

cogeração

{ 1.ª PARTE – NOÇÕES GERAIS }



A Cogeração/Trigeração é uma das mais eficientes soluções de produção de energia, pela capacidade de produzir electricidade, calor e/ou frio, em simultâneo, a partir de uma única fonte de combustível. Na primeira parte deste trabalho detalham-se alguns aspectos introdutórios, tais como o princípio em que se baseia, os benefícios que resultam da sua aplicação, os parâmetros de caracterização de sistemas deste tipo e os seus principais modos de funcionamento.

1. COGERAÇÃO – NOÇÕES GERAIS

As alterações climáticas constituem uma séria ameaça para o ser humano, em consequência da utilização intensiva das formas de energia convencionais, baseadas em combustíveis fósseis, quer por parte da população em geral, quer por parte do sector da indústria. Nos dias que correm, a opinião pública tem já uma elevada percepção desta problemática.

Alcançar um aprovisionamento energético a custo competitivo, para uma utilização eficiente ao serviço do desenvolvimento das sociedades que, simultaneamente, assegure a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa (GEE), é um desafio decisivo para a sociedade actual.

De acordo com a filosofia do Desenvolvimento Sustentável, deverão conseguir-se benefícios económicos idênticos aos actuais, se possível, melhorando a coesão social, com menor consumo de energia, isto é, aumentando a eficiência energética (Figura 1). O recurso a modernos equipamentos que a promovam, tal como os sistemas de Cogeração, é reconhecido como o rumo a seguir.

Verifica-se, actualmente, uma mudança de paradigma na produção de energia, isto é, do recurso sistemático aos combustíveis

fósseis para uma alternativa baseada nas energias renováveis e nos combustíveis fósseis menos danosos para o ambiente (nomeadamente, o gás natural, que se constitui como o combustível fóssil de transição). O crescimento das diversas formas de Produção Dispersa, entre as quais se inclui a Cogeração, é o alicerce deste novo modelo do sector energético, mais flexível, que promove a figura de um consumidor que seja, em simultâneo, produtor de energia. O caminho do futuro passará por produzir e armazenar energia, localmente, de acordo com as necessidades individuais das instalações, sendo a energia em excesso partilhada através da utilização de redes de distribuição inteligentes (*Smart Grids*), que serão geridas com base em mecanismos da procura, com uma arquitectura semelhante ao modelo da *Internet*.



Figura 1 · Sustentabilidade no sector da energia [1] (Adaptado da fonte).

A Cogeração de energia eléctrica e calor é uma solução extremamente viável e a considerar seriamente, tendo vindo a ser crescentemente utilizada, principalmente, no sector industrial. No processo de Cogeração, cerca de 4/5 da energia do combustível é convertida em energia útil. Estes níveis de eficiência permitem benefícios económicos e de índole ambiental. Esta é uma solução que se adequa às indústrias e aos edifícios em que se verifiquem necessidades simultâneas consideráveis de energia eléctrica e energia térmica.

1.1 O que é a Cogeração?

As máquinas térmicas utilizadas para a produção de energia mecânica possuem rendimentos da ordem dos 40%, tendo em conta a tecnologia existente. Assim, verifica-se que, pelo menos, 60% da energia disponível no combustível é desperdiçada, sob a forma de calor [2].

A análise de tal facto, ao longo do tempo, colocou a hipótese de se aproveitar esse calor, que é desperdiçado, empregando-o em situações onde existam necessidades de aquecimento. Este processo é, unanimemente, denominado por Cogeração.

A Cogeração define-se então como a produção combinada de energia térmica e de energia eléctrica (a energia mecânica é, geralmente, convertida em energia eléctrica), a partir de uma única fonte de combustível, tal como o gás natural, gás propano, fuel-óleo, biomassa, resíduos industriais, entre outras, na proximidade do local de consumo [3]. O calor produzido pode ser entregue sob diversas formas, tais como água quente, vapor e ar quente, podendo ser utilizado em processos industriais que o requeiram ou no âmbito da climatização de espaços (AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e no aquecimento de águas sanitárias (AQS). Pode, ainda, ser convertido para a produção de frio, recorrendo a *chillers*, num processo que se denomina por Trigeração [4] [5].

Uma instalação de Cogeração pode recorrer a uma multiplicidade de combustíveis, existindo tecnicamente a hipótese de estar preparada para poder usar mais do que um tipo. Apesar de, actualmente, os combustíveis fósseis de natureza sólida, líquida e gasosa serem preponderantes, a Cogeração a partir de combustíveis afectos à biomassa tem vindo a crescer substancialmente. Frequentemente, utilizam-se como combustíveis resíduos decorrentes da actividade da instalação que, de outro modo, constituiriam um encargo na perspectiva do seu correcto tratamento [5].

A Cogeração é, também, conhecida como CHP, um acrónimo para a designação inglesa *Combined Heat and Power*. Constitui-se

como um princípio e não como uma tecnologia em concreto. Em geral, pode ser aplicado em todos os casos onde a electricidade seja produzida com recurso a processos de combustão, sejam baseados em combustíveis fósseis ou renováveis [4]. Assim, ainda que o conceito de Cogeração recorra a um vasto leque de tecnologias, o seu princípio fundamenta-se sempre na associação de um motor térmico e um sistema de aproveitamento do calor dissipado [2]. O *Mind Map* apresentado na Figura 2 ilustra os principais aspectos inerentes à Cogeração.

