



António Seco Correia

Eficiência Energética na Indústria Cerâmica

Aplicações Tecnológicas

27 de Julho de 2012



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Eficiência Energética na Indústria Cerâmica

Aplicações Tecnológicas

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Energia para a Sustentabilidade, na Universidade de Coimbra

António Seco Correia

Coimbra 2012

Orientador

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

Co-Orientador

Professor Doutor José Manuel Baranda Ribeiro

Júri

Presidente

Professor Doutor Luís Miguel Cândido Dias

Vogais

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso Oliveira Gomes

Professor Doutor José Manuel Baranda Ribeiro

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

Agradecimentos

A realização desta dissertação é o culminar de mais uma vontade de estar, acompanhar a evolução de uma grande escola sempre aberta ao ensinamento de todos aqueles quem a desejam.

Com muita estima, quero deixar bem vincado os meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Humberto Jorge, não só pela sua simpatia e disponibilidade, mas também pelo seu saber no conduzir de todo este esforço ao longo da orientação desta tese, a sua disponibilidade e aquela palavra de entusiasmo e sabedoria que me foram motivando para o seu terminus. Não poderia deixar de salientar a disponibilidade e atenção que tive não só durante esta tese como em outros trabalhos ao qual eu por várias vezes solicitei o seu conhecimento e a sua experiência, os meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. José Baranda.

A todos aqueles que de alguma forma direta ou indiretamente me ajudaram e foram bastantes que se os enumerasse poderia correr o risco de não mencionar alguns.

Como não poderia deixar de ser aos meus muito queridos, filho e esposa.

A todos muito obrigado!

Resumo

Desde a revolução industrial, que o crescimento da população tem sido exponencial, facto este que tem levado ao aumento das necessidades básicas humanas. Por outro lado, a sociedade tem-se desenvolvido a grande velocidade, apoiando-se na energia que é um dos pilares mais importantes e um vector fundamental no desenvolvimento socio-económico de qualquer país. Deste modo, é um desafio do presente desenvolver meios e recorrer a tecnologias energeticamente mais eficientes. Neste sentido, “renováveis e eficiência energética” são as palavras de ordem.

O sector cerâmico é um dos maiores consumidores de gás natural na indústria transformadora. O aumento constante dos custos energéticos fragiliza o sector a nível internacional. Os custos energéticos tem um peso significativo sobre o custo total necessário para a obtenção do produto final, por isso é importante relacioná-los com as particularidades do seu processo produtivo.

O presente trabalho, que analisa casos reais da indústria cerâmica de Pavimentos e Revestimentos tem como base apresentar resultados obtidos através de medições de consumo de energia térmica e eléctrica em equipamentos grandes consumidores de energia. Os resultados são comparados com os que se poderiam obter com a introdução de novas tecnologias e aproveitamentos energéticos suscetíveis de serem feitos.

Além disso, será destacada a importância do levantamento destes dados para a tomada de decisões estratégicas para a melhoria da eficiência energética, diminuindo custos de produção e aumentando a competitividade das empresas no mercado.

Palavras-chave: Eficiência, Energia, Indústria da Cerâmica, Medidas de Racionalização de Consumos

Abstract

Since the industrial revolution, the population growth has been exponential, a fact which has led to an increase in basic human needs. Moreover, the company has developed a high speed, relying on energy that is one of the most important pillars and a key vector in the socio-economic development of any country. Thus, this is a challenge to develop ways and turn to more energy efficient technologies. In this sense, "renewable energy and energy efficiency" are the watch words.

The ceramic sector is a major consumer of natural gas in manufacturing. The steady increase in energy costs weakens the sector internationally. Energy costs have a significant bearing on the overall cost required to obtain the final product, so it is important to relate them with the particulars of their production process.

This study, which examines actual cases of the ceramic and floor coverings is based on present results obtained by measuring the consumption of thermal energy and electrical equipment in major energy consumers. The results are compared with those that could be obtained with the introduction of new technology and use and energy may be made. Also, will highlight the importance of these survey data to make strategic decisions to improve energy efficiency, reducing production costs and increasing competitiveness in the market.

Keywords: Efficiency, Energy, Technology, Electricity, Heat, Power, Reduce, Cogeneration.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Quadros	viii
Simbologia.....	ix
Siglas.....	x
1 Introdução.....	1
2 Enquadramento eficiência energética na indústria	2
2.1 Regulamento de Gestão do Consumo de Energia.....	4
2.2 Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.....	5
2.2.1 Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	7
3 Caracterização da Indústria Cerâmica.....	10
3.1 Evolução Tecnológica da Indústria Cerâmica.....	12
3.2 Subsector de Pavimentos e Revestimentos Cerâmicos	12
3.3 Principais Equipamentos Consumidores de Energia	13
3.3.1 Preparação de Matérias-primas.....	13
3.3.2 Secagem	15
3.3.3 Cozedura.....	16
3.3.4 Sistemas acionados por motores elétricos	17
4 Cogeração na indústria cerâmica	18
4.1 Conceito e benefícios da Cogeração	20
4.2 Enquadramento legislativo à promoção da Cogeração	21
4.3 Cálculo das poupanças de energia	21
4.4 Estudo de caso – motor a gás.....	24
5 Outras boas práticas aplicadas à indústria cerâmica	38
5.1 Motores elétricos	38
5.2 Atomização.....	41
5.2.1 Sistema de gestão técnica	42

5.2.2	Recuperação de ar quente dos fornos	43
5.2.3	Adaptar Cogeração no atomizador	44
5.3	Secadores	45
5.3.1	Regulação do ventilador da chaminé num secador EVA 992.....	45
5.4	Fornos.....	50
6	Conclusões.....	54
7	Referências Bibliográficas	55
8	Anexos	57

Índice de Figuras

Figura 1 - Intensidade Energética (primária) da Economia	2
Figura 2 - Consumo energia por setores	3
Figura 3 - Resumo esquemático dos programas do PNAEE.....	6
Figura 4 - Síntese de aplicação para instalações com CIE \geq 1000 tep/ano	8
Figura 5 - Síntese de aplicação para instalações com CIE \geq 500 tep/ano	8
Figura 6 - Classificação do setor cerâmico.....	11
Figura 7 - Evolução dos moinhos	14
Figura 8 - Funcionamento de um atomizador	15
Figura 9 - Secadores rápidos, vertical e horizontal.....	16
Figura 10 - Motor a GN e alternador	24
Figura 11 - Esquema de cogeração baseado em motor a gás (ciclo Otto)	28
Figura 12 - Diagrama de carga dos serviços auxiliares	31
Figura 13 - Classes de eficiência IE para motores de 4 polos a 50	39
Figura 14 - Pormenor do registo de estrangulamento de um ventilador.....	41
Figura 15 - Potência mecânica requerida por um ventilador com VEV	41
Figura 16 - Interface gráfica de funcionamento do atomizador.....	42
Figura 17 - Esquema recuperação exaustão de gases dos fornos	43
Figura 18 - Aproveitamento térmico com Cogeração	44
Figura 19 - Esquema de aproveitamento do ar quente do arrefecimento do forno para o secador	45
Figura 20 - Secador com regulação chaminé de exaustão	46
Figura 21 - Esquema de aproveitamento de ar quente do forno	51

Índice de Quadros

Quadro 1 - Características da instalação (ano 2010).....	25
Quadro 2 - Condições de funcionamento.....	25
Quadro 3 - Consumos mensais de combustível	29
Quadro 4 - Energia elétrica vendida mensalmente	30
Quadro 5 - Horas de funcionamento mensais.....	30
Quadro 6 - medida do circuito HT	31
Quadro 7 - medida dos gases de escape	32
Quadro 8 - Produções mensais de energia térmica	35
Quadro 9 - REE.....	35
Quadro 10 - Energia elétrica consumida em serviços auxiliares	36
Quadro 11 - Classes de eficiência IE para motores segundo a IEC 600341	39
Quadro 12 - Economia e redução de energia	49
Quadro 13 - Fuga de ar quente do forno.....	53

Simbologia e Siglas

Simbologia

A	Área de saída do ar	$[m^2]$
Cp_{ag}	Calor específico da água	$[kJ/kg \text{ } ^\circ C]$
Cp_g	Calor específico dos gases	$[kJ/Kg \cdot ^\circ C]$
E_{CHP}	Energia elétrica produzida na cogeração	$[MWh]$
F_{CHP}	Consumo do combustível utilizado na cogeração	$[MWh]$
H	Húmidade absoluta do ar	$[kg \text{ vapor dev água} / kg \text{ ar seco}]$
H_{CHP}	Calor útil recuperado na cogeração	$[MWh]$
m_{ag}	Caudal volumétrico da água	$[m^3/h]$
M_{ar}	Caudal mássico do ar	$[kg/h]$
mCp_{ar}	Massa específica do ar	$[kg/m^3]$
M_g	Caudal mássico de gases secos	$[kg/h]$
m_{var}	Caudal volumétrico de ar à T_s	$[m^3/h]$
P_{atm}	Pressão atmosférica	$[mm \text{ Hg}]$
PCI_{GN}	Poder calorífico inferior do gás natural	$[kJ/Nm^3]$
$P_{v \text{ sat}}$	Pressão de vapor saturação	$[mm \text{ Hg}]$
P_v	Pressão do vapor	$[mm \text{ Hg}]$
Q_{ag}	Energia associada à água	$[kJ/h]$
Q_g	Energia associada a gases húmidos	$[kJ/h]$
T_g	Temperatura dos gases	$[^\circ C]$
T_s	Temperatura extração do ar	$[^\circ C]$
V	Velocidade do ar à T_s	$[m/s]$
W	Teor de húmidade dos gases	$[kg \text{ H}_2\text{O}/Kg \text{ gases secos}]$
ΔT_{ag}	Diferença de temperatura da água	$[^\circ C]$
η_{GLOBAL}	Rendimento global da cogeração	$[\%]$
ρ	Massa específica da água	$[kg/m^3]$
Φ	Húmidade relativa do ar	$[\%]$

Siglas

ADENE	Agência para a Energia
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
CEE	Consumo Especifico de Energia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
GN	Gás Natural
IC	Intensidade Carbónica
IE	Intensidade Energética
PCI	Poder Calorifico Inferior
PCS	Poder Calorifico Superior
PEP	Poupança de Energia Primária
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PREn	Planos de Racionalização dos Consumo de Energia
REE	Rendimento Elétrico Equivalente
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
VEV	Variador Eletrónico de Velocidade

1 Introdução

Este trabalho tem por objetivo, identificar boas práticas, conhecimentos e estratégias usadas através de aplicação de novas tecnologias, para que dentro dos diferentes subsectores da indústria cerâmica, estes possam produzir com menores custos unitários aumentando a sua competitividade. Esta Indústria abrange uma panóplia de produtos com os mais diversos processos produtivos. Como consequência, os subsectores apresentam diferenças significativas entre si, quer a nível de necessidades energéticas, quer a nível de tecnologia mais eficiente que conduza a uma maior eficiência energética como um valor acrescentado para a indústria e o meio ambiente.

O presente trabalho, foi realizado com a colaboração de algumas indústrias cerâmicas e produtores de máquinas para a indústria cerâmica, tendo como principal objetivo estudar medidas concretas que permitam melhorar a eficiência e diminuir de forma significativa desperdícios de energia. A proposta deste trabalho, vem no seguimento de um trabalho de implementação de medidas típicas de conservação de energia, visando a conjuntura atual da economia, acreditando ser possível crescer sem aumentar os consumos ou afetar a qualidade da produção. Assim, o presente estudo irá focar-se nos principais consumidores de energia, identificando as áreas de atuação, e desenvolvendo soluções para economizar energia através de uma utilização mais eficiente. Dentro desta indústria, tipicamente o processo de secagem consome cerca de 30% do gás natural e apresenta um potencial de aproveitamento de calor residual de outros processos para o aquecimento do ar de secagem. Como seguimento deste trabalho, apresenta-se um estudo de uma cogeração (ciclo Otto), à qual é feita uma auditoria para apurar a poupança de energia primária (PEP) e o rendimento elétrico equivalente (REE). Os sistemas de cogeração requerem apenas 65% da energia primária necessária num sistema tradicional, apresenta ganhos de eficiência e apresenta também benefícios ambientais pela redução de emissões poluentes por unidade de energia eléctrica útil produzida.

2 Enquadramento eficiência energética na indústria

Após o primeiro choque petrolífero e, como consequência da reação das economias ao súbito aumento do preço da energia, verifica-se uma drástica queda nos valores da intensidade energética da economia europeia, como se pode verificar (1) no gráfico abaixo. Portugal contrariamente à média Europeia, só iniciou a queda em 2006, registando em 2008, uma intensidade energética (IE) de 182 tep/M€ contra 167 tep/M€.

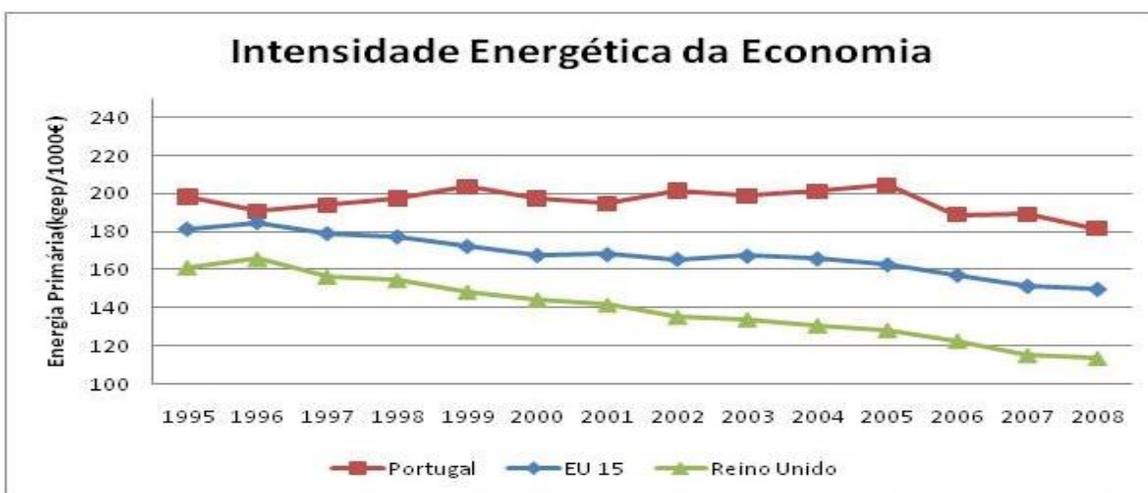


Figura 1 - Intensidade Energética (primária) da Economia

Fonte: Eurostat – preços constantes 2000

Em 2006, a Europa apresentava uma dependência energética de cerca de 54%, enquanto Portugal importava cerca de 82% da energia que consumia. Desde 1995 que a dependência energética nunca foi inferior a 80%, mostrando assim uma grande dependência energética.

Portugal apresenta uma baixa eficiência energética quando comparado com a economia europeia, com uma IE acima do nível da EU, verificando-se a partir de 2006 uma tendência de decréscimo, mas ainda com valores acima da média europeia, a que corresponde também uma elevada intensidade carbónica (IC). A emissão excessiva de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa é uma das principais consequências da falta de eficiência no consumo de energia obtida da queima de combustíveis fósseis.

O consumo de energia final na indústria (Fig.2) começou a apresentar uma tendência decrescente a partir de 2000, embora a atividade económica deste sector tenha apresentado, entre 2000 e 2004, taxas de crescimento do VAB (valor acrescentado bruto). A redução do consumo de energia final na indústria nos últimos anos resulta de uma crescente aposta em tecnologias e soluções energéticas mais eficientes. O custo da energia tem impacto directo, a curto prazo, nos resultados financeiros do sector industrial, pelo que é de esperar que o consumo continue a descer, resultado do investimento na eficiência energética e no uso mais racional de energia.

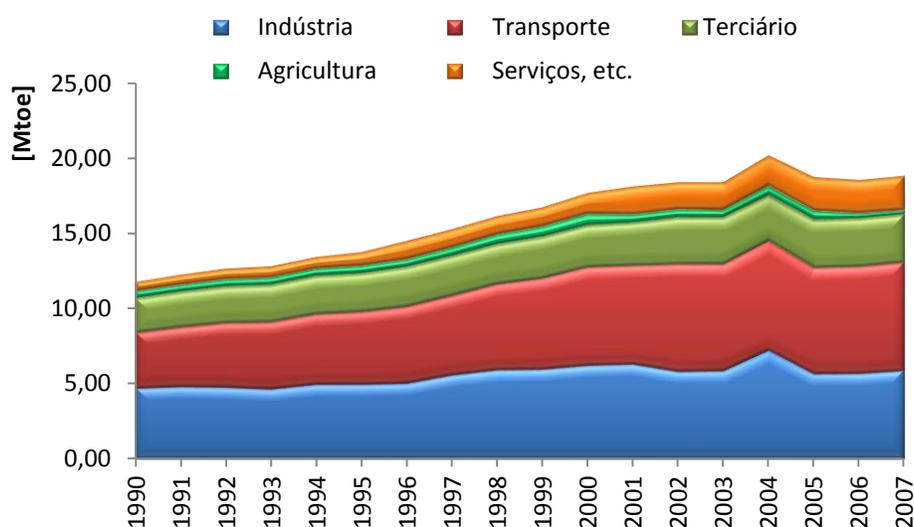


Figura 2 - Consumo energia por setores

Fonte: Eurostat, Maio 2009

Várias razões para optar pela eficiência energética.

A eficiência energética é o caminho mais económico para Portugal. Cada kWh poupado, de acordo com a Entidade Reguladora do Sector Energético, **é dez vezes** mais barato que o custo de um kWh a ser produzido, inclusive por energias renováveis. Como está intimamente ligada às nossas opções e ações quotidianas, a eficiência energética promove a consciencialização para a necessidade de sermos todos parte da solução, uma vez que somos todos parte do problema. Portugal tem um potencial de eficiência

energética enorme nos vários sectores, é a única solução isenta de emissões de gases com efeito de estufa, pois evita a exploração e transformação de recursos não renováveis, como o petróleo, carvão, gás natural e urânio. Além disso evita a construção de infraestruturas de produção de energia, mesmo que seja de fontes renováveis. Permite reduzir os gastos com a energia a qualquer cidadão, agregado familiar, entidade ou empresa, contribuindo também para a independência energética de Portugal.

2.1 Regulamento de Gestão do Consumo de Energia

Portugal desde 1982, que procura introduzir medidas para diminuir o consumo energético, que passam quer pelo aumento da eficiência energética, quer pelo aumento da utilização de energias renováveis e/ou alternativas. Surge desta forma o Dec.Lei 58/82, de 26 de Fevereiro, que veio criar um quadro legal com introdução de regulamentação para as empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia. Ao abrigo deste diploma foram publicadas duas portarias, a Portaria 359/82, de 7 de Abril, 1º Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) e a Portaria 228/90, de 27 de Março, Regulamento da Gestão do Consumo de Energia para o sector dos transportes.

Os consumidores intensivos de energia passaram a ter que cumprir o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), que obrigava à realização de auditorias energéticas periódicas e à implementação de medidas de racionalização e conservação de energia, de acordo com um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia. Este regulamento era aplicável a qualquer indústria, desde que:

- Consumo energético do ano anterior fosse superior a 1000 tep;
- A soma dos consumos energéticos nominais dos equipamentos instalados excedesse 0,500 tep/hora;
- A instalação tivesse um equipamento cujo consumo energético nominal fosse 0,300 tep/hora.

No RGCE, segundo a portaria acima referenciada era estabelecido um valor de consumo específico de referência para cada tipo de atividade económica, designado por K. Assim, o consumo específico “C” determinado na auditoria, podia ser comparado com o

valor de “K” e dar uma indicação sobre o desempenho energético da instalação (se está próxima do valor de “K” ou se estava muito acima ou abaixo dele). Um valor de “C” superior a “K” significava que era possível reduzir o consumo específico de energia da instalação, isto é dispende menos energia por unidade de produção ou serviço, ou, por outras palavras que era possível a implementação de medidas conducentes a economias de energia.

O RGCE veio introduzir (2) novos conceitos de Utilização Racional de Energia, já que previa três fases distintas, auditoria energética, plano de racionalização, e monitorização e controlo do plano de racionalização. A meta anual de redução de consumo específico de energia era dada por:

$$M = \frac{C - K}{2} \times \frac{n}{5}$$

Os valores de M, C e K são referidos a quilogramas equivalentes de petróleo (kgep) por unidade de produto ou serviço obtido, para um prazo de cinco anos para as empresas em geral e três anos para o sector de transportes. Mesmo em sectores de atividade para os quais não houvesse valores de “K” publicados, o RGCE impunha a obrigatoriedade de reduzir o valor de “C” de um mínimo de 5% durante um período de 5 anos.

A energia começa a ser gerida como se tratasse de um produto que é necessário quantificar para que seja entendido qual o seu peso no processo produtivo (3).

2.2 Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

A Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008 aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) – Portugal Eficiência 2015, engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar os objetivos fixados pela CEE

O presente plano é direcionado para a gestão de procura energética, seguindo o enquadramento da diretiva nº 2006/32/CE, do Conselho Europeu, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos e em conformidade com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas de 2006 (PNAC) e com o Plano

Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE). O atual PNAEE apresenta metas para aumento da eficiência energética de 1% ao ano, até 2016, que poderão ser atingidas sem aplicação de medidas específicas, procedendo apenas à substituição de equipamentos obsoletos por outros mais eficientes.

O PNAEE induz uma maior ambição e coerência às políticas de eficiência energética, abrangendo quatro áreas específicas: Transporte, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Visa ainda três áreas transversais de atuação: Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos. No âmbito deste plano foram definidos **12 Programas** abrangentes para atuar nas várias vertentes da eficiência energética

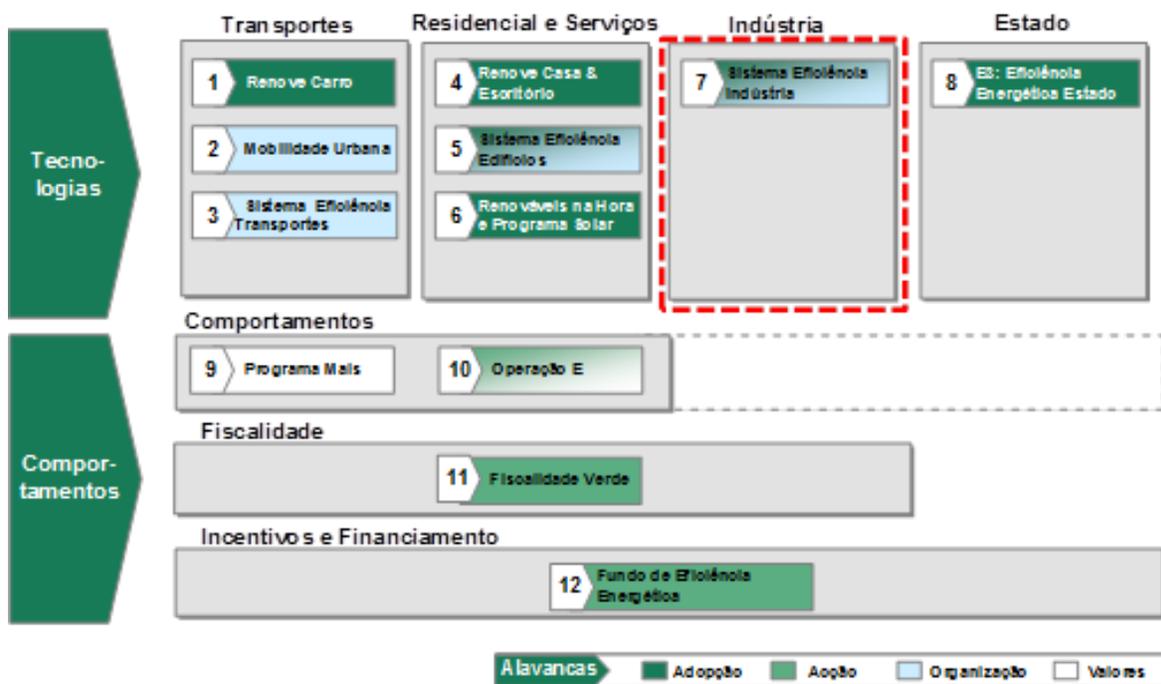


Figura 3 - Resumo esquemático dos programas do PNAEE

Fonte: ADENE

O setor Industrial é abrangido actualmente pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), que substitui o Regulamento de Gestão de Consumo de Energia.

2.2.1 Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

O Decreto-Lei n.º 71/2008, publicado em Diário da República a 15 de Abril, regula o SGCIE, no âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, sendo uma das medidas do (PNAEE) Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética que resulta de uma extensão até 2015 da medida do PNAC 2006, relativa à revisão do (RGCE) Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia e que se prevê que permita obter economias de energia de cerca de 500 ktep/ano.

Este diploma (5) define quais as instalações consideradas Consumidoras Intensivas de Energia (CIE), alargando o âmbito de aplicação do anterior regulamento (RGCE) a um maior número de empresas e instalações, com vista ao aumento da sua eficiência energética. Estabelece ainda um regime diversificado e administrativamente mais simplificado para as empresas que já estão vinculadas a compromissos de redução de emissões de CO₂ no quadro do Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE).

O atual diploma prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê ainda, que elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia, estabelecendo acordos de racionalização desses consumos com a (DGEG) Direção Geral de Energia e Geologia. Estes acordos contemplam objetivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram instalações (CIE)

As instalações CIE com consumo anual superior a 500 tep/ano são obrigadas a fazer o registo das instalações, auditorias energéticas, plano de racionalização de energia (PREn) e executar este plano com técnico ou entidade reconhecida.

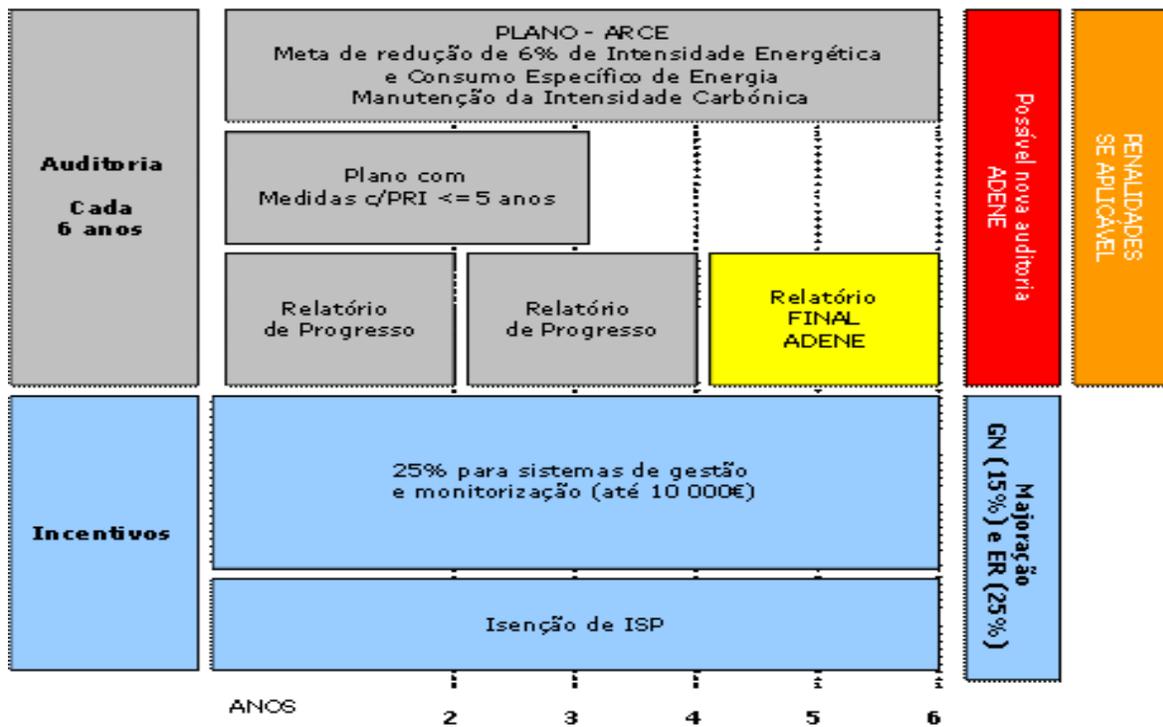


Figura 4 - Síntese de aplicação para instalações com CIE ≥ 1000 tep/ano

Fonte: ADENE

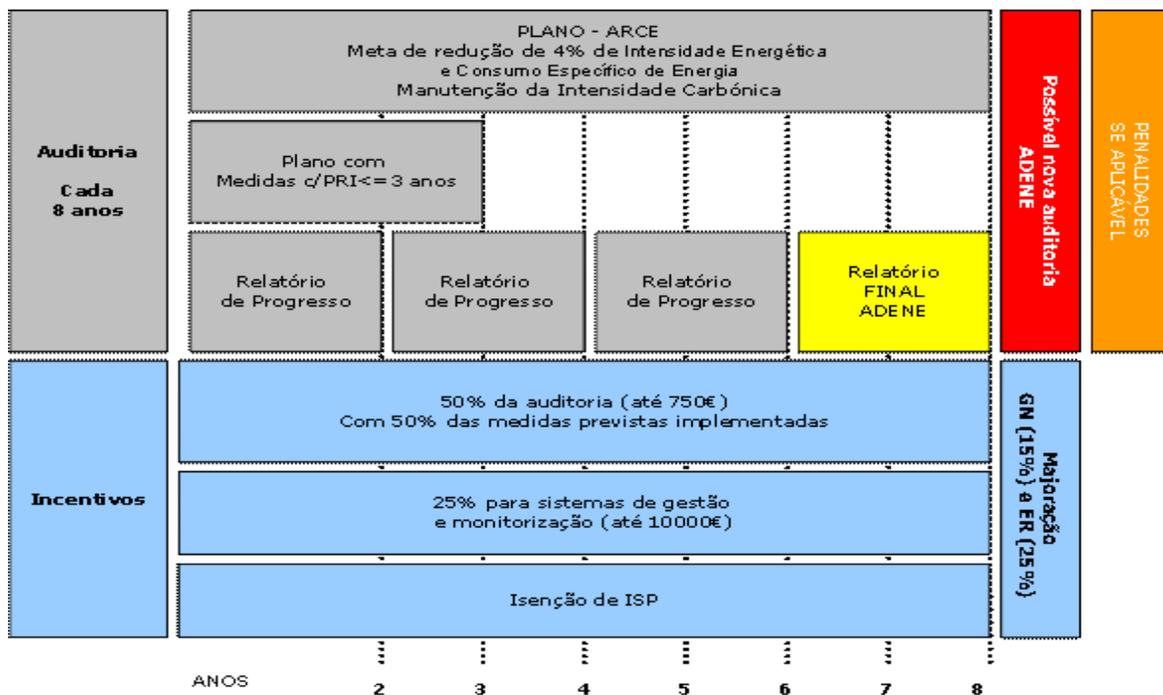


Figura 5 - Síntese de aplicação para instalações com CIE ≥ 500 tep/ano

Fonte: ADENE

O PReN deve estabelecer metas tendo em conta a Intensidade Energética (IE), o Consumo Específico de Energia (CEE) e a Intensidade carbónica (IC), esta deve manter no mínimo os valores históricos. Para efeitos de cálculos dos consumos de energia deve apenas ser considerado 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis.

$$\text{Intensidade Energética (IE)} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Valor Acrescentado Bruto (€)}}$$

$$\text{Consumo Específico de Energia (CEE)} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Produção}}$$

$$\text{Intensidade Carbónica (IC)} = \frac{\text{Emissões GEE (kgCO}_2\text{)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}}$$

Os operadores das instalações abrangidas por um acordo de racionalização dos consumos de energia (ARCE) beneficiam de estímulos e incentivos à promoção da eficiência energética. No caso de não cumprimento das metas ou implementação das medidas serão penalizados.

3 Caracterização da Indústria Cerâmica

Atualmente distinguem-se dois tipos de cerâmica, a tradicional e a avançada. A origem e desenvolvimento da cerâmica tradicional é anterior à revolução da ciência e tecnologia do século XIX, enquanto a segunda se caracteriza por uma grande diversidade de materiais com características físico-químicas específicas frente a radiações e a campos electromagnéticos. Os seus principais benefícios económicos estão ligados sobre tudo com as necessidades humanas tais como as telecomunicações, transportes, e energia etc. (6) A cerâmica tradicional está relacionada sobretudo com a construção no seu todo, sanitários, azulejos e pavimentos, assim como, com a utilização decorativa e utilitária.

Três fatores fundamentais para a competitividade da indústria cerâmica: **Comercialização do material** (transporte, logística), **Energia** (produção e fase de utilização) e **Matérias-primas**.

A indústria cerâmica na União Europeia (EU) faz parte da estrutura económica da comunidade sendo uma das mais antigas indústrias da Europa. Abrange uma vasta gama de sub-setores (4) (fig.6). É líder mundial na produção, com design (7) único de alta qualidade dos produtos, fabricados por empresas flexíveis e inovadoras, principalmente as PMEs. Esta indústria representa um volume de negócios anual (8), que ascendeu a 23,4 mil milhões de Euros em 2009, representando cerca de 25% da produção mundial e cerca de 350 mil empregos em toda a EU. Os principais países produtores da EU são a Itália (26,8%), Alemanha (15,3%), Espanha (13,7%) e França (7,6%). Portugal foi o 7º maior produtor, responsável por 3,9%, os novos estados membros salienta-se a república Checa, Polónia e Hungria com forte tradição de exportação para outros países da EU. A indústria cerâmica da EU é orientada para a exportação, com cerca de 30% da sua produção vendida fora do mercado da EU, para os Estados Unidos, Rússia e África. É geralmente competitiva tanto internamente como nos mercados internacionais. No entanto, desde a última década, a situação do mercado mudou consideravelmente com o aumento de produtos de baixo custo a partir de novos concorrentes dos mercados emergentes e países em desenvolvimento (China, Brasil, Índia, Emirados Árabes unidos), enquanto as barreiras comerciais que persistem em impedir o acesso efetivo a importantes novos

mercados, a valorização gradual do Euro contra a maioria das moedas desde 2000, em termos de comércio estas questões tornam-se importantes para o sector da cerâmica.

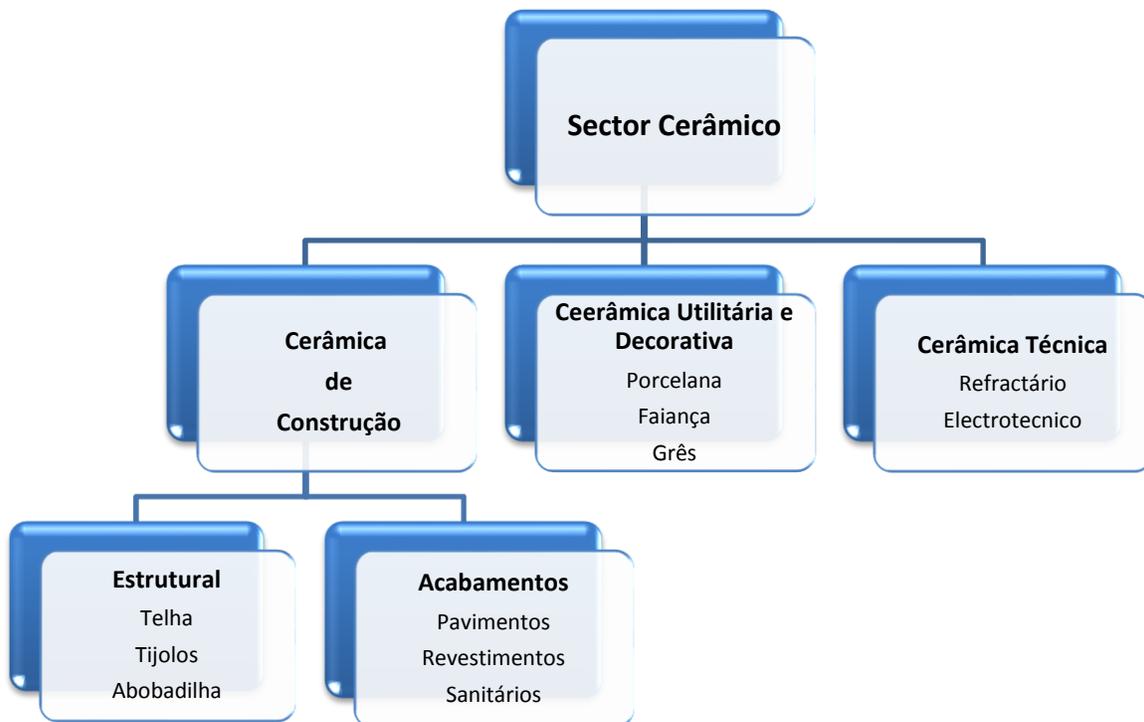


Figura 6 - Classificação do setor cerâmico

Fonte: APICER

O consumo de energia tem sido uma das questões chave da indústria cerâmica, não só em Portugal, mas em toda a EU. Porque os sectores da cerâmica consomem muita energia (9) (energia pode representar até cerca de 30% dos seus custos), a indústria tem procurado aumentar a eficiência nos seus equipamentos com racionalização dos consumos, utilizam fontes de energia sustentáveis e renováveis, por exemplo, a utilização de biomassa no sector das telhas e tijolos em França e Portugal. A eficiência energética tem aumentado muito nas últimas três décadas, devido aos investimentos em novas tecnologias e a uma ampla conversão de combustíveis para gás natural, o que veio contribuir para uma redução do consumo energético para menos de metade do que era necessário na década de 1970.

3.1 Evolução Tecnológica da Indústria Cerâmica

O mix de energia na indústria cerâmica, é geralmente de 80% de gás natural e 20% de eletricidade. A aplicação de novas tecnologias, conversão dos combustíveis, a utilização de combustíveis gasosos e líquidos em vez dos combustíveis sólidos ou de fuelóleo pesado teve como resultado uma queima mais eficiente, com eliminação quase total de partículas de fuligem. Além disso têm vantagem na diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e dióxido de enxofre (SO₂) e na diminuição das cinzas. Para além da vantagem energética, a utilização de gás natural gera melhorias de produtividade e de qualidade dos produtos. Com esta substituição e eficiência, o consumo específico de energia (CEE) para a produção de tijolos foi reduzido em 40% (9), enquanto na produção de pavimentos e revestimentos foi de 47%.

Na segunda metade o século XX o sector da indústria cerâmica sofreu um tremendo desenvolvimento científico e tecnológico. O sector da cerâmica de pavimentos e revestimentos, em particular, foi dos que apresentou um maior desenvolvimento, podendo-se mesmo falar de uma completa revolução (10) em todas as frentes do sistema produtivo. Este desenvolvimento deu-se ao nível do processo, equipamentos e matérias-primas e permitiu um grande aumento da capacidade de produção e melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores do sector. Este desenvolvimento rápido, embora progressivo, levou a que, num período de tempo relativamente reduzido, o processo da indústria cerâmica de revestimento evoluísse de um processo altamente artesanal, com grande exigência de trabalho manual (11), para um processo altamente automatizado em que o papel humano se pode resumir basicamente ao controlo e supervisão do processo.

3.2 Subsector de Pavimentos e Revestimentos Cerâmicos

As empresas que produzem pavimento e revestimento cerâmico são capazes de fabricar uma ampla gama de peças únicas de alta qualidade, com recurso a diferentes nichos de mercado, utilizando métodos, técnicas e tecnologias inovadoras. No subsector dos pavimentos e revestimentos cerâmicos, (8) foi produzida na UE em 2009 8,16 mil milhões de euros, em que cerca de 3 mil milhões de euros foram exportados (12). Apenas

cerca de 300 milhões de euros foram importados pela UE de outros países. Isto demonstra que a maioria do pavimento e revestimento cerâmico é adquirido por consumidores originários da UE, sendo isso um sinal de uma competitividade saudável.

O sector da cerâmica de pavimento e revestimento, conjuntamente com o da cerâmica estrutural, apresentam-se como os sectores que mais energia consome. No entanto estes dois sectores são também os que apresentam o menor consumo específico devido à grande (13) capacidade produtiva

3.3 Principais Equipamentos Consumidores de Energia

Na indústria cerâmica, estão contemplados vários segmentos de produção, os quais definem o tipo de produto a fabricar, consideram-se determinadas fases, que de alguma forma são comuns em todos eles, desde a preparação das matérias-primas, conformação (fieiras ou prensagem...), a secagem, a cozedura, a escolha e a embalagem e paletização. Estas fases são comuns nos diversos segmentos, usando equipamentos e métodos de operação diferentes. As tecnologias de processo podem ser aplicáveis em uma ou mais operações específicas dos processos de fabrico e podem abranger todas as fases relacionadas com a produção Industrial. A indústria cerâmica é um consumidor intensivo de energia, especialmente nas fases de preparação de matérias-primas (moinhos e atomizadores), conformação do material (fieira, prensas...), secagem e cozedura.

3.3.1 Preparação de Matérias-primas

A Preparação das matérias-primas é função do tipo de produto a fabricar ou consoante o segmento de produção a que diz respeito. As etapas deste processo que mais podem contribuir para melhorar os índices de eficiência energética mais especificamente para o segmento de produção de pavimentos e revestimento podem resumir-se essencialmente às operações de moagem e atomização. Os moinhos são também considerados como grandes consumidores nos segmentos de preparação de pastas para louça e sanitários, moagem por via seca (moinhos pendulares), moagens características de barros vermelhos (cerâmica estrutural), tijolo, telhas, abobadilhas.

Muitos dos moinhos que se encontram na indústria cerâmica têm revestimento interno e carga moente em sílica, porém a utilização de moinhos de revestimento em borracha contribui para a redução dos consumos elétricos na ordem dos 15 a 20%, devido à menor espessura requerida, proporcionando assim uma maior capacidade nos moinhos.

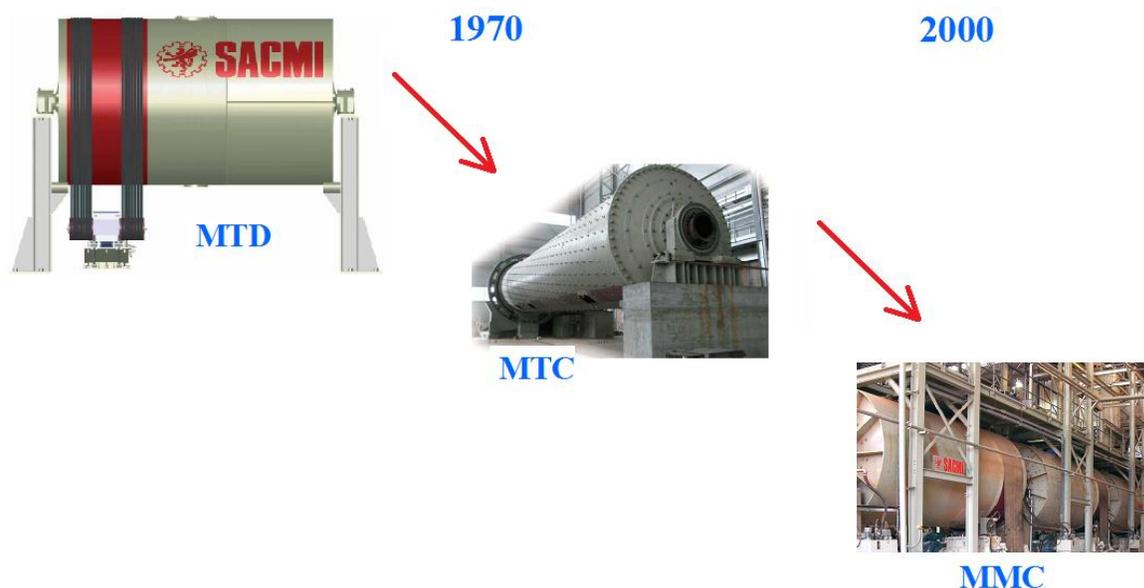


Figura 7 - Evolução dos moinhos

Fonte: SACMI, adaptado

A produção de pó cerâmico é muito importante para o processo cerâmico de alguns subsectores, sendo de salientar que na última década, construíram-se algumas empresas para fabrico exclusivo de pó, fundamentalmente para fornecer empresas do sub-sector de pavimentos, revestimentos e outros. Neste caso o pó é fornecido por entidades externas, através de camiões cisterna que os descarregam numa tolva (silo equipado para descarga doseada). No processo de acondicionamento e transporte de pó há um consumo de energia elétrica considerável, não só a nível de funcionamento diário e contínuo das tolvas de descarga, mas ao nível dos sistemas de despoeiramento, que não são mais que filtros que impedem a emissão de partículas para a atmosfera.

O processo de atomização, baseia-se muito simplesmente em retirar água ao resultado da pasta (barbotina), através de uma corrente de ar quente com temperatura que ronda os 600°C, que seca a pasta quase instantaneamente transformando-a em pó

destinado à prensagem ou conformação, ou para ser ensilado para armazenamento destinado à venda posterior a empresas que não tenham preparação de pastas (pó).

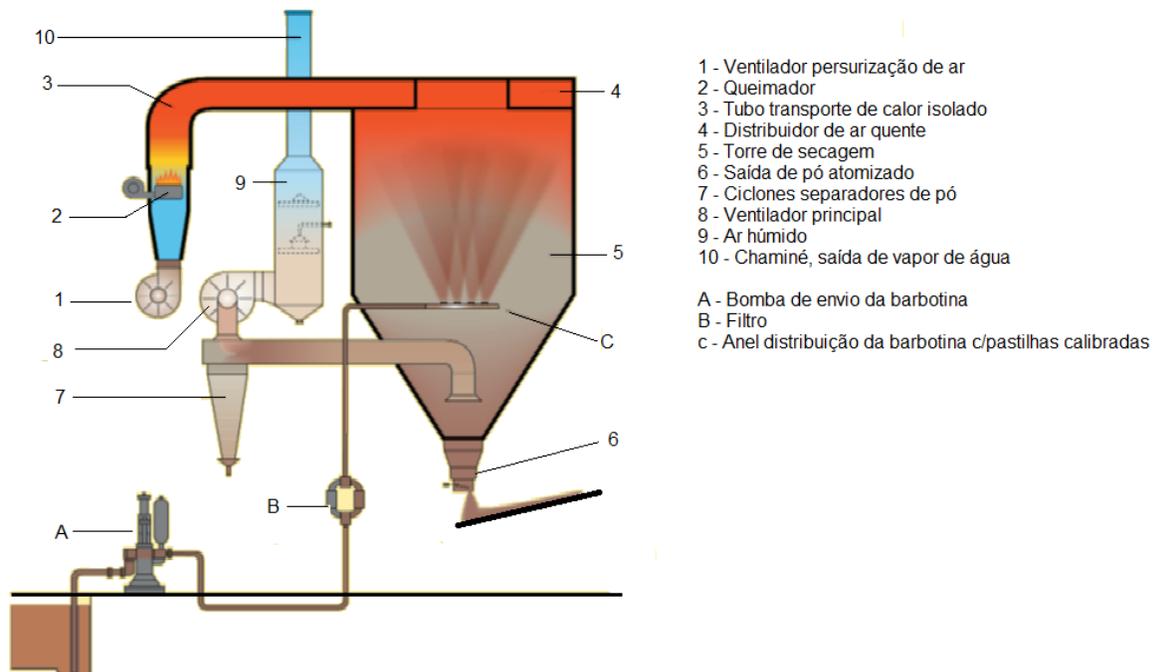


Figura 8 - Funcionamento de um atomizador

3.3.2 Secagem

Nesta etapa do processo a extração de água contida no material (pavimento ou revestimento) à saída do processo de prensagem ou extrusão, as peças entram no secador com 5 a 7 % de humidade no caso de prensagem, se for em extrusão esta humidade é maior entre 15 a 18 % de humidade. Após o processo de secagem estas saem do secador com humidade inferior a 1%. Esta etapa é muito importante quer em termos energéticos quer em termos de resistência mecânica necessária ao produto para as solicitações que irá sofrer na cozedura, já que terá processos de esmaltação, decoração e transporte.

Existem essencialmente dois tipos de secadores que pelo seu lay-out e funcionamento são tipicamente utilizados, secadores rápidos verticais e horizontais com temperaturas de funcionamento na ordem dos 150 a 200°C, em função do tipo de material e espessura deste. Tipicamente a energia térmica necessária a este processo é

obtida através da utilização de queimadores a gás natural. É comum existir ainda aproveitamento de ar quente residual para estes processos, seja proveniente do forno de rolos ou de unidades de cogeração. A secagem é uma fase do processo onde o consumo energético é considerável.



Figura 9 - Secadores rápidos, vertical e horizontal

3.3.3 Cozedura

O tipo de forno mais usado atualmente nos pavimentos e revestimentos é o forno de rolos, estes estão equipados com queimadores de alta velocidade confinados aos diversos módulos ou zonas de controlo de temperaturas, enquanto na cerâmica de barro vermelho (tijolo e telhas) e no sanitário usa fornos de túnel com maiores ciclos de produção (10, 16, 50 horas). Nos fornos de rolos, dependendo do produto consegue-se ciclos na casa dos 30, 50, 60 minutos. Este tipo de fornos apresenta a vantagem de redução do tempo de cozedura, redução dos efluentes gasosos, redução dos consumos de energia, (térmica e elétrica) e diminuição dos custos de investimento em manutenção. Durante o processo de cozedura podem-se identificar várias zonas térmicas distintas de cozedura, cada uma caracterizada pela reação física ou química na transformação da matéria (10). Na cerâmica de pavimentos e revestimentos é normal atingirem-se temperaturas na Zona de cozedura da ordem dos 1050 a 1250°C. O forno é um dos

principais consumidores de energia térmica quando comparado com todo o processo de produção cerâmica, devido ao facto de trabalhar em contínuo.

3.3.4 Sistemas acionados por motores elétricos

Os sistemas acionados por motores elétricos são responsáveis por cerca de 85% do consumo de energia elétrica no sector Industrial da Cerâmica. Em Portugal, os motores elétricos são responsáveis por mais de 60% do consumo de eletricidade (14) da indústria, e por cerca de 30% do consumo elétrico global do País. Os motores elétricos são utilizados em quase todos os tipos de equipamentos industriais, na indústria cerâmica encontram-se aplicados em todo o processo, sendo os motores de corrente alternada os mais utilizados e, dentro destes, os de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo. A eficiência dos sistemas de potência pode ser melhorada através da intervenção nos motores elétricos, da melhoria do desempenho dos equipamentos utilizadores finais e da otimização dos sistemas de transmissão mecânicos entre o motor e o equipamento utilizador final, por isso de vital importância o seu adequado dimensionamento para a poupança de energia.

4 Cogeração na indústria cerâmica

A cogeração tem uma longa história em numerosas indústrias, particularmente na indústria química. Em anos mais recentes, o desenvolvimento crescente das tecnologias permitiu a transformação da cogeração numa tecnologia com uma grande diversidade de aplicações. De facto, a cogeração tem um forte potencial de aplicação no sector industrial, com necessidade de calor no âmbito do processo industrial (15). O calor aproveitado da cogeração pode ser usado para aquecimento e secagem. Atualmente, existem unidades de cogeração preparadas para gerar energia desde 1kWe até 500 MWe durante um período mínimo de 20 anos. O projeto mais eficiente, do ponto de vista energético global, corresponde ao que satisfaz todas as exigências térmicas das instalações industriais. Se esta situação levar a um excesso de produção de energia elétrica, este excesso pode ser injetado na rede elétrica nacional. É importante saber quanta energia elétrica e térmica requer a indústria, porque é a relação entre elas que indica que tecnologias escolher.

A cogeração é definida como sendo o processo em que há produção simultânea de energia térmica e energia mecânica (normalmente convertida em energia elétrica), destinados a consumo próprio ou de terceiros, a partir de uma fonte de combustível (biomassa, fuelóleo, gás natural, gás propano, resíduos industriais). O calor produzido pode ser utilizado diretamente no processo industrial, bem como recuperado e convertido para utilização em necessidades de aquecimento de espaços e/ou aquecimento de água. Complementarmente a partir do calor poderá ainda produzir-se frio, por absorção, passando o processo a designar-se por trigeração.

A evolução da cogeração em Portugal tem sido caracterizada pela evolução tecnológica, até aos anos 90, as turbinas de contrapressão a vapor foram as mais utilizadas, seguindo-se os motores a diesel e, desde a introdução do GN, passaram a ser instalados motores e turbinas. É uma tecnologia que aumenta (16) significativamente o rendimento de conversão de recursos energéticos, ao conduzir a poupanças de energia primária (PEP).

Na indústria cerâmica (estrutural) na década de 90 houve alguma implementação de cogeração ainda com combustível a nafta e a fuelóleo, esta mantém uma tendência de

estagnação, tendo sido algumas unidades reconvertidas para gás natural. A cogeração a gás natural é a que na última década (16) teve algum crescimento em instalações com elevados níveis de consumo de energia térmica. É comum serem usados na indústria cerâmica motores de combustão interna ou turbinas a gás com eficiências energéticas que podem alcançar os 85% (17) .

As soluções tecnológicas (15) que hoje em dia equipam as centrais de cogeração podem ser divididas em dois grandes grupos, tecnologias convencionais e emergentes, de acordo com o grau de maturidade, desenvolvimento tecnológico e disseminação comercial.

As Tecnologias convencionais são:

- Turbinas a gás, geralmente consome gás natural, como princípio de funcionamento teórico das turbinas a gás é designado pelo ciclo de Brayton.
- Turbinas a vapor que geram eletricidade pela expansão de vapor produzido numa caldeira, cujo funcionamento teórico é designado pelo ciclo de Rankine.
- Motores alternativos ou de combustão interna (explosão e ignição por compressão), usam normalmente o gás natural como combustível, embora também possam trabalhar a gás propano ou a gasolina, e de ignição por compressão que trabalham a gásóleo (diesel).
- Nas turbinas de contrapressão, o fluxo de vapor que abandona a turbina é enviado diretamente para o processo industrial em condições próximas das que são requeridas. O termo contrapressão refere-se ao facto de o vapor ser rejeitado a pressões da ordem de grandeza da pressão atmosférica, superiores portanto ao vácuo do condensador (pressão da ordem das centésimas de bar). A utilização do vapor a uma pressão relativamente elevada prejudica sensivelmente o rendimento elétrico, mas melhora o rendimento térmico, pois as características do vapor são normalmente mais adequadas aos fins a que se destina.

As Tecnologias emergentes são:

- Microturbinas, o princípio de operação das microturbinas é muito semelhante ao das turbinas a gás, recorrendo ao ciclo de Brayton para caracterizar o seu funcionamento. As microturbinas podem operar com uma grande variedade de combustíveis, principalmente gás natural, mas também combustíveis líquidos como gasolina, querosene e óleo diesel.
- Pilhas de combustível, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, configuram um modo de obtenção de energia elétrica completamente diferente tanto das tecnologias convencionais que usam combustíveis fósseis, como das tecnologias que fazem uso de recursos renováveis.

4.1 Conceito e benefícios da Cogeração

Poder-se-á dizer que a cogeração (18) é a solução disponível para produzir energia elétrica com o aproveitamento da energia térmica obtenha assim a melhor eficiência possível, da queima de um combustível, seja ele de origem fóssil ou renovável, como é o caso da biomassa. Esta melhor eficiência resulta, apenas, do facto de se associar ao projeto de cogeração um consumidor que possa utilizar a energia térmica proveniente da combustão que não é transformada em eletricidade. Convém realçar que a indústria cerâmica tem todas as condições necessários para a utilização desta energia térmica (necessidades de secagem, instalação perto do consumidor), contrariamente as grandes centrais convencionais que queimam combustíveis, onde é praticamente impossível encontrar consumidores que absorvam essas enormes quantidades de energia térmica que são aí desaproveitadas e que não poderão ser transportadas para locais relativamente afastados. Será fácil de entender que as centrais de cogeração