hélio, hidrogénio ou azoto, é movido por um pistão entre duas câmaras distintas: uma câmara a alta temperatura e outra a muito baixa temperatura. Aquecido pela fonte externa (câmara de combustão), o fluido de trabalho (gás) expande-se e provoca o movimento de um dos pistões no interior de um cilindro. Este pistão é denominado por “pistão de trabalho”, enquanto, o segundo pistão, designado “pistão de deslocamento”, movimenta o gás para uma zona arrefecida onde é recomprimido pelo pistão de trabalho. O pistão de deslocamento transfere depois o gás comprimido para a câmara de altas temperaturas e o ciclo continua (Oliveira, 2008). Deste modo, não ocorre troca de massa de fluido com o exterior como ocorre num motor convencional de combustão interna.

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

Uma das fontes de calor de motores *Stirling* pode ser a queima de um combustível. Tendo em conta que os produtos da combustão neste tipo de sistema não se misturam com o fluido de trabalho ou com as partes móveis do mesmo, não há desgaste das partes móveis. Os motores *Stirling* podem utilizar combustíveis que danificariam motores de combustão interna (como o biogás de aterros). Entre outros tipos de fontes de calor adequados para motores *Stirling*, encontram-se também a energia solar, a energia geotérmica, a energia nuclear e a energia residual (gerada por unidades de cogeração).

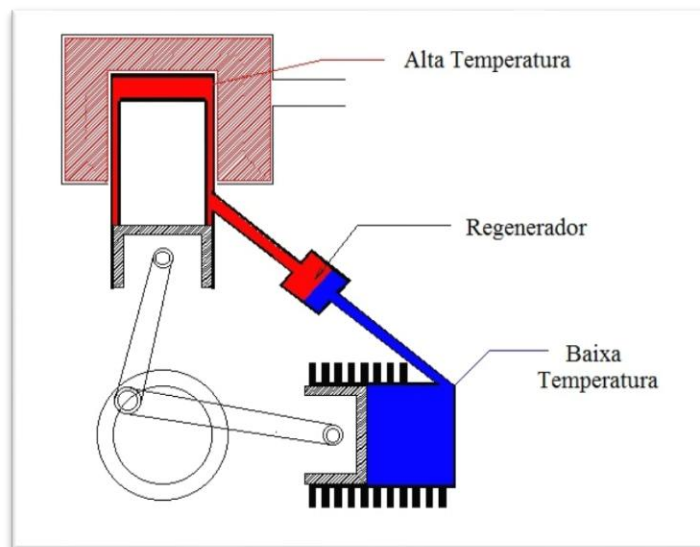


Figura 7 - Funcionamento de um Motor *Stirling* [Fonte: adaptado de: personales.able.es]

Em termos de vantagens e desvantagens principais desta tecnologia, tem-se:

Vantagens:

- Tem menos partes móveis que outros tipos de motores;
- A sua câmara de combustão é externa, o que permite uma exaustão limpa (pouco poluente);
- Pode utilizar praticamente qualquer tipo de combustível;
- Permite o controlo fácil do trabalho gerado;
- Não emite ruído.

Desvantagens:

- Custo elevado;
- Rendimento eléctrico relativamente baixo (variável com o tipo de modelo).

3.3. Ciclo de *Brayton*

O ciclo de *Brayton* foi proposto por *George Brayton* para ser utilizado no motor alternativo desenvolvido por ele em 1870. Hoje, é apenas usado nas turbinas a gás, em que os processos de compressão e expansão ocorrem em componentes rotativos. Este é o ciclo pelo qual operam as micro-turbinas a gás. Estas são pequenas turbinas pertencentes ao grupo das turbomáquinas com uma potência eléctrica de até 300 kW. São caracterizadas por velocidades de rotação bastante elevadas que, em grupos de cogeração de maior dimensão, integram redutores mecânicos de velocidades (vulgo caixa de redução), para permitir o acoplamento ao alternador, cuja velocidade de rotação é condicionada pela frequência da rede.

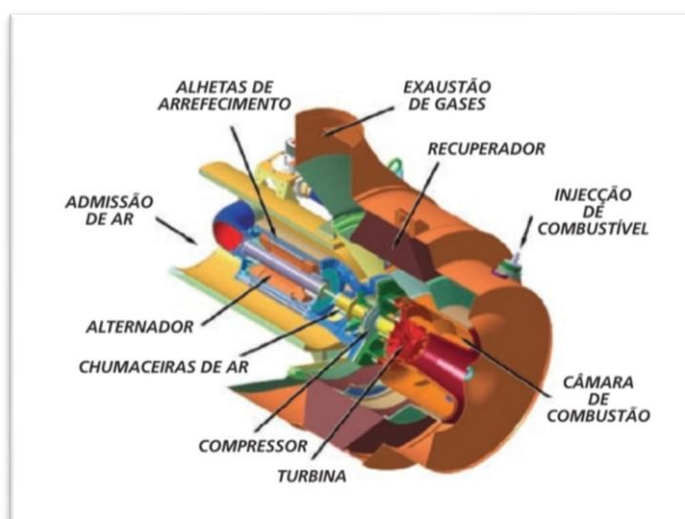


Figura 8 – Turbina de gás para aplicações em unidades de micro-cogeração [Fonte: Capstone]

As turbinas de gás utilizadas em unidades de micro-cogeração, como a que se encontram na Figura 8, excluem a utilização de um redutor de velocidade e encontram-se directamente acopladas ao rotor do alternador que accionam. Nestes casos a frequência de sincronismo para realizar o paralelo com a rede com recurso a electrónica de potência adequada (CogenPortugal).

De forma a aumentar o seu rendimento eléctrico são equipadas com um recuperador (regenerador) de calor que permite aproveitar calor presente nos gases de escape.

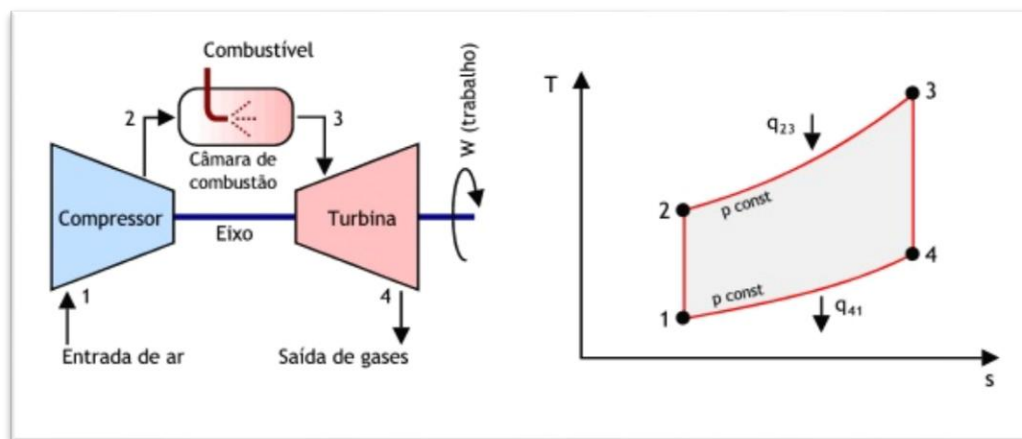


Figura 9 – Ciclo de Bryton e o respectivo diagrama T-s [Fonte: Çengel Y. et al]

Algumas vantagens e desvantagens das micro-turbinas são:

Vantagens:

- Bom rendimento global;
- Peso e dimensão reduzido;
- Grande fiabilidade.

Desvantagens:

- Actualmente apenas existe para potências superiores a 15 kW;
- Custo de aquisição muito elevado;

3.4. Ciclo de Rankine

A conversão de energia térmica em energia eléctrica ou mecânica com recurso à utilização de turbinas de vapor processa-se segundo o designado ciclo de Rankine. De acordo com este ciclo termodinâmico, a produção de vapor realiza-se numa caldeira que poderá queimar um combustível (carvão, gás natural, etc.) ou então recuperar calor de um processo industrial ou

ainda aproveitar o calor contido nos gases de escape de uma turbina de gás, tal como acontece nas designadas centrais de ciclo combinado.

O vapor a alta pressão e temperatura (normalmente sobreaquecido) é expandido numa turbina de vapor, produzindo trabalho mecânico, que pode ser convertido em energia eléctrica por accionamento de um alternador. A expansão realiza-se até pressões muito baixas (algumas dezenas de milibares) a que correspondem temperaturas de saturação inferiores a 40°C. O vapor à saída da turbina é condensado no condensador, que é mantido a uma pressão inferior à atmosférica, com recurso a bombas de vácuo e arrefecido por um circuito de água que permuta calor com a fonte fria (mar, rio, atmosfera). O condensado assim obtido é bombeado através de uma bomba de alimentação da caldeira, reiniciando-se o ciclo.

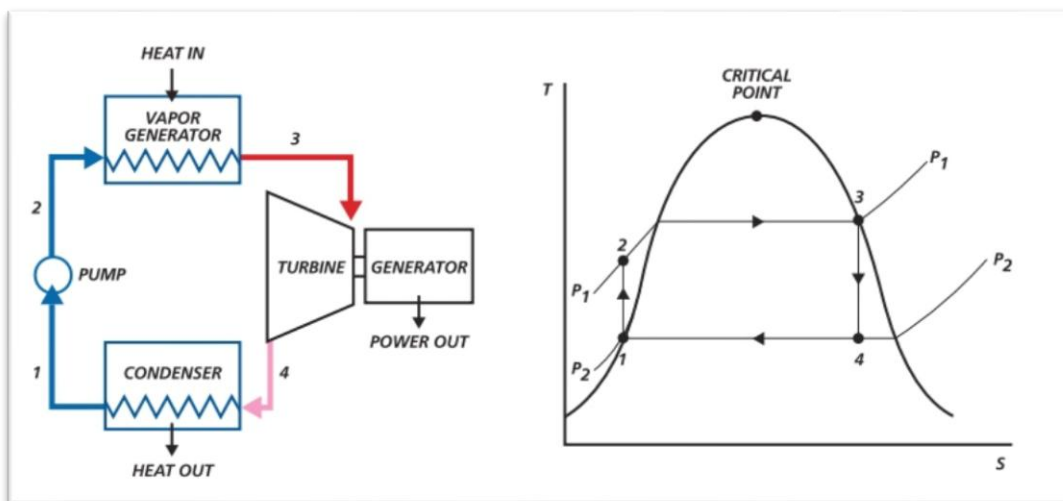


Figura 10- Ciclo de *Rankine* simples e respectivo diagrama T-s [Fonte: Cogen Portugal]

As grandes vantagens e desvantagens do ciclo de *Rankine* são:

Vantagens:

- Elevado rendimento do ciclo termodinâmico;
- Rendimento isentrópico muito elevado da turbina ($\approx 90\%$);
- Baixa rotação da turbina o que permite o accionamento directo do alternador sem recurso a caixas de redução de velocidade.

Desvantagens:

- Custo Inicial;

3.5. Células de combustível

Uma célula de combustível é um dispositivo electroquímico, o qual converte a energia química do combustível em energia eléctrica directamente, sem etapas intermédias de combustão e produção do trabalho mecânico.

A conversão directa da energia química de um combustível em energia eléctrica por uma célula de combustível de hidrogénio e oxigénio foi alcançado pela primeira vez em 1839 por *William Grove*, em Londres. As células de combustível são ainda consideradas como uma tecnologia emergente e muito promissora, tanto para a geração de electricidade como para a cogeração.

No caso mais simples, a célula de combustível consiste num ânodo e num cátodo revestidos por uma camada catalisadora e separados por um electrólito. O ânodo é alimentado pelo combustível, enquanto o cátodo é alimentado pelo oxidante. Quando o combustível é o hidrogénio molecular as reacções electroquímicas que ocorrem são as seguintes:

- Ânodo: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- Cátodo: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Os electrões libertados (Figura 11) pela separação das moléculas de hidrogénio no ânodo são conduzidos para o cátodo através de um circuito externo, originando uma corrente eléctrica contínua. Os iões positivos (neste caso protões) são transferidos para o cátodo através do electrólito, onde se associam às moléculas de oxigénio formando moléculas de água (CETTA, 2002).

A velocidade da reacção depende do electrólito e do material catalisador utilizado para revestir as superfícies do ânodo e do cátodo. A reacção pode dar-se de forma mais intensa

aquecendo o processo e, deste modo, aumentando a temperatura a que este ocorre (Alanne et al., 2004).

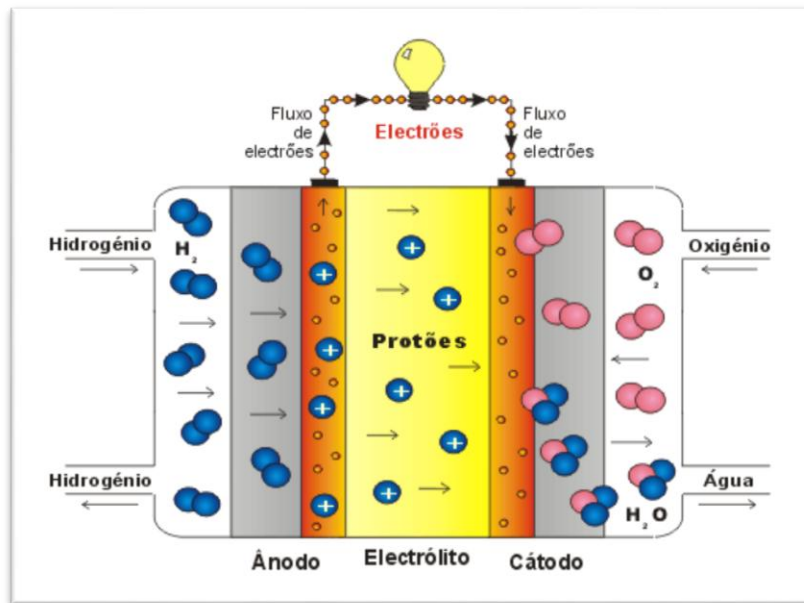


Figura 11 - Funcionamento da célula de combustível [Fonte: celulasdecombustivel.planetaclix.pt]

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

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

Na tabela 2 estão expostas a características principais dos diversos tipos de células de combustível acima descritos, que são utilizados para micro-cogeração.

Tabela 1 - Características principais dos diversos tipos de pilhas de combustível

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

[Fonte: Arthur D. Little Inc. e SULZER HEXIS - “Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications”]

As células de combustível para aplicação em micro-cogeração são baseadas na tecnologia PEMFC (*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*) usando uma membrana fina como electrólito e operando a temperaturas de cerca de 80° C, ou na tecnologia SOFC (*Solid Oxide Fuel Cells*) que são células de alta temperatura operando a 800°C.

As grandes vantagens e desvantagens das células de combustível são:

Vantagens:

- Rendimento eléctrico elevado;
- Emissões de poluentes muito reduzidas;
- Não emitem ruído.

Desvantagens:

- Custo muito elevado;
- Baixo rendimento térmico;
- Baixo potencial de cogeração;
- Dificuldade na obtenção de hidrogénio para o processo químico;
- Instalações muito sensíveis (baixa robustez).

4. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

A legislação pelo qual se regula a micro-cogeração é a seguinte:

- Decreto-Lei n.º 68/2002. DR 71 SÉRIE I-A de 25 Março;
- Directiva 2004/8/CE do Parlamento e do Conselho Europeu;
- Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro;
- Decreto-Lei n.º 23/2010 de 25 de Março;
- Decreto-Lei n.º 118-A/2010 de 25 de Outubro;
- Lei n.º 19/2010 de 23 de Agosto;
- Decreto-Lei 25/2013 de 19 de Fevereiro.

Apesar do DL 363/2007 estar mais direccionado e explícito para a microprodução de energia eléctrica a partir de energias renováveis, a micro-cogeração a partir de energias convencionais, também é abrangida por este documento, uma vez que é igualmente considerada como microprodução.

A 25 de Outubro de 2010, é aprovado o Decreto-Lei 118-A/2010, que além de efectuar algumas alterações ao DL 363/2007, cria também condições para produzir mais electricidade em baixa tensão, de forma mais simples, mais transparente e em condições mais favoráveis.

4.1. Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro

Os aspectos regulamentares associados à microprodução estão definidos no DL 363/2007 que veio simplificar o regime de licenciamento existente, substituindo-o por um regime de registo simples, sujeito à inspecção de conformidade técnica.

Neste documento legislativo, o produtor tem direito a instalar um equipamento de micro-cogeração, com uma potência máxima de 50% da sua potência contratada, excepto para instalações eléctricas de utilização em nome de condomínios, e vender toda a energia produzida à Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP), desde que se encontre registado no Sistema de Registo da Microprodução (SRM). Este Sistema consiste numa plataforma electrónica de interacção entre os produtores e a Administração, destinado ao registo das unidades de microprodução, com informação do respectivo titular e instalador, sendo a DGEG o órgão responsável pela sua criação, manutenção e gestão. No âmbito deste decreto, apenas é remunerada a energia activa entregue à RESP de acordo com dois regimes remuneratórios:

- **Regime Geral**, aplicável a qualquer produtor-consumidor de baixa tensão que instale unidades de microprodução de electricidade monofásica com potência de ligação até 5,75 kW;
- **Regime Bonificado**, aplicável a produtores com unidades de microprodução com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem fontes de energia renováveis como solar, eólica, hídrica, cogeração a biomassa ou pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de microprodução renovável.

Um produtor que forneça electricidade à rede a partir de tecnologias de cogeração, está abrangido pelo Regime Geral de remuneração. De acordo com este regime, a tarifa de venda de electricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso do fornecimento à instalação de consumo.

Relativamente ao Regime Bonificado, este é aplicável aos produtores com unidades de micro-cogeração que utilizem as fontes de energia renovável descritas anteriormente, estando no entanto sujeitos às seguintes condições:

- No caso de unidades de cogeração a biomassa, desde que esta esteja integrada no aquecimento do edifício;
- No caso de unidades de microprodução que utilizem outras fontes de energia diferentes da prevista no ponto anterior, desde que estas disponham de colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com um mínimo de 2 m² de área de colector;
- No caso dos condomínios, desde que estes realizem uma auditoria energética ao edifício e que tenham implementado as medidas de eficiência energética identificadas na auditoria com um período de retorno até dois anos.

Ainda no âmbito do Regime Bonificado, cada produtor terá uma tarifa única garantida nos primeiros cinco anos após instalação, sendo a tarifa sucessivamente reduzida nos dez anos seguintes, ao fim do qual será aplicada a tarifa do Regime Geral de remuneração. O tarifário de referência é de € 650/MWh e depende do tipo de energia renovável utilizada, mediante a aplicação das seguintes percentagens:

- Solar: 100%
- Eólica: 70%
- Hídrica: 30%
- Cogeração a Biomassa: 30%
- Pilhas de combustível com base em hidrogénio proveniente de microprodução renovável: percentagem consoante o tipo de energia renovável utilizada para a produção de hidrogénio
- Combinação das fontes de energia: média ponderada das percentagens individuais aplicáveis utilizando como factor de ponderação os limites máximos de energia entregue à rede

4.2. Decreto-Lei nº 118-A/2010 de 25 de Outubro

O presente DL, aplica-se também à microprodução de electricidade e calor em cogeração a partir de recursos não renováveis, mediante a utilização de uma unidade ou instalação, em BT com potência de ligação até 5,75kW.

Outra grande alteração citada neste DL face ao DL nº 363/2007 é no Regime Bonificado, e expõe que a tarifa é aplicável durante um total de 15 anos, contados desde o 1.º dia do mês seguinte ao do início do fornecimento, subdivididos em dois períodos, os primeiros com a duração de 8 anos e o segundo com a duração dos subsequentes 7 anos. A tarifa de referência é fixada em € 400/MWh para o primeiro período, e em € 240/MWh para o segundo período, sendo o valor de ambas as tarifas sucessivamente reduzido anualmente em € 20/MWh. Na aplicação da tarifa, acrescenta 40% à co-geração não renovável na utilização da energia primária.

III. SISTEMAS DE MICRO-COGERAÇÃO COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

1. CICLOS. COMBUSTÍVEIS

Os Motores de Combustão Interna, MCI, enquadram-se no grupo das máquinas térmicas motoras, pois transformam energia calorífica em energia mecânica directamente utilizável. Os MCI podem funcionar segundo dois ciclos: o Ciclo Otto (ignição por faísca) ou ciclo Diesel (ignição por compressão).

Segundo Martins (2006), o MCI aproveita o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação à cambota. O motor é constituído por cilindros, dentro dos quais deslizam pistões ligados a uma biela e, por sua vez, à cambota. Se rodarmos a cambota, os pistões sobem e descem nos diversos cilindros. Inversamente, o pistão quando submetido a elevadas pressões faz rodar a cambota. Para que o movimento de rotação não pare, está acoplado um volante de inércia para acumular a energia cinética.

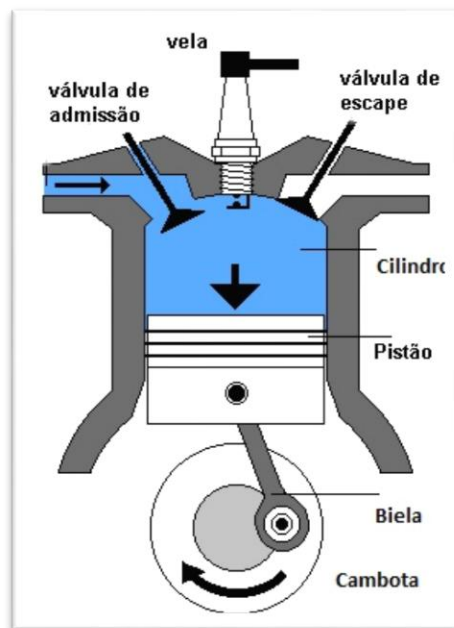


Figura 12- Constituição de motor [Fonte: portalsaofrancisco.com.br]

1.1. Motores de ignição por faísca (Ciclo Otto)

No motor a gasolina, a combustão inicia-se no interior dos cilindros através de uma descarga eléctrica de elevada tensão (faísca). Este tipo de motor funciona segundo um ciclo de quatro tempos sendo eles: admissão, compressão, expansão e escape.

Na **admissão**, o pistão faz o percurso descendente provocando uma depressão e com a válvula de admissão aberta faz com que a mistura vinda de um sistema de alimentação entre para dentro do cilindro. Na **compressão**, com ambas as válvulas fechadas, o pistão sobe, comprimindo os gases admitidos durante a admissão. Esta compressão vai aumentar a temperatura e a turbulência da mistura. Na **expansão**, no momento que o pistão chega ao fim do curso, uma faísca eléctrica é lançada através de uma vela na câmara de combustão, a mistura já aquecida e comprimida queima rapidamente, produzindo-se uma explosão que ocasiona o deslocamento do pistão para baixo. No **escape**, a válvula de escape abre e os gases queimados escoam-se a grande velocidade para o exterior, empurrados pelo pistão que, no seu movimento ascendente, faz a limpeza dos gases do interior do cilindro.

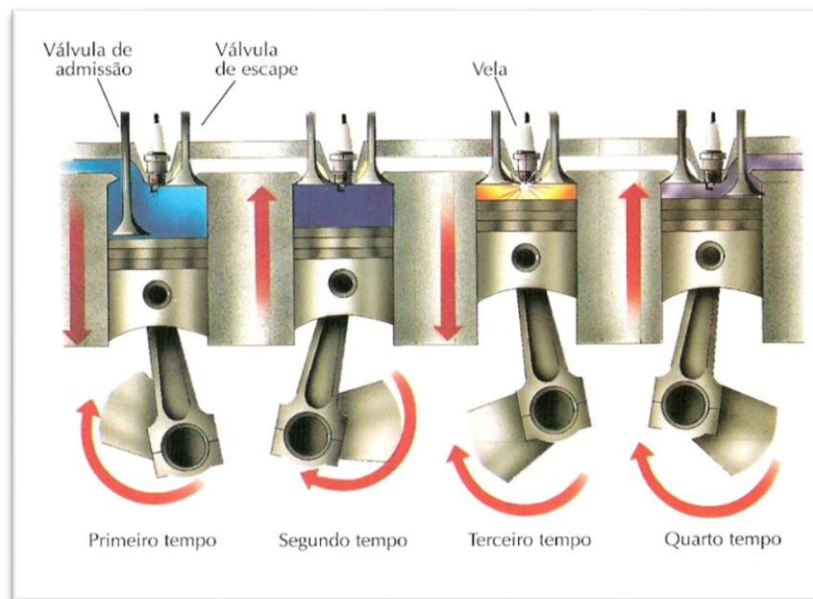


Figura 13 - Funcionamento do motor de ignição por faísca a 4 tempos [Fonte: mecanicomaniacos.blogspot.com]

1.2. Motores de ignição por compressão (Ciclo Diesel)

Este motor utiliza os mesmos componentes que o motor de ignição por faísca, mas o seu funcionamento é diferente. O ciclo é composto, à semelhança dos motores de ignição por faísca, por quatro tempos, sendo eles: admissão, compressão, expansão e escape.

Na **admissão**, a válvula de admissão encontra-se aberta admitindo ar puro para dentro do cilindro. Na **compressão**, com ambas as válvulas fechadas, o pistão comprime e aquece o ar puro introduzido na admissão. Na **expansão**, o combustível é injectado no interior do cilindro e, ao misturar-se com o ar, inflama-se espontaneamente dando origem à explosão. No **escape**, a válvula de escape abre permitindo que os gases queimados sejam descarregados para a atmosfera.

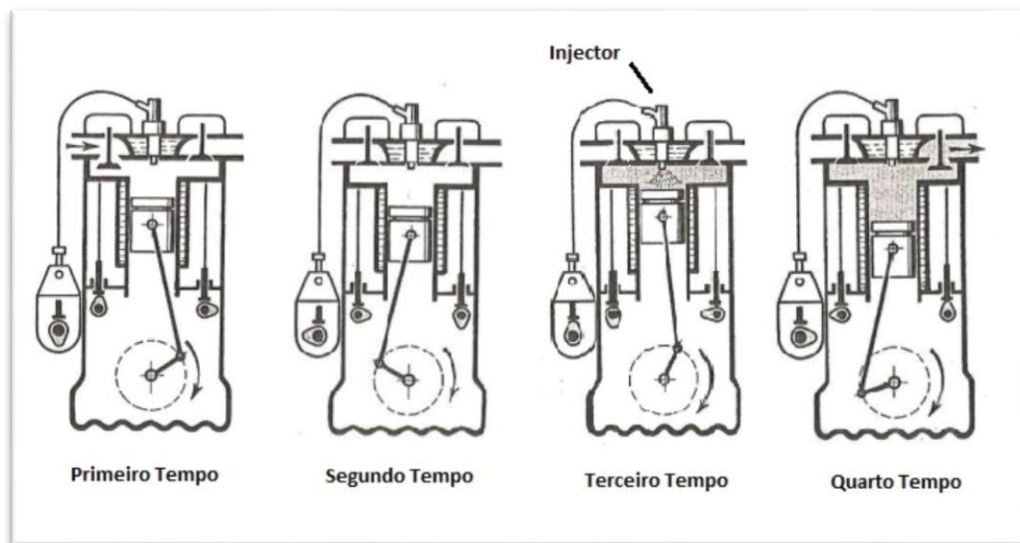


Figura 14 - Funcionamento do motor de ignição por compressão a 4 tempos [Fonte: adaptado de “O Automóvel” – Curso Técnico, Vol.1, Domenico Lucchesi]

Uma das principais diferenças entre os dois tipos de ciclos é o combustível com o qual operam.

1.3. Tipos de Combustíveis

Designa-se por combustível qualquer substância que possa ser queimada para libertar energia, sendo que a maioria dos combustíveis consistem fundamentalmente em hidrogénio e carbono. Estes compostos identificam-se pela designação de hidrocarbonetos e são representados pela seguinte fórmula.



Os hidrocarbonetos podem existir em qualquer fase, podendo ser sólidos, líquidos ou gasosos. Este estudo incidirá apenas na fase gasosa. Referencia-se também a fase líquida neste trabalho, de forma a enquadrar a fase gasosa dos combustíveis.

A maioria dos hidrocarbonetos líquidos é uma mistura de vários hidrocarbonetos e é obtida quase exclusivamente por destilação do petróleo bruto (Simões, 2004).

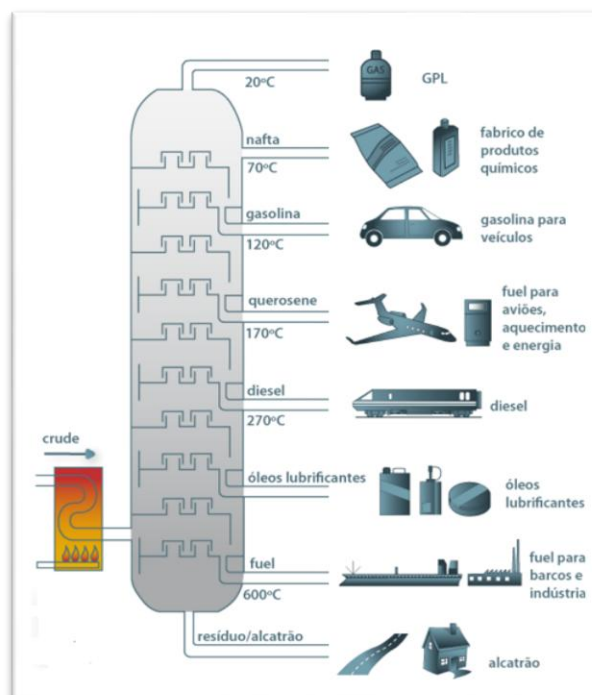


Figura 15 - Processo de destilação do petróleo [Fonte: apatdado de labvirtual.eq.uc.pt]

A gasolina é um dos mais voláteis, sendo apresentado todos os seus constituintes na Tabela 3. O gasóleo pertence ao grupo dos combustíveis menos voláteis, sendo a sua composição apresentada na Tabela 4.

Tabela 2 – Constituintes da gasolina

Composição da Gasolina	
Constituintes	Percentagem
n-hexano a n-nonano	12%
Isómeros de alcanos e n-butano	11%
Ciclohexano e derivados	5%
Buteno a hexeno	25%
1-noneno	12%
Tolueno	1%
Xileno(s)	22%
Aromáticos de peso mais alto	11%

[Fonte: labvirtual.eq.uc.pt]

Tabela 3 – Constituintes do gasóleo

Composição do Gasóleo	
Constituintes	Percentagem
Hidrocarbonetos Saturados (Parafina e Cicloparafnas)	75%
Hidrocarbonetos Aromáticos (Naftalenos e Benzenos)	25%

[Fonte: wikienergia.pt]

O combustível gasoso utilizado nos motores de combustão interna é o gás natural, sendo este uma mistura de hidrocarbonetos onde o gás metano é predominante. A composição do gás natural pode variar, dependendo fundamentalmente do poço em que o gás é extraído e do tratamento posterior. O gás natural comercializado em Portugal já apresenta uma grande rede de distribuição (Figura 16), e é proveniente do gasoduto de Magreb ou do terminal de Sines. Na Tabela 5 apresenta-se os constituintes das respectivas percentagens do gás natural, para os dois casos.

Tabela 4 - Constituição do gás natural comercializado em Portugal.

Gás Natural (Portugal)	Gasoduto Magreb	Terminal Sines
Constituinte	mol (%)	mol(%)
Metano (CH ₄)	87.885	92.215
Etano (C ₂ H ₆)	8.056	4.841
Propano (C ₃ H ₈)	1.378	2.111
i-Butano (C ₄ H ₁₀)	0.108	0.360
n-Butano (C ₄ H ₁₀)	0.158	0.381
i-Pentano (C ₅ H ₁₂)	0.022	0.018
n-Pentano (C ₅ H ₁₂)	0.018	0.003
n-Hexano (C ₆ H ₁₄)	0.020	0.000
Azoto (N ₂)	1.088	0.071
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1.266	0.000
Total	99.999	100.000

[Fonte: cogenportugal.pt]

O gás natural começou a ser comercializado em Portugal em 1997 sendo, progressivamente, adoptado como combustível, tanto pelo sector da indústria como pelo sector doméstico, uma vez que o seu uso é vantajoso, por razões económicas e físicas/logísticas.

Este combustível apresenta-se como a fonte de energia mais ecológica no conjunto dos combustíveis fósseis, uma vez que, quando comparado com os restantes, destaca-se pela sua combustão limpa, isto é, os produtos da queima são inodoros, isentos de óxidos de enxofre e partículas de fuligem. Por ser transportado em gasodutos, não sofre grandes transformações ou perdas, sendo entregue ao consumidor final, aproximadamente com as mesmas propriedades que tem quando é extraído. Para além disso, o seu fornecimento é constante e não está sujeito a interrupções, ao contrário do “sistema antigo” de distribuição de botijas de gás, podendo por isso ser chamado de combustível eficiente.

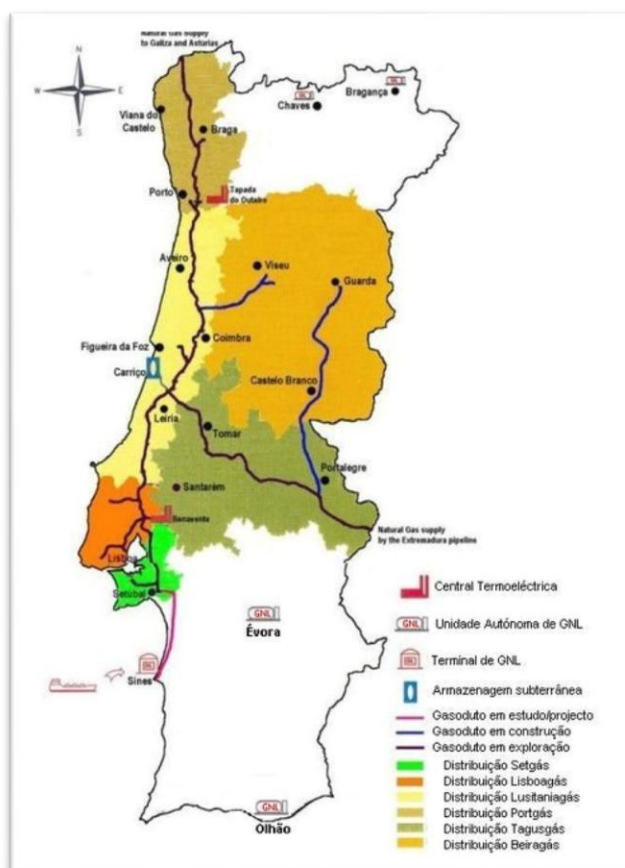


Figura 16 – Mapa de distribuição da rede de gás natural em território nacional [Fonte: wikienergia.pt]

2. DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE MICRO-COGERAÇÃO COM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

2.1. Descrição geral do sistema

A aplicação de um sistema de micro-cogeração implica a instalação de diversos componentes para se obter um bom funcionamento do mesmo. Assim sendo, é necessário a instalação de um motor de combustão interna, podendo ser este a gasóleo ou a gás natural. Acoplado a este motor, está um gerador que é o responsável pela produção da energia eléctrica. Dependendo do tipo da energia eléctrica gerada pelo mesmo, poderá ser necessário a instalação de um inversor de corrente, que permite transformar a corrente contínua em corrente alterna, visto ser este o tipo de corrente utilizado no sector residencial. A energia eléctrica produzida, poderá ser utilizada para consumo próprio ou poderá ser vendida à rede pública.

De forma a obter um maior aproveitamento de energia do motor e aumentar o rendimento global do sistema, são instalados permutadores de calor para efectuar a recuperação da energia térmica, tanto do próprio sistema de refrigeração do motor, como também dos gases de escape. Como forma de armazenamento desta energia térmica emprega-se um depósito de inércia que permite utilizar posteriormente esta energia para aquecimento central ou para AQS. Além do sistema de micro-cogeração, poderá existir outro sistema de apoio, de forma a dar resposta a todas as necessidades térmicas exigidas.

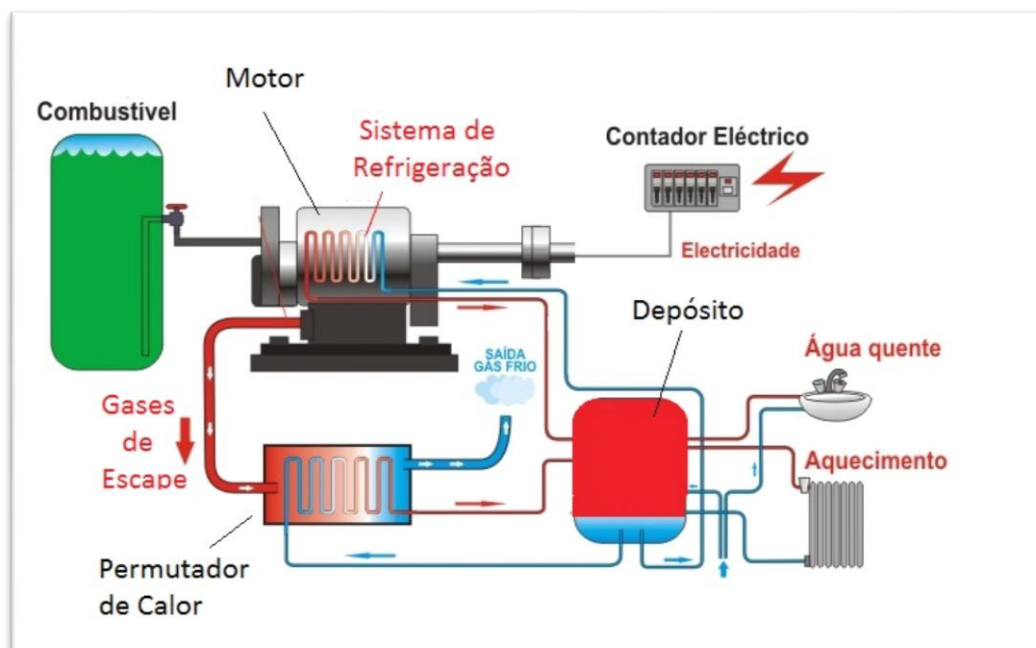


Figura 17 – Exemplo de um esquema de uma montagem de um sistema de micro-cogeração
[Fonte: adaptado de energiestro.com]

2.2. Componentes da instalação

2.2.1. Motor de Combustão Interna

As unidades de micro-cogeração a gásóleo ou a gás natural são excelentes, pois são de fácil montagem em espaço reduzido, devido à sua concepção de unidade compacta com integração do controlo. A boa protecção anti-ruído possibilita a utilização destas unidades em áreas residenciais (Figura 18). Trata-se de sistemas de elevado rendimento, sendo a electricidade produzida fornecida para consumo próprio ou para vender à rede eléctrica. O calor produzido, tanto pelo motor como pelos gases de escape, é transferido através de um permutador de calor.



Figura 18 – Exemplo de um motor de combustão interna utilizado para micro-cogeração

2.2.2. Inversor de corrente (a utilizar quando necessário)

Como o próprio nome indica, o inversor de corrente é um dispositivo que permite transformar a corrente contínua, com que é alimentado, em corrente alternada com determinadas características. À saída do gerador de corrente contínua, a electricidade produzida é em corrente contínua, e para a sua utilização na habitação é necessário haver a transformação de corrente contínua para corrente alternada.

Nem sempre é necessária a instalação de um inversor de corrente, pois alguns motores de combustão interna, senão a maioria, estão já acoplados a geradores de corrente alterna (alternadores).

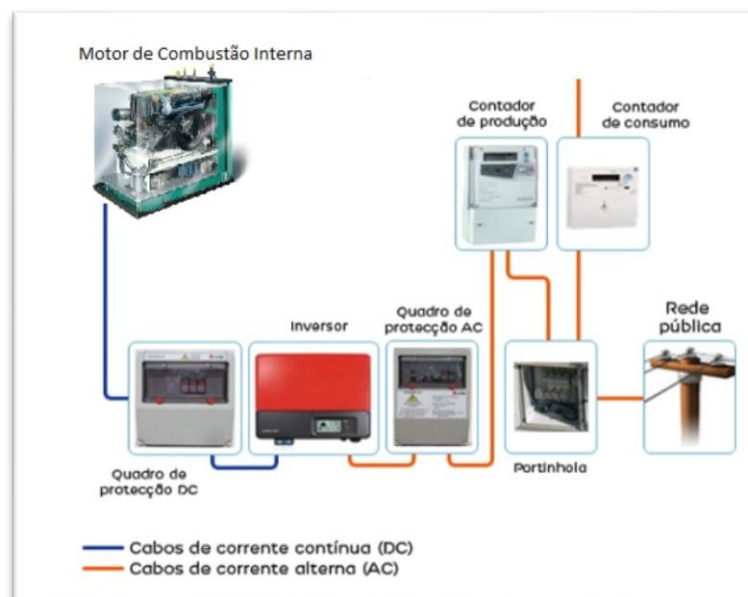


Figura 19- Exemplo da função de um Inversor DC-AC [Fonte: microgeracaodeenergia.com]

2.2.3. Depósito de Inércia

O depósito de inércia é um componente importante numa instalação, pois é neste que se vai armazenar toda a energia térmica recuperada do motor de combustão interna.

Estes depósitos permitem conforto e economia, fornecendo rapidamente água quente a vários pontos de consumo em simultâneo.

Destacam-se, adicionalmente, como principais características: posição vertical com dimensões optimizadas para favorecer a estratificação no interior, melhorando o rendimento do sistema; manutenção simples devido à boca de homem de fácil acesso e termómetro em toda a gama.



Figura 20 – Depósito acumulador Vulcano [Fonte: Vulcano.pt]

2.2.4. Radiadores e Toalheiros

Para a instalação completa de um sistema de aquecimento central, é necessário a colocação de toalheiros nas casas de banho e radiadores nas restantes zonas da habitação.

Os radiadores são tipicamente colocados por baixo das janelas, dado que será um local da habitação onde normalmente não se coloca nada, e porque é uma solução que torna o espaço aquecido mais confortável ao reduzir as correntes de ar.

Os toalheiros são, normalmente, colocados nas casas de banho e, além de aquecerem o ambiente, permitem também secar e manter as toalhas aquecidas.



Figura 21 – Radiador e Toalheiro [Fonte: Vulcano.pt]

3. IMPACTE AMBIENTAL

Normalmente a qualidade do ar é o termo que se usa, para traduzir o grau de poluição no ar que respiramos. A poluição do ar é provocada por uma mistura de substâncias químicas, lançadas no ar ou resultantes de reacções químicas, que alteram o que seria a constituição natural da atmosfera. Estas substâncias poluentes podem ter maior ou menor impacte na qualidade do ar, consoante a sua composição química, concentração na massa de ar em causa e condições meteorológicas.

Os motores de combustão interna libertam várias substâncias tóxicas e prejudiciais, não só para o ambiente, como também para o organismo humano. Durante o processo de combustão libertam, principalmente, as seguintes substâncias:

- Dióxido de Carbono (CO_2);
- Monóxido de Carbono (CO);
- Óxidos de Azoto (NO_x);
- Óxidos de Enxofre (SO_x) – no caso do combustível conter enxofre;

- Compostos orgânicos voláteis (COV);
- Partículas.

Mesmo num motor bem regulado, a quantidade de gases tóxicos libertada pode exigir o tratamento das emissões através de catalisadores, filtros de partículas, etc...

As altas concentrações destes gases e os poluentes que deles resultam através de reacções químicas, são prejudiciais à saúde humana, corroem vários materiais e danificam a vegetação, têm efeito prejudicial sobre a produção agrícola e florestal e causam odores desagradáveis. Alguns destes poluentes são responsáveis pelo efeito de estufa.

IV. ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICRO- COGERAÇÃO A UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR

1. NECESSIDADES DE ENERGIA TÉRMICA DE AQUECIMENTO NO EDIFÍCIO CONSIDERADO.

No que diz respeito às necessidades de energia térmica no edifício, considera-se que o edifício tem a sua localização no concelho de Coimbra, com a fachada principal orientada a norte. Quanto à tipologia, é um T4, o que para efeitos de consumo de águas quentes sanitárias (AQS) e segundo o RCCTE, é considerado ter cinco ocupantes. O edifício tem aquecimento central, logo terão de ser determinadas as cargas térmicas de cada compartimento para, posteriormente, efectuar o dimensionamento dos respectivos radiadores e toalheiros.

No que diz respeito ao aspecto construtivo do edifício, encontra-se no relatório do *software* CYPE, no Anexo I, todas as soluções adoptadas, bem como os materiais de cada parede, laje, envidraçados e portas.

Pretende-se garantir que o edifício mantenha uma temperatura interior dos espaços climatizados de 20°C na estação de Inverno e suprir as necessidades de águas quentes sanitárias (AQS) durante todo o ano.

Na Figura 22 e Figura 23, mostra-se uma vista 3D do edifício em questão.



Figura 22 – Edifício residencial em estudo (Fachada principal) – Representação 3D do CYPE

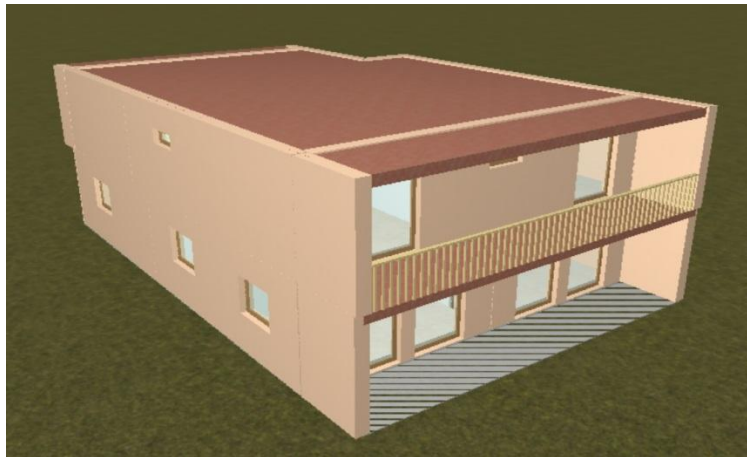


Figura 23 – Edifício residencial em estudo (Traseiras) – Representação 3D do CYPE

2. DIMENSIONAMENTO E SELECÇÃO DO EQUIPAMENTO

2. 1. Cálculo das Necessidades Térmicas de Aquecimento

Para a obtenção das necessidades de energia térmica de aquecimento ambiente, recorreu-se ao *software* CYPE – Top Informática. Foi necessário definir todos os materiais de construção das paredes, lajes, portas e janelas. Esta é uma moradia unifamiliar, composta por três pisos, sendo um deles a cave, seguido do rés-do-chão e do primeiro andar. A cave é uma zona não climatizada, onde está situada a casa das máquinas. O rés-do-chão, é um espaço climatizado, onde está alojada a sala de estar e de jantar, cozinha, uma casa de

banho, escritório e *hall* de entrada. O primeiro andar, também é uma zona climatizada e é composto por quatro quartos de dormir, três casas de banho e pequenos *hall*'s. A Figura 24 mostra a disposição de todos os compartimentos da moradia.



Figura 24 – Plantas da residência (cave, rés-do-chão e primeiro andar respectivamente) [Fonte: CYPE]

Visto que apenas se pretende dimensionar os equipamentos para aquecimento central e AQS da residência em questão, vamos apenas utilizar os valores da carga térmica de aquecimento obtidos pelo software CYPE.

Tabela 5 - Carga Térmica de Aquecimento

Carga Térmica de Aquecimento		
Conjunto	Potência por Superfície (W/m²)	Potência Total (W)
Rés-do-chão - Cozinha	51,90	1181,70
Rés-do-chão - Escritório	64,50	1100,40
Rés-do-chão - Hall	63,30	1609,50
Rés-do-chão - Sala de Jantar	60,00	1273,20
Rés-do-chão - Sala de Estar	71,00	1312,10
Rés-do-Chão - Wc	64,20	468,80
1º Andar - Hall	59,80	1414,10
1º Andar - Hall1	73,10	731,20
1º Andar - Quarto	62,00	1016,90
1º Andar - Quarto1	62,40	1084,20
1º Andar - Quarto2	62,60	1002,80
1º Andar - Quarto3	69,00	854,30
1º Andar - Wc1	65,70	530,90
1º Andar - Wc2	75,70	537,30
1º Andar - Wc3	44,10	719,70
Total	-	14837,10

[Fonte: Relatório Cype]

2.1.1 Descrição da Instalação

Perante os valores de carga térmica de aquecimento retirados do relatório do *software* CYPE (Anexo I), optou-se por usar três equipamentos na instalação. Um motor de combustão interna, uma caldeira e colectores solares. A utilização destes equipamentos está prevista para nunca haver qualquer tipo de interrupção tanto no aquecimento central, como também no fornecimento das águas quentes sanitárias, ou seja, quando algum dos equipamentos necessitar de manutenção ou avariar por alguma razão desconhecida, há sempre compensação dos restantes equipamentos no fornecimento de energia térmica.

A produção de energia eléctrica será obtida através do motor de combustão interna, por intermédio de um alternador, que transforma a energia mecânica em energia eléctrica.

Visto que o motor de combustão interna não possui outra forma para dissipar o calor produzido no seu funcionamento, apenas será produzida energia eléctrica quando este estiver em funcionamento para satisfazer alguma necessidade térmica da habitação.

Todos estes equipamentos serão instalados na cave da moradia, numa área técnica de fácil acesso. Neste compartimento, que na planta, Figura 24, está designado como “Casa das máquinas”, estará também todo o equipamento necessário para efectuar o controlo da instalação.

Na Figura 25 representa-se um diagrama da instalação, onde está esquematizado a disposição e a ligação de todos os componentes necessários para o funcionamento da instalação. É de salientar que neste esquema não estão representados todos os sistemas de controlo, que permitem um óptimo e correcto funcionamento da instalação.

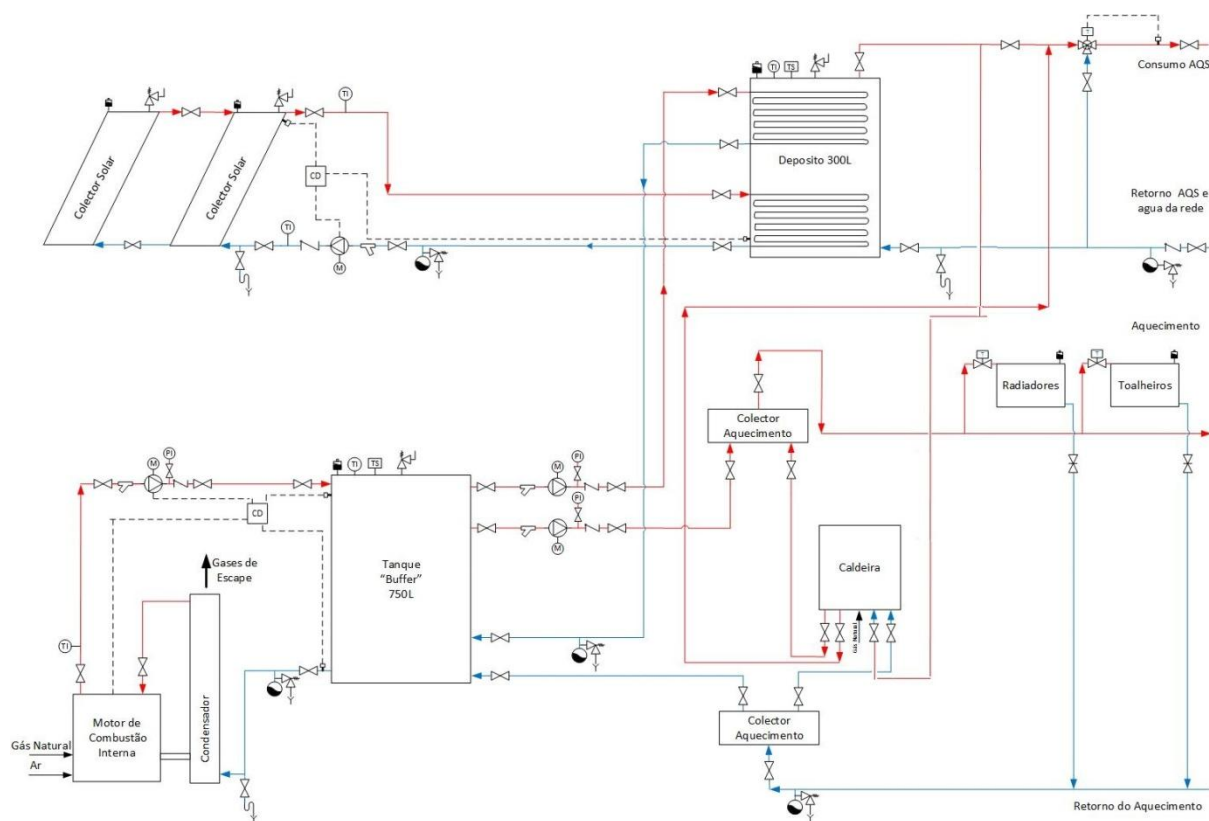


Figura 25 – Esquema ilustrativo da Instalação de Aquecimento e AQS

No anexo V, apresenta-se o diagrama completo de toda a instalação.

Na Figura 26 expõe-se a forma como deverá ser ligada e também todos os componentes a montar para a instalação de rede eléctrica do motor de combustão interna seleccionado.

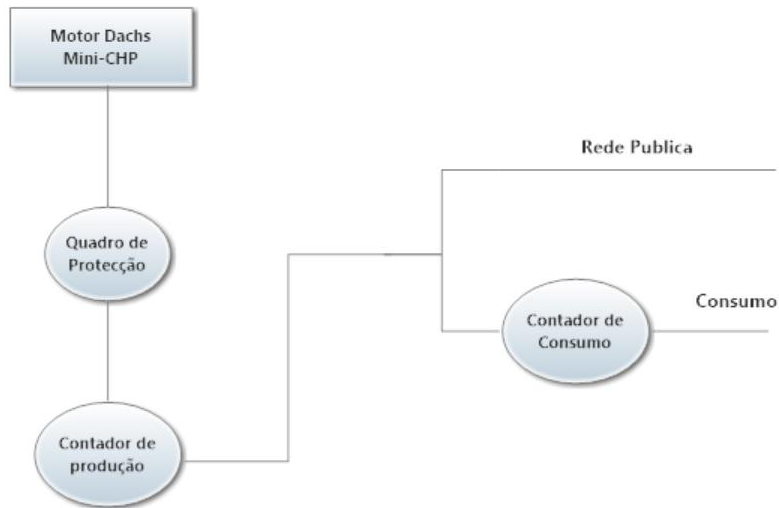


Figura 26 – Esquema ilustrativo da instalação eléctrica

2.1.2 Equipamento Utilizado

2.1.2.1 Motor Dachs Mini-CHP

De acordo com as necessidades de energia térmica do edifício residencial em estudo, optou-se por utilizar uma unidade de micro-cogeração Dachs Mini-CHP a gás natural. Esta unidade, já tem incluído um tanque *buffer* com capacidade de 750L. Acoplado um condensador também fornecido como opção Dachs, à unidade de micro-cogeração, faz-se a recuperação da energia térmica dos gases de escape e aumenta-se o rendimento global desta unidade. Na Figura 27 apresenta-se todas as características desta unidade de micro-cogeração. No Anexo IV encontra-se o manual de instalação deste motor de combustão interna.

Technical Data

Electrical output (3-ph)	5.5 kW
Thermal output (min.)	12.5 kW
With condenser (max.)	15.5 kW
Efficiency gross (nett)	79% (88%)
Max. efficiency with condenser gross (nett)	92% (102%)
Height	1000 mm
Width (excl. controller)	720 mm
Depth	1060 mm
Weight	530 kg
Standard safety valve setting	2.5 bar
Max. WP (4.5 bar SV reqd.)	5.0 bar
Fuel gas supply pressure	20-50 mbar
Nat. gas input (22.8 kW)	2.13 m ³ /h
Plant room air inlet	150cm ²
Noise emission (at 1 m)	52-56 dBA
Service intervals	3,500 hrs
Heating F&R connections (flexible supply)	1"
Fuel gas connection (flexible supply)	½"
Non-condensing exhaust (steel)	1"
Condensing exhaust (plastic)	DN80
Heating flow temperature	80°C
Max. heating return temperature	70°C
Electrical connections:	
- 3-ph (3xL,N+E) onto 20A type 'C' circuit breakers	2.5 mm
- equipotential bonding to main earth	10 mm
Optional BMS interface:	
- Volt free enable	
- 230V fault indication	
- 230V service due indication	
Phone line connection to modem – analogue	

SE Buffer Vessel – Key Data

Capacity	750 litres
Height (with insulation)	1920 mm
Diameter (excluding insulation)	750 mm
Diameter (with insulation)	950 mm
Insulation	100 mm
Weight (excluding insulation)	140 kg
Max. hydraulic W.P.	3.0 bar
Heating F&R connections to DACHS	1"
F&R connections to heating system	½"
Heating flow temperature	80°C
Max. heating return temp.	70°C

Condenser – Key Data

Additional heat output:	
- at 60°C return temp.	0.8 kW
- at 50°C return temp.	0.9 kW
- at 35°C return temp.	2.3 kW
- at 20°C return temp.	3.0 kW
Height	1750 mm
Width	400 mm
Depth	300 mm
Top clearance required	1000 mm
Weight	25 kg
Max. hydraulic W.P.	5.0 bar
Heating F&R connections	½"
Exhaust gas outlet (plastic)	DN80
Condensate drain	25 mm.
High limit safety 'stat (STL)	110°C
Heating inlet temp. (return)	10°C – 70°C

Figura 27 – Características do Motor Dachs mini-CHP [Fonte: Catálogo Dachs]

2.1.2.2 Caldeira Vulcano Lifestar ZW 24-2 DH AE23

Uma vez que o sistema não pode ter escassez de energia térmica, quer para aquecimento ambiente, quer para consumo de AQS, selecciona-se uma caldeira mural de forma a poder compensar todos os momentos em que os colectores solares não consigam desempenhar plenamente a sua função na produção de AQS, e também de forma a poder garantir o aquecimento ambiente quando o motor de combustão interna necessitar de alguma manutenção ou sofrer alguma paragem por avaria.

De acordo com a Tabela 6 a carga térmica total de aquecimento é aproximadamente 14,9 kW. Uma vez que a caldeira irá dar apoio ao sistema de aquecimento central e ao consumo de AQS (no Anexo III encontra-se o manual de instalação desta mesma caldeira), o equipamento seleccionado tem as seguintes características:

Tabela 6 – Características da caldeira Vulcano [Fonte: Catálogo Vulcano]

Características Caldeira Vulcano Lifestar – ZW 24-2 DH AE23	
Potência útil (água quente)	7.0 - 24.0 kW
Potência útil (aquecimento)	10 – 24.0 kW
Alimentação Gás Natural	2.8 m ³ /h - 20 mbar
Temperatura água (aquecimento)	45 - 88 °C
Temperatura água (água quente)	40 - 60 °C
Pressão máx. Serviço	10 bar
Eficiência total à carga nominal	92.5 %
Caudal de AQS para $\Delta T=30^{\circ}K$ – EN625	11.8 l/min

2.1.2.3 Colectores solares Vulcano PremiumSun FKT – 1S

Não dispondo o motor de energia térmica suficiente para o aquecimento ambiente e produção de água quente sanitária e procurando reduzir o funcionamento da caldeira, prevê-se a instalação de dois colectores solares PremiumSun FKT-1S. Estes colectores possuem um elevado rendimento, com tratamento selectivo de titânio (PVD). Na Tabela 8 enumera-se mais algumas características do referido colector solar. No Anexo III encontra-se o manual de instalação deste mesmo colector. No entanto a opção de instalar os colectores solares deverá ser validada por uma análise económica específica.

Tabela 7 – Características dos colectores solares [Fonte: Catálogo Vulcano]

Características dos Colectores Solares PremiumSun FKT-1S	
Área	2.37 m ²
Rendimento óptico	80,30%
Caudal nominal	50 l/h

O consumo de energia para AQS, segundo o relatório do *software* “Solterm” (Anexo II), é de 3820 kWh/ano, sendo que o fornecido pelo sistema solar será de 3015 kWh/ano e o do sistema de apoio de 805 kWh/ano.

2.1.2.4 Depósito Vulcano SK-300-1

De modo a garantir um abastecimento contínuo ao consumo de AQS, optou-se por utilizar um depósito de 300L, da marca Vulcano, modelo SK-300-1. Este depósito é constituído pelo acumulador, e por duas serpentinas de permuta de calor. O acumulador é o recipiente onde está a água para consumo, na serpentina inferior é onde se dá a troca de calor entre o sistema solar e a água para consumo. Na serpentina superior, é onde ocorre a troca de calor do sistema de apoio (motor de combustão interna) e a água para consumo.

A escolha de um depósito de dupla serpentina, deve-se ao facto de haver mais do que um sistema para efectuar o aquecimento das águas quentes sanitárias e também, na eventualidade de algum dos sistemas necessitar de manutenção, estará o outro sistema a efectuar o aquecimento e a responder às necessidades requeridas.

Tabela 8 – Características do depósito SK 300-1 [Fonte: Catálogo Vulcano]

Características do depósito SK 300-1	
Potencia máx. de aquecimento	30.6 kW
Capacidade do acumulador	286 l
Caudal Máximo	15 l/min
Pressão máxima	10 bar

2.1.2.5 Radiadores e toalheiros Vulcano

Não menos importantes que os restantes elementos da instalação, os radiadores e toalheiros permitem aquecer os espaços onde são colocados, por via da troca de energia entre o ar ambiente e a água quente que neles circula. Para a instalação em estudo, seleccionou-se para os quartos, salas, escritório e zonas comuns os radiadores Vulcano, gama Elegance (Anexo III). Este modelo será equipado com um purgador automático de ar, conjunto de tampões e a respectiva chave. De acordo com as necessidades térmicas de cada divisão e seleccionando o Modelo EL600, coloca-se os números de elementos indicados na Tabela 10.

Tabela 9 – Cálculo do número de elementos dos radiadores (Modelo EL600) [Fonte: Cype e Catálogo Vulcano]

Divisão	Potência Total (W)	EN 442 ($\Delta T 50^\circ$) [W/elem]	Nº Elementos
Rés-do-chão - Cozinha	1181,70	139,00	9
Rés-do-chão - Escritório	1100,40	139,00	8
Rés-do-chão - Hall	1609,50	139,00	12
Rés-do-chão - Sala de Jantar	1273,20	139,00	9
Rés-do-chão - Sala de Estar	1312,10	139,00	9
1º Andar - Hall	1414,10	139,00	10
1º Andar - Hall1	731,20	139,00	5
1º Andar - Quarto	1016,90	139,00	7
1º Andar - Quarto1	1084,20	139,00	8
1º Andar - Quarto2	1002,80	139,00	7
1º Andar - Quarto3	854,30	139,00	6

Por razões de ordem estética e para uma melhor distribuição do sistema de aquecimento, poderá ser dividido o número de elementos de uma divisão por dois ou mais radiadores, ou seja, em vez de um radiador com 8 elementos, poderá ter-se dois radiadores com 4 elementos cada um.

Para as casas de banho, seleccionou-se os toalheiros Vulcano, gama Jazz e este modelo é composto por um *kit* de apoio eléctrico que possibilita o aquecimento das toalhas durante os períodos em que o sistema de aquecimento central não se encontra em funcionamento. Será colocado um toalheiro JA 1740/550 em cada casa de banho.

Tabela 10 – Cálculo do número de elementos dos toalheiros (Modelo JA 1740/550) [Fonte: Cype e Catálogo Vulcano]

Divisão	Potência Total (W)	EN 442 ($\Delta T 50^\circ$) [W/elem]	Nº Elementos
Rés-do-Chão - Wc	468,80	814	38
1º Andar - Wc1	530,90	814	38
1º Andar - Wc2	537,30	814	38
1º Andar - Wc3	719,70	814	38

De forma a poder-se controlar a temperatura desejada em cada divisão aquecida da casa, os radiadores e os toalheiros serão equipados com uma cabeça termostática TK2 (Figura 28).


POSIÇÃO		TK 2
Posição		7° C
Posição	1	12° C
Posição	2	16° C
Posição	3	20° C
Posição	4	24° C
Posição	5	28° C

Figura 28 – Características da válvula TK2 [Fonte: Catálogo Vulcano]

2.1.3 Acessórios Utilizados

Serão montadas todas as válvulas e acessórios indicados no diagrama de princípio (Anexo V). Serão de ligação roscada até um diâmetro de 33,7 mm, e a pressão nominal de fabrico dos acessórios é de 10bar.

Válvulas de Seccionamento – As válvulas de seccionamento serão do tipo macho esférico, totalmente construída em bronze ou latão cromado e com os respectivos vedantes.

Válvulas anti-retorno – As válvulas de retenção terão o corpo em latão, a sede e o obturador em bronze ou material sintético. No dimensionamento é sempre tido em conta a posição em que vai ficar instalada.

Filtros de água - Os filtros de água serão do tipo “Y”, para uma protecção às válvulas, bombas e restantes equipamentos do circuito. Serão construídos com o corpo em bronze e o crivo em aço inoxidável. Serão instaladas tomadas de pressão e válvulas de seccionamento, a montante e a jusante, para verificação da queda de pressão (colmatação).

Vasos de Expansão - Serão do tipo hermético, em chapa de aço, com membrana elástica separando a água da câmara de azoto e preparados para trabalhar com a pressão estática determinada.

Purgadores Automáticos de Ar - Os purgadores automáticos de ar serão instalados nos pontos mais altos das linhas, possuem um boiador que acciona a válvula de saída de gases. O corpo será em bronze e o boiador e a válvula em material plástico da melhor qualidade. Serão equipados com uma válvula de fecho, de forma a permitir a substituição do purgador sem esvaziar o sistema.

Termómetros e Manómetros - Os termómetros serão do tipo de tensão de vapor ou lâmina bimetálica, graduados de 0 °C a 120 °C. O bolbo de imersão será inserido em bainha metálica de protecção. Os manómetros serão do tipo de *Bourdon*, com boa precisão e graduados de 0 a 6 bar. Terão um purgador de ar manual.

Tubagem - A tubagem de água de alimentação e da rede de águas quentes sanitárias serão em tubo PEX, pois em caso de alguma fuga, permite uma fácil substituição do tubo danificado. A tubagem do sistema solar e do sistema de aquecimento será em cobre com ligações roscadas. A pressão nominal de fabrico será de 10 bar a 60 °C e a de ensaio de 15 bar.

A pressão de ensaio a que devem ser sujeitas as canalizações deve ser mantida durante um período de cerca de 24 horas.

Tabela 11 – Diâmetros Normalizados

Troço	Q [l/min]	$u_{m\acute{a}x}$ [m/s]	d_{int} [mm]	d_n [mm]
Caldeira - Colector Aquecimento	14,54	1,5	14,3	18x1,0
Tanque <i>buffer</i> - Colector Aquecimento	45,6	1,5	25,4	28x1,2
Colector Aquecimento - Sistema Aquecimento	60,14	1,5	29,17	33,7x2,6
Caldeira - Consumo AQS	12	1,5	13,03	17x2,0
Consumo AQS	12	1,5	13,03	17x2,0
Circuito Solar	17	1,5	15,5	18x1,0
Tanque <i>buffer</i> - Depósito 300l	45,6	1,5	25,4	28x1,2

Grupos de circulação - Os grupos electrobomba que permitem a circulação de água (quente e fria) serão da marca Grundfos. Estes terão um reduzido consumo de energia e não provocarão ruído na circulação da água pelas tubagens. De acordo com as características da instalação, apresenta-se na Tabela 13 os circuladores seleccionados.

Tabela 12 – Bombas seleccionadas

Dimensionamento das Bombas Circuladoras				
Troço	Q [l/min]	dn_{ext} [mm]	H [mca]	Modelo
Tanque <i>buffer</i> - Colector de Aquecimento	45,6	28	1,35	Grundfos - ALPHA2 L25 25-60 130
Circuito Solar	17	18	1,65	Grundfos - ALPHA2 L25 25-40 130
Tanque <i>buffer</i> - Depósito 300l	45,6	28	1,35	Grundfos - ALPHA2 L25 25-60 130

Todos os equipamentos, tubagens, válvulas e outros acessórios onde circule água aquecida, serão envolvidos com material termicamente isolante.

3. MODO DE FUNCIONAMENTO DA INSTALAÇÃO

Para um bom funcionamento de toda a instalação é necessário existirem controladores termostáticos que permitem tirar o maior e melhor partido de todos os equipamentos instalados. Estes controladores permitirão ligar e desligar os circuladores assim como o motor

de combustão interna. Todo o controlo é efectuado em função de sinais eléctricos enviados por sondas de temperatura colocadas no tanque *buffer*, no depósito e no colector solar. Procede-se da seguinte forma:

Para obter-se um bom funcionamento do sistema solar instalado, a bomba será ligada sempre que houver um $\Delta T \geq 4^{\circ}\text{C}$ entre a temperatura à saída dos colectores solares e a temperatura no interior (zona inferior) do depósito de 300L. Para desligar a bomba deste circuito, basta haver um diferencial de temperatura inferior a 4°C .

No consumo de AQS, a água sairá do depósito de 300L, depois passa pela caldeira, que caso seja necessário, faz o ajuste da temperatura da água para 45°C . Aquando da passagem pela válvula termostática misturadora, esta baixará a temperatura para os 50°C se a água vier a uma temperatura superior. A sonda de temperatura da válvula misturadora encontra-se colocada a jusante do ponto de mistura.

O depósito de acumulação de AQS (depósito de 300L) tem uma temperatura máxima interior de 60°C , mas logo que a temperatura atingir os 50°C um controlador termostático desligará a bomba circuladora de água da serpentina superior. Esta será novamente ligada quando a temperatura descer alguns graus (para cerca de 45°C).

No que diz respeito ao sistema de aquecimento, os radiadores e toalheiros funcionarão com uma temperatura de avanço cerca de 75°C . Se as necessidades térmicas da habitação forem elevadas e a temperatura descer atingindo os 70°C , com o motor e bomba ligados a caldeira será ligada e trabalhará em simultâneo com o motor de combustão interna. A sonda de temperatura é colocada à saída do colector de aquecimento. A bomba de circulação do tanque *buffer* para o circuito de aquecimento é ligada sempre que a temperatura ambiente descer abaixo do set-point desejado (ex. 20°C) e desligada quando atingir alguns graus acima (ex. 22°C).

A temperatura do tanque *buffer* é mantida entre os 75°C e os 80°C pelo motor de combustão interna. A bomba de circulação desliga quando no tanque *buffer* se atingir uma temperatura de 80°C ou a temperatura de retorno for superior a 73°C .

No diagrama de princípio (Anexo V), encontra-se representada todo o sistema de controlo para efectuar o controlo da instalação.

4. RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

O motor de combustão interna seleccionado para a presente instalação, já vem equipado com os acessórios necessários para efectuar-se a recuperação de energia térmica. Assim sendo, a água proveniente do *buffer*, entra no condensador e lá será aquecida pelos gases de escapes provenientes do motor. De seguida, a mesma água entra no circuito de refrigeração do motor, e volta a ser aquecida para depois regressar ao *buffer* com cerca de 80°C de temperatura.

Para retirar um bom rendimento da instalação do condensador, a temperatura da água à entrada do condensador deveria ser abaixo dos 50 °C, pois só assim consegue-se efectuar uma boa recuperação da energia térmica.

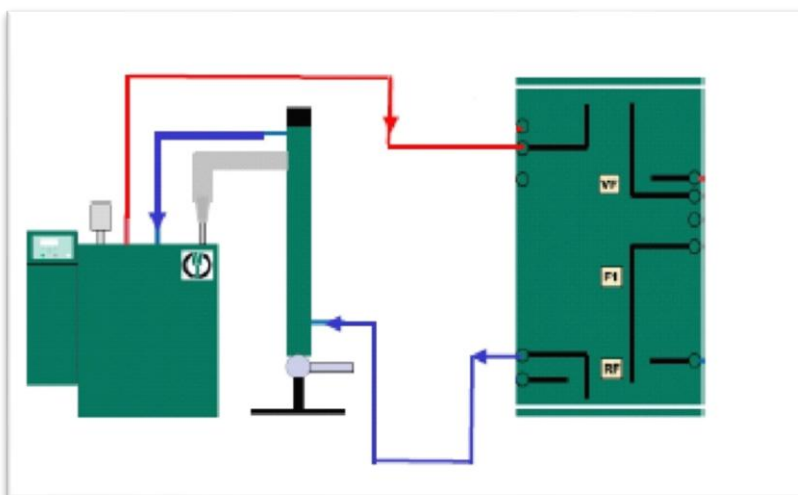


Figura 29 – Recuperação de Energia Térmica [Fonte: Catálogo Dachs]

V. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com a elaboração deste trabalho, efectuou-se uma pesquisa de todos os sistemas mais utilizados no que diz respeito à micro-cogeração. Procurou-se identificar os mais viáveis e, posteriormente, fazer uma análise comparativa entre os mesmos.

Apesar das vantagens da micro-cogeração ao nível da eficiência energética e da preservação do ambiente, o actual elevado custo destes sistemas dificulta a sua aplicação ao nível doméstico. Na legislação portuguesa, apesar dos recentes benefícios atribuídos 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 vendê-la à rede, não beneficia do preço praticado pelas produções abrangidas pelo Regime Bonificado, logo a tarifa que lhe é aplicada é muito baixa, diminuindo a sua rentabilidade em termos económicos.

Por ser ainda uma tecnologia muito recente, a micro-cogeração tem preços iniciais de aquisição e instalação dos sistemas disponíveis no mercado muito elevados, sobretudo se se pensar numa integração a nível doméstico, e por isso num investimento privado.

No caso em estudo de um sistema de micro-cogeração através de um motor de combustão interna, tema aprofundado neste trabalho, fez-se a aplicação a uma situação concreta com o dimensionamento e selecção de todos os equipamentos. Todos estes foram seleccionados de

acordo com as necessidades térmicas calculadas. Optou-se também por incluir um sistema de aquecimento solar das águas quentes sanitárias dado que o motor de combustão interna seleccionado não tem capacidade de resposta para as necessidades de consumo de AQS e aquecimento ambiente em simultâneo.

A grande dificuldade sentida ao longo deste projecto, foi no equilíbrio de todo o sistema, ou seja, projectar o funcionamento do sistema para que este funcione sem falhas e para que não obtenha paragens inesperadas. Prevê-se que as temperaturas seleccionadas para o funcionamento dos sistemas de aquecimento e de águas quentes sanitárias sejam adequadas para o óptimo funcionamento da instalação.

No que diz respeito a desenvolvimentos futuros, e para determinar a viabilidade de um projecto de micro-cogeração através de um motor de combustão interna, é necessário proceder ao estudo económico do mesmo. Recomenda-se fazer um levantamento do investimento inicial para uma instalação igual ou semelhante à estudada neste trabalho. Sabendo o custo de venda da electricidade produzida, pelo motor de combustão, à rede pública, consegue-se calcular o número de anos ao fim dos quais o projecto realiza o retorno do investimento e posteriormente começa a lucrar. É de salientar que para este estudo económico também deverão ser contabilizados todos os custos de montagem, manutenção e possíveis avarias.

Também seria interessante fazer uma análise económica não só ao sistema de micro-cogeração estudado, mas também de um modo comparativo, a outros sistemas de micro-cogeração, de modo a concluir-se qual deles terá o retorno do investimento inicial em menos tempo.

Uma outra hipótese passa por realizar-se um estudo real através da implementação de sistemas de micro-cogeração em residências domésticas em Portugal, para que se pudesse analisar, na prática e em proximidade com a realidade portuguesa, o efectivo funcionamento destas tecnologias até porque, na teoria poderá calcular-se um determinado período de tempo para o retorno do investimento, mas na prática poderão entrar vários factores que poderão prolongar a data estipulada no projecto.

VI. BIBLIOGRAFIA

Alanne, K., Saari, A. (2004), “*Sustainable small scale CHP technologies for buildings: The basis for multi-perspective decision-making, Renewable and Sustainable Energy Reviews*” 8, 401-431.

Arthur D. Little Inc. e SULZER HEXIS - “*Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications*”]

Bello, F. (Novembro 2009). Integração de sistemas em edifícios de micro-geração. Departamento de Engenharia e Gestão Industrial – Instituto Superior Técnico

CEETA – Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (2002), *Tecnologias de Micro-geração e Sistemas Periféricos: Pilhas de Combustível*, 18-28

Çengel, Y., Boles, M., (2007); *Termodinâmica*, quinta edição – McGraw-Hill Interamericana

Costa, J. (Novembro 2011). *A cogeração e micro-cogeração – Benefícios Ambientais*. Workshop Cogen Portugal.

Decreto-Lei nº 118-a. (25 de Outubro de 2010). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 186. (27 de Julho de 1995). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 189. (27 de Maio de 1988). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 20. (28 de Janeiro de 1981). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 363. (2 de Novembro de 2007). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 538. (13 de Dezembro de 1999). *Diário da Republica Portuguesa*, I Série-A.

Decreto-Lei nº 68. (25 de Março de 2002). Diário da Republica Portuguesa, I Série-A.

Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril – “Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)”.

Directiva 2004/8/CE. (11 de Fevereiro de 2004). Jornal Oficial da União Europeia, L. 52/50 52/60.

Directiva 2006/32/CE. (5 de Abril de 2006). Jornal Oficial da União Europeia.

Gomes, F. (2009) Potencial da Micro-cogeração nos sectores Residencial e de Serviços. Departamento de Ambiente e Ordenamento – Universidade de Aveiro

Lima, T. (Junho 2009). Estudo de um sistema de micro-cogeração com um motor de combustão interna acoplado a um ciclo de ejeção. Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Lobo, M. (Fevereiro 2009). Estudo de desenvolvimento da integração da micro-cogeração em Portugal. Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Marques, F. (Outubro 2011). Análise Termo-económica no desenvolvimento de sistemas de cogeração de pequena escala para edifícios. Escola de Engenharia – Universidade do Minho

Martins J. (2006); Motores de Combustão Interna. Publindústria,

Moreira, D. (Julho 2010). Implementação de Micro-cogeração no sector residencial. Departamento de Engenharia Electrotécnica – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Oliveira, F. (2008). Relatório de resultados de contactos com entidades Holandesas sobre micro-cogeração baseada na tecnologia de “motores Stirling”. Agencia para a Energia (ADENE)

PERCH, Produção de electricidade para uso residencial com Energia Renováveis e Cogeração (2008), Guia para usos Residenciais e Comerciais. *Intelligent Energy Europe*

Pinho, C. M. (Junho 2009). Gestão de Energia Térmica. Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resolução do Conselho de Ministros nº69. (24 de Outubro de 2001). Diário da Republica Portuguesa, I Série-A.

VII. ANEXOS

Nas páginas seguintes são apresentados os seguintes Anexos:

- Anexo I – Relatórios Cype;
- Anexo II – Relatório Solterm;
- Anexo III – Catálogos Vulcano;
- Anexo IV – Catálogo Dachs;
- Anexo V – Diagrama de Princípio.

ANEXO I

RELATÓRIOS CYPE

ANEXO II

RELATÓRIO SOLTERM

ANEXO III

CATÁLOGOS VULCANO

ANEXO IV

CATÁLOGOS DASCHS

ANEXO V

DIAGRAMA DE PRINCÍPIO