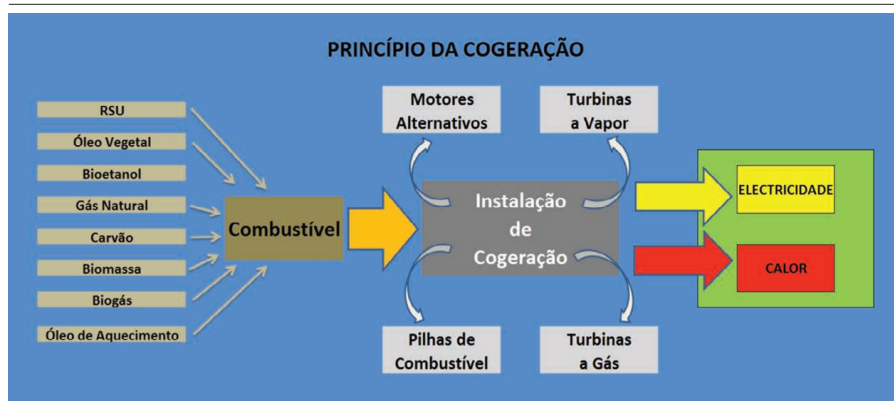


Figura 2 · Princípio de um sistema de Cogeração [6] (Adaptado da fonte).

Numa análise simplista conclui-se que a aplicação de sistemas de Cogeração, seja na indústria ou no sector terciário, é viável desde que na instalação em causa existam necessidades simultâneas consideráveis de energia térmica e de energia eléctrica. Como se torna óbvio, uma análise mais cuidada que considere múltiplos factores, tais como a tarifa de remuneração da electricidade vendida à Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP), o custo do combustível utilizado, entre outros, é vital para averiguar com rigor a viabilidade económica de um projecto de Cogeração.

A Figura 3 efectua a comparação esquemática de uma instalação baseada num sistema convencional de produção separada de electricidade e calor com uma instalação em que existe a produção simultânea destes dois elementos.

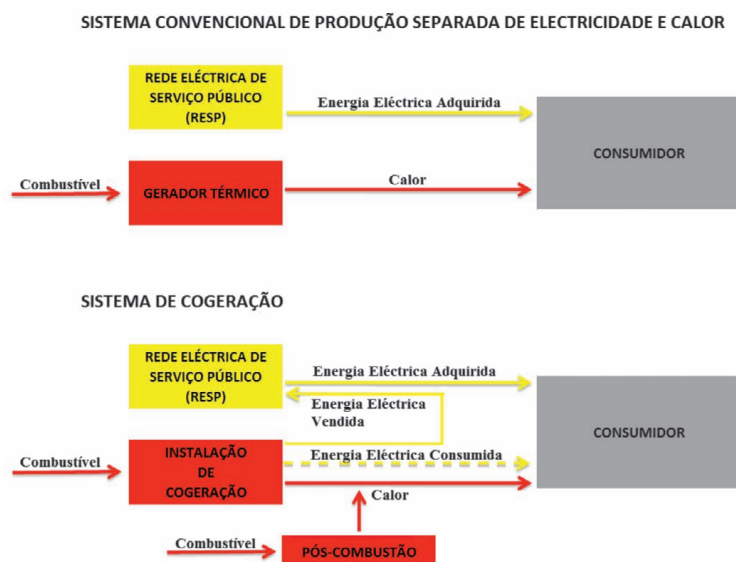
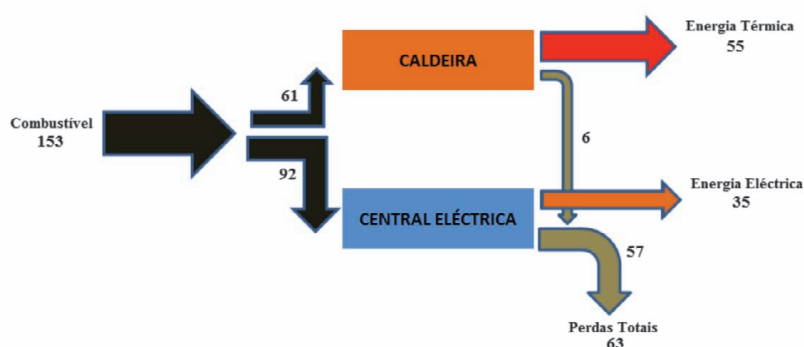


Figura 3 · Comparação entre o sistema convencional de produção de electricidade e calor e o sistema de Cogeração [2] (Adaptado da fonte).

A relação entre a energia eléctrica produzida e a energia térmica utilizável varia de acordo com os ciclos termodinâmicos da tecnologia utilizada (turbinas a vapor, turbinas a gás e motores térmicos alternativos) [2]. Para cada instalação deve ser estudado o sistema de Cogeração mais adequado às necessidades observadas.

Na Figura 4 apresenta-se o balanço energético comparativo entre um sistema convencional de produção de energia térmica e eléctrica, constituído por uma caldeira ou gerador de vapor e energia eléctrica adquirida à rede, e um sistema de Cogeração.

SISTEMA CONVENCIONAL DE PRODUÇÃO SEPARADA DE ELECTRICIDADE E CALOR



SISTEMA DE COGERAÇÃO



Figura 4 · Balanço comparativo, em unidades de energia, entre um sistema convencional de produção de energia térmica e eléctrica e um sistema de Cogeração [2] (Adaptado da fonte).

A análise dos esquemas apresentados na Figura 4 permite concluir que um sistema de Cogeração fornece as mesmas quantidades de energia (térmica e eléctrica) que um sistema convencional, necessitando para tal de menos quantidade de combustível. Esta poupança advém do aproveitamento do calor gerado pelos ciclos termodinâmicos das máquinas térmicas. Observa-se que o sistema convencional, em que a energia eléctrica é fornecida por centrais eléctricas tradicionais, isto é, é adquirida à rede pública pela instalação, necessita de 153 unidades de energia do combustível para a obtenção de 55 unidades de energia térmica e de 35 unidades de energia eléctrica. Por sua vez, o uso de um sistema de Cogeração típico traduzir-se-ia num consumo de apenas 100 unidades de energia do combustível, conseguindo-se os mesmos níveis de calor e electricidade.

Assim, pode afirmar-se com rigor que um sistema baseado no princípio da Cogeração é claramente mais eficiente do que a alternativa tradicional, composta por um gerador eléctrico e por uma caldeira, permitindo reduções importantes ao nível das emissões de CO₂. No que diz respeito à eficiência energética, os equipamentos de Cogeração possuem um sistema de classificações similar, por exemplo, ao dos electrodomésticos. São classificados, no mínimo, com a categoria B, correspondente a valores de eficiência superiores a 70% (ver Figura 5) [4].

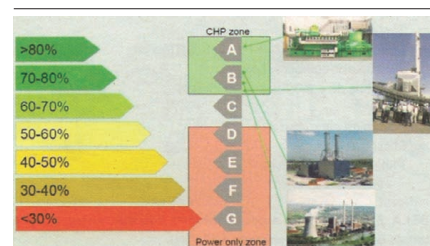


Figura 5 · Classificação da eficiência energética de sistemas de Cogeração e de sistemas convencionais de produção de electricidade [4].

Nos anos mais recentes, a Cogeração tornou-se uma proposta prática e atractiva para uma variada gama de aplicações, desde processos industriais a edifícios públicos (escritórios, comércio, lazer, turismo e educação, entre vários outros) e, ainda, em sistemas públicos de climatização, inicialmente, denominados por *District Heating* e, actualmente, com o avanço das tecnologias de Trigeração, designados por *District Heating and Cooling* (DHC).

A dimensão de um sistema de Cogeração é muito variada, desde pequenas aplicações com uma potência eléctrica menor do que 5 kW, em pequenas moradias, até aplicações com uma potência eléctrica de 500 MW, em indústrias ou em sistemas públicos de climatização [5].

Os sistemas de Cogeração assumirão um protagonismo cada vez maior, tendo em conta o peso extraordinário do calor e da electricidade no contexto da procura energética mundial. Na União Europeia, em 2005, estes dois sectores possuíam um peso combinado de cerca de 60% da procura energética total (Figura 6) [3].

Diversos estudos demonstram que, aproximadamente, metade dos níveis de redução de emissões de GEE necessários podem ser alcançados meramente através de um consumo mais racional e eficiente; a restante contribuição para esta redução depende das diversas formas de produção de energia, destacando-se o recurso às energias renováveis, à energia nuclear e ao uso extremamente eficiente dos combustíveis fósseis menos poluentes, onde a Cogeração poderá dar um importante contributo [5].

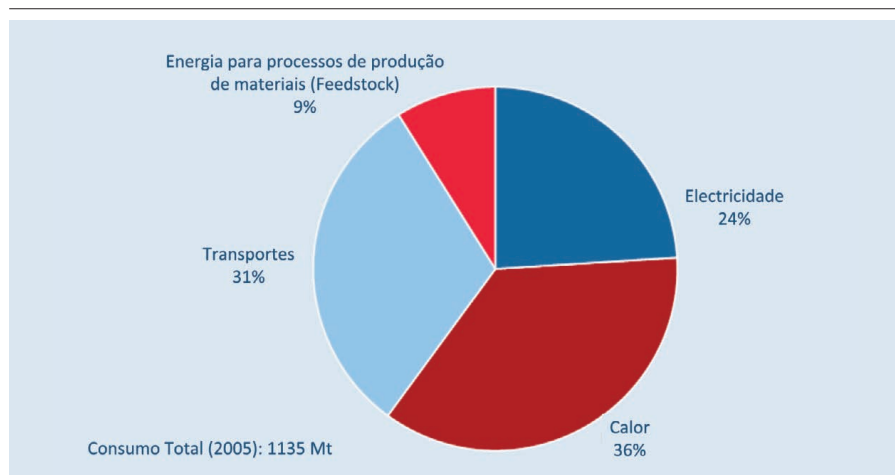


Figura 6 · Distribuição da procura de energia na União Europeia, em 2005 [3] (Adaptado da fonte).

Um sistema de Cogeração otimizado deve ser instalado tão próximo quanto possível do local onde existem as necessidades de calor e, geralmente, é projectado de forma a corresponder inteiramente às mesmas – quer se trate de uma indústria, de um edifício ou de qualquer outra instalação – pois o transporte da electricidade eventualmente produzida em excesso é menos oneroso do que o transporte do calor possivelmente excedente. Assim, na maior parte dos casos, a instalação de Cogeração deve ser vista, antes de mais, como uma fonte de produção de calor, considerando-se a electricidade produzida pelo sistema como um produto secundário ou derivado [3]. Contudo, esta tem uma importância considerável, nomeadamente, a parcela que é vendida à rede pública, devido ao peso que possui no estudo de viabilidade económica do projecto.

Numa época de forte impulso das energias renováveis pode, à primeira vista, parecer algo contraditório a referência à Cogeração que, numa parte substancial dos casos, recorre a combustíveis fósseis. Contudo, dado que a sociedade irá ainda depender, em grande medida, e por mais algumas décadas, deste tipo de combustíveis, faz sentido que o seu uso seja efectuado com a máxima racionalidade e eficiência. É neste contexto que a promoção da solução de Cogeração se afigura como uma medida decisiva, tendo em conta as diversas poupanças que permite obter.

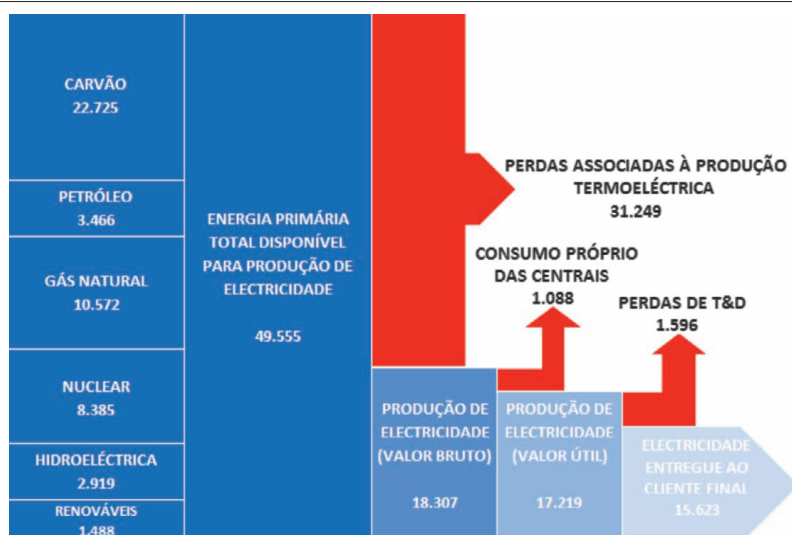


Figura 7 · Fluxos energéticos no sistema eléctrico global (TWh), em 2007 [3] (Adaptado da fonte).

1.2 Benefícios da Cogeração

Os sistemas de Cogeração constituem-se como uma solução deveras atractiva, uma vez que combinam uma variedade de benefícios energéticos, económicos e ambientais. Numa primeira análise, estes devem-se a algumas características próprias desta solução, tais como o carácter descentralizado, o aproveitamento do calor resultante do processo de combustão e a redução de diversos tipos de perdas, tais como as associadas à produção convencional termoelétrica e as que resultam do Transporte e Distribuição (T&D) de electricidade (Figura 7).

Nos vários sectores da economia, desde a indústria ao sector terciário, os sistemas de Cogeração e Trigeração, recorrendo a uma série de tecnologias consolidadas, fiáveis e com uma relação custo/benefício objectiva, têm provado ser uma solução adequada a inúmeros tipos de instalações. Enumeram-se então as vantagens específicas da produção combinada de electricidade, calor e/ou frio:

1. Aproveitamento do calor residual

A possibilidade de aproveitamento do calor gerado traduz-se numa melhoria significativa da eficiência, relativamente às centrais termoelétricas convencionais. A eficiência global de uma central tradicional não supera os 40%, desde há várias décadas. Cerca de dois terços da energia primária utilizada para produzir electricidade, neste tipo de instalações, é desaproveitada sob a forma de calor residual [3].

Pelo contrário, um sistema de Cogeração atinge valores de eficiência superiores a 80% [2].

2. Poupança de Energia Primária

A considerável melhoria dos valores de eficiência verificada neste tipo de equipamentos conduz a uma poupança significativa, em termos de energia primária. Tem-se verificado que a implementação bem sucedida de sistemas de Cogeração promove reduções de, aproximadamente, 25% no consumo de combustível, em comparação com os sistemas de produção separada de calor e electricidade [6].



3. Benefícios económicos para o Cliente Final

As poupanças obtidas, em termos de consumo de combustíveis, traduzem-se em reduções substanciais da factura energética das instalações que optam por sistemas de produção combinada de calor e electricidade [6].

4. Redução das emissões de Gases com Efeito de Estufa

Diversos estudos apontam para que a solução de Cogeração possa contribuir, em 2015, com mais de 4% do total de redução de emissões de CO₂ conseguido a nível global, prevendo-se que esta contribuição aumente para mais de 10%, em 2030.

Nos EUA, estima-se que a Cogeração permita, actualmente, uma redução de emissões de CO₂ na casa das 400 Mt, por ano, enquanto que na UE este valor se situa nas 57 Mt por ano, correspondente a 15% da redução de emissões verificada no continente europeu, no período 1990-2005. Refira-se, como elemento de comparação, que a redução de emissões de CO₂ associada à utilização de energias renováveis, nos países da UE, se situa nos 25%, para o mesmo período [3]. Por outro lado, a utilização maioritária do gás natural, em vez de combustíveis derivados do petróleo ou carvão, reduz a zero as emissões de SO₂ e partículas [5].

Assim, esta solução pode dar um contributo decisivo no sentido da estabilização, e posterior redução, das emissões de GEE necessárias para evitar as alterações climáticas. Saliente-se que o potencial da Cogeração para a redução de emissões a curto prazo é extraordinário, sendo bastante superior ao de muitas outras políticas energéticas.

É, ainda, uma das formas mais acessíveis de minimizar as emissões de GEE. Num estudo promovido por autoridades holandesas, relativamente aos custos das diversas políticas de promoção da redução de emissões carbónicas, esta solução foi identificada como uma das mais acessíveis, a 25€/t CO₂, com um custo inferior às caldeiras de condensação ou à energia eólica, entre outros [3].

5. Descentralização do sistema de produção de electricidade

A adopção, em larga escala, da solução de Cogeração favorece a Produção Dispersa, permitindo um aumento da fiabilidade do fornecimento energético. As pequenas implementações de Cogeração de electricidade e calor, ligadas à rede eléctrica, possibilitam um funcionamento da instalação sem interrupções causadas por falhas da rede [3].

Em muitos países, a Cogeração é apontada como o factor responsável pelo declínio da construção de centrais nucleares e grandes hidroeléctricas. Por outro lado, esta solução promove um aumento da estabilidade do sistema eléctrico, diminuindo o congestionamento nas linhas e as sobrecargas [7]. Nomeadamente, nos picos de calor verificados nos meses de Verão, através de sistemas de Trigerção, as cargas podem ser transferidas para períodos fora de ponta. O frio é armazenado em bancos de gelo, durante os períodos nocturnos, para depois satisfazer as necessidades de climatização que se verificam durante o dia [3].

6. Redução das perdas de Transporte e Distribuição

Como qualquer outra forma de produção de energia com carácter descentralizado, a Cogeração permite uma redução considerável das perdas de Transporte que se verificam nas linhas que ligam as grandes centrais aos centros de consumo. Adicionalmente, podendo a electricidade produzida em Cogeração ser consumida pelas próprias instalações que albergam estes sistemas, diminuem-se também as perdas nas linhas de Distribuição. Estima-se que as perdas de T&D totalizem cerca de 9% do valor útil de electricidade produzida anualmente (Figura 7) [3].

7. Minimização dos investimentos no sector eléctrico

O crescimento da aplicação de soluções de Cogeração fará diminuir a construção de grandes centrais, que possuem um custo efectivo mais elevado. Por outro lado, as necessidades de T&D de electricidade serão minimizadas, o que se traduz em menores custos de investimen-

to nestas redes. Assim, aponta-se para que a Cogeração contribua, globalmente, para uma redução do investimento no sector eléctrico da ordem dos 530 biliões de Euros, ao longo das próximas duas décadas [3].

8. Redução da dependência da importação de combustíveis fósseis

O uso eficiente da energia primária proporcionado pela Cogeração tem como consequência a necessidade de menores quantidades de combustível, contribuindo para reduzir a dependência das nações face à sua importação, que tem provado ser um factor extremamente negativo para as suas economias [8].

9. Aproveitamento de resíduos decorrentes da actividade da instalação

A Cogeração pode potenciar o aproveitamento dos resíduos resultantes da actividade de algumas instalações, nomeadamente, pelo uso de resíduos sólidos orgânicos agro-industriais, sob a forma de biomassa sólida, biocombustíveis e biogás. Este aproveitamento traduz-se em vantagens a nível ambiental e, também, económico, dado que frequentemente estes resíduos possuem um custo de tratamento significativo [3].

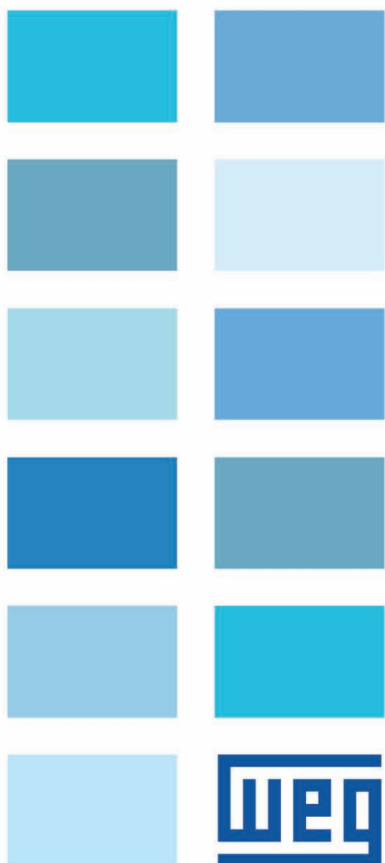
10. Outros benefícios inerentes à Produção Dispersa

Existem ainda um sem número de benefícios associados à Cogeração, enquanto forma de Produção Dispersa, com capacidade de intervenção a nível local, tais como a criação de emprego, a qualificação da mão-de-obra, o desenvolvimento económico e social, entre outros.

1.3) Parâmetros de caracterização de um sistema de Cogeração

Quando se considera a produção separada de energia eléctrica e de calor, os parâmetros de rendimento utilizados comparam a energia utilizada com a que é gasta no combustível, tendo em conta o seu Poder Calorífico Inferior (PCI) [4].

O poder calorífico, por definição, é a quantidade de energia desenvolvida pela com-



NOVA GAMA

W22



PRETENDE MAIOR EFICIÊNCIA
E REDUÇÃO DE CUSTOS?

- . Manutenção reduzida
- . Poupança de energia
- . Baixos níveis de ruído e vibrações
- . Baixos custos de exploração
- . Cumpre os requisitos de rendimento IE1, IE2, IE3 e IE4, EAct e NEMA Premium

EFICIÊNCIA E FIABILIDADE PARA A INDÚSTRIA

www.weg22ways.net

bustão completa de uma unidade de combustível. Geralmente, esta noção aplica-se apenas aos combustíveis podendo, no entanto, referir-se ao calor dissipado por efeito de Joule, no caso da electricidade.

Para os produtos combustíveis, considera-se o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI). O PCS é dado pela soma da energia libertada, sob a forma de calor, e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reacção de oxidação. O PCI é dado apenas pelo primeiro termo, isto é, apenas pela energia libertada, sob a forma de calor. No caso de combustíveis que não possuem hidrogénio na sua composição, os valores de PCS e PCI coincidem, uma vez que não há a formação de água e, em consequência, não há energia gasta na sua vaporização. Assim, o PCS de um dado combustível é sempre maior ou igual do que o PCI [9].

O rendimento é expresso em termos de PCS apenas para grandes centrais de produção de energia, respeitando as normas DIN e ASME [4]. No caso específico da Cogeração, geralmente, os rendimentos referem-se ao PCI.

Assim, num sistema de Cogeração, consideram-se dois tipos de rendimento, eléctrico e térmico, de acordo com as expressões que se apresentam de seguida [4].

$$\eta_{\text{eléctrico CHP}} = \frac{E}{C}$$

$$\eta_{\text{térmico CHP}} = \frac{Q}{C}$$

Em que:

- E é a energia eléctrica produzida, em kWh;
- Q é a energia térmica produzida, em kWh;
- C é a energia disponível num dado combustível, em kWh.

Todavia, como o sistema de Cogeração contempla a produção combinada das duas formas de energia, define-se um rendimento global, considerando a energia eléctrica e a energia térmica produzida [4].

$$\eta_{\text{CHP}} = \frac{E + Q}{C}$$

Este parâmetro também se designa por Factor de Utilização de Energia (FUE). Pode, ainda, ser exprimido ponderado por preços, uma vez que a energia eléctrica e a energia térmica possuem um valor económico e exergético diferente [10]. Neste caso, o Factor de Utilização de Energia Ponderado por Preços (FUE_{pp}) será dado pela seguinte expressão:

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

Em que P_E , P_Q e P_C representam preços por unidade de energia (por exemplo, em kWh) de electricidade, calor e combustível.

Por outro lado, quando existe produção separada de electricidade e calor, o rendimento global do sistema é calculado pela expressão:

$$\eta_{\text{Sistema Convencional}} = \frac{E + Q}{\frac{E}{\eta_{\text{eléctrico}}} + \frac{Q}{\eta_{\text{térmico}}}}$$

Em que $\eta_{\text{eléctrico}}$ e $\eta_{\text{térmico}}$ representam, respectivamente, os rendimentos eléctrico e térmico dos equipamentos que produzem separadamente as duas formas de energia [4].

Assim, pelo que decorre das expressões anteriores, pode calcular-se a Poupança de Energia Primária (PEP), permitida por um sistema de Cogeração [4].

$$\begin{aligned} PEP &= \eta_{\text{CHP}} - \eta_{\text{Sistema Convencional}} = \\ &= \frac{E + Q}{C} - \frac{E + Q}{\frac{E}{\eta_{\text{eléctrico}}} + \frac{Q}{\eta_{\text{térmico}}}} = 1 - \frac{C}{\frac{E}{\eta_{\text{eléctrico}}} + \frac{Q}{\eta_{\text{térmico}}}} = \\ &= 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{\text{eléctrico CHP}}}{\eta_{\text{eléctrico}}} + \frac{\eta_{\text{térmico CHP}}}{\eta_{\text{térmico}}}} \end{aligned}$$

Outro parâmetro utilizado para caracterizar um sistema de Cogeração é a razão Calor/Trabalho Produzido [10]. Esta é dada pela expressão:

$$\gamma_{\text{CG}} = \frac{Q}{E}$$

Esta razão apresenta valores típicos para cada tecnologia de Cogeração. Na Tabela 1, indica-se uma gama aproximada de valores, para algumas tecnologias.

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Turbina de vapor de contra-pressão | 1 - 4 |
| Turbina a gás | 0,5 - 1,5 |
| Motor ciclo Diesel | 0,2 - 0,8 |

Tabela 1 - Valores da Razão Calor/Trabalho Produzido, para algumas tecnologias de Cogeração [10].

Refira-se que, nas turbinas de vapor, a razão Calor/Trabalho Produzido pode tomar valores menores se se tratar de uma turbina de extracção/condensação ou, ainda, de um conjunto de duas turbinas (uma de contra-pressão e outra de extracção/condensação). Por outro lado,

nas turbinas a gás, a razão Calor/Trabalho Produzido pode ser diminuída, pela utilização de um ciclo com injeção de vapor (STIG - *Steam Injected Gas Turbine*) [10].

Verifica-se que a PEP é máxima quando este parâmetro assume valores próximos da unidade, tal como é ilustrado no gráfico apresentado na Figura 8.

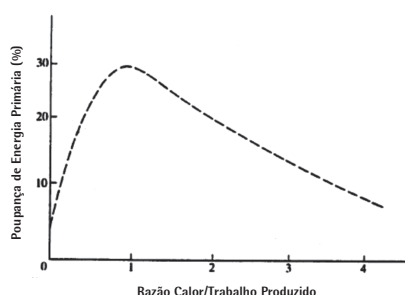


Figura 8 · Relação entre a razão Calor/Trabalho Produzido e a Poupança de Energia Primária [10] (Adaptado da fonte).

Outro parâmetro que geralmente se utiliza para sistemas de Cogeração, principalmente, para aplicações com motores de combustão interna (isto é, para combustíveis líquidos), relaciona-se com o conceito de consumo específico [10]. Define-se, por norma, em g/kWe e é denominado por Consumo Específico Equivalente (CEE), sendo dado pela expressão seguinte:

$$CEE = \frac{C - \frac{Q}{\eta_{\text{térmico CHP}}}}{E}$$

Apresenta-se, por último, provavelmente, o parâmetro caracterizador de sistemas de Cogeração mais significativo: o Rendimento Elétrico Equivalente (REE).

Para que $\eta_{\text{CHP}} > \eta_{\text{Sistema Convencional}}$, tendo em conta as expressões para estes dois rendimentos, deve verificar-se a seguinte condição:

$$C < \frac{E}{\eta_{\text{elétrico}}} + \frac{Q}{\eta_{\text{térmico}}}$$

Assim, a expressão para o cálculo do REE toma a seguinte forma:

$$REE = \frac{E}{C - \frac{Q}{\eta_{\text{térmico CHP}}}} > \eta_{\text{elétrico CHP}}$$

Verifica-se então que o REE deve ser superior a um valor do rendimento de produção de electricidade que se constitua como referência [10].

Os sistemas de Cogeração devem possuir um REE superior ao do melhor método de produção centralizada de electricidade. Assim, depreende-se que a definição do REE depende de cada país. Na Legislação Portuguesa, o REE passou de 45% (Decreto-Lei n.º 186/95) para um valor mínimo de 55% (Decreto-Lei n.º 538/99), para a maior parte das instalações, quando entrou em funcionamento a central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro. Actualmente, no nosso país, o REE depende ainda da possível utilização de recursos renováveis.

Refira-se, para comparação, que em França o seu valor é de 65%, devido à elevada penetração de centrais nucleares. Por outro lado, em Espanha, o REE é definido em função do combustível e da tecnologia utilizados no sistema de Cogeração, com valores que variam entre 49% e 59% [10].

1.4. Modos de funcionamento de um sistema de Cogeração

É necessário estabelecer regras de funcionamento e definir o modo de operação de cada sistema de Cogeração. O modo de operação é definido como a forma segundo a qual o sistema deve operar para assegurar a viabilidade da implementação, o que se encontra intimamente relacionado com a utilização racional da energia no processo [11]. Assim, factores de índole técnica e económica devem ser tidos em consideração na sua escolha, para um dado projecto. Destacam-se os seguintes:

- › consistência entre as necessidades eléctricas e térmicas da instalação e as características do sistema de Cogeração escolhido (capacidade de produção de electricidade e de recuperação de calor);
- › perfil das necessidades térmicas da instalação, incluindo os níveis de temperatura e as flutuações típicas, ao longo de um ciclo diário, mensal ou anual;
- › perfil das necessidades eléctricas da instalação, tendo em conta variações características;
- › custos actuais em combustível e na electricidade adquirida à concessionária da rede, bem como a projecção futura destes valores;
- › proveitos com a remuneração da electricidade produzida pelo sistema e entregue à rede pública, bem como a sua evolução no tempo;
- › custos de operação e manutenção do sistema;
- › aspectos ambientais [11].

Na operação de um sistema de Cogeração, uma condição para assegurar a máxima eficiência é a de que a recuperação do calor rejeitado no processo de combustão deve ser a maior possível. Se, ainda assim, as necessidades de calor da instalação superarem o calor recuperado, recorre-se a uma fonte de calor adicional como sistema de apoio (uma caldeira a gás, por exemplo) [3].

Num modo de funcionamento ideal, verificar-se-ia o equilíbrio e o sistema de Cogeração operaria no ponto energeticamente recomendável, isto é, sem excedentes ou défices. Contudo, na prática, tal modo de funcionamento é impossível, pois as necessidades da esmagadora maioria das instalações não são regulares nem uniformes, mas bastante variáveis no tempo. Deste modo, para obter uma margem de segurança, o sistema de Cogeração deve ser capaz de enfrentar tais desequilíbrios, devendo operar sempre em torno de um ponto médio das necessidades da instalação, cuja definição é complexa mas de extrema importância [11].



Assim, a escolha do modo de funcionamento é realizada em função da supremacia de uma forma de energia (energia eléctrica ou mecânica e energia térmica) sobre a outra, estabelecendo-se qual o produto principal, de acordo com os objectivos da implementação do sistema. Existem, fundamentalmente, quatro estratégias normais de funcionamento para um sistema de Cogeração:

1. Funcionamento em paridade térmica (controlo - calor)

Neste modo de funcionamento, o sistema de Cogeração é dimensionado para produzir uma quantidade de calor que equivalha às necessidades térmicas da instalação, em cada período de tempo considerado. Assim, o calor é o produto principal e a electricidade é um subproduto da Cogeração.

O sistema deverá estar ligado à rede pública, de modo a que se possa vender a electricidade excedente ou adquirir electricidade, consoante o caso [11] [12].

2. Funcionamento em paridade eléctrica (controlo - electricidade)

Desta feita, o sistema de Cogeração é projectado para satisfazer por completo as necessidades eléctricas da instalação, em cada período de tempo considerado, incluindo picos de consumo. Desta forma, a electricidade é o produto principal e o calor é um subproduto da Cogeração.

Se o calor produzido for insuficiente para responder às necessidades térmicas da instalação, é accionado um sistema auxiliar para produzir esta diferença. Se, pelo contrário, o calor produzido pelo sistema for em excesso, então será rejeitado para o ambiente ou, possivelmente, canalizado para uma instalação próxima [11] [12].

3. Funcionamento económico

Este tipo de funcionamento consiste em operar o sistema tendo em conta, antes de mais, factores económicos. Assim, o sistema de Cogeração responde a uma parte ou à totalidade das necessidades eléctricas de ponta da instalação, podendo até produzir um excedente de electricidade, de acordo com o que seja mais proveitoso, tendo em conta o valor a que a electricidade pode ser adquirida ou vendida, a qualquer momento.

Neste caso, deve ser usado um equipamento suplementar para satisfazer uma parte, ou a totalidade, das necessidades térmicas da instalação, uma vez que um sistema de Cogeração que funcione neste modo não terá, provavelmente, capacidade de as suprir [11].

4. Funcionamento em cargas parciais

Neste caso, o sistema de Cogeração é subdimensionado em relação às necessidades térmicas e eléctricas da instalação, respondendo apenas a cargas parciais destas duas formas de energia. Uma vez que o sistema não supre a totalidade das necessidades da instalação, será necessário, por um lado, adquirir electricidade à concessionária e, por outro, utilizar um equipamento de produção de energia térmica suplementar [11].

Existem, ainda, alguns modos de funcionamento combinado, tais como:

- › funcionamento em paridade térmica, com função pico-eléctrico;
- › electricidade máxima e/ou exigência de calor;
- › electricidade mínima e/ou exigência de calor;
- › modos de funcionamento de tempo variável, que são executados através de um sistema de gestão de energia que selecciona um modo de funcionamento óptimo para cada necessidade específica [12].

Com o desenvolvimento das tecnologias de automação e da aparelhagem de telemedida, os modos de funcionamento combinado, operados de forma automática, por avançados sistemas de controlo, serão os de implementação mais frequente.

REFERÊNCIAS

- [1] World Business Council for Sustainable Development. Energia para um futuro sustentável - Uma agenda para uma acção concertada. Consulta online em <http://www.wbcsd.org/web/publications/powering-agenda-portuguese.pdf>;
- [2] Indústria e Ambiente - Revista de informação técnica e científica, n.º 57. A Cogeração em Portugal - Evolução e Constrangimentos. Ibrahim Gulyurtlu, Isabel Cabrita, António Baeta Neves, David Salema;
- [3] International Energy Agency. Combined Heat and Power - Evaluating the benefits of greater global investment. Consulta online em http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2010;
- [4] Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética. André Fernando Ribeiro de Sá. Editora Publindústria;
- [5] United Nations Environment Programme. Cogeneration - Energy Technology Fact Sheet. Consulta online em <http://www.unep.fr/energy/information/publications/factsheets/pdf/cogeneration.pdf>;
- [6] Intelligent Energy Europe. Cut your energy bills with cogeneration - A basic guide on the principles and profitability of small-scale cogeneration. Consulta online em http://www.cogeneurope.eu/wp-content/uploads/2009/02/basic_guide.pdf;
- [7] BCSD Portugal - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. Energia para um futuro sustentável. Consulta online em <http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=detailFo&rec=117>;
- [8] Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte. Agenda Regional da Energia - Plano de Acção para a Promoção da Energia Sustentável no Norte de Portugal;
- [9] Galp Energia. Consulta online em http://press.galpenergia.com/galpmedia/vpt/glossario/glossario_home.htm?letra=P;
- [10] Apontamentos sobre Cogeração. João Luís Toste Azevedo. Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico;
- [11] Uso Racional de Energia. José Luz Silveira, Paulo Eduardo Migoto de Gouvêa. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Engenharia Química de Lorena;
- [12] Intelligent Energy Europe. Projecto Green Lodges: Micro-cogeração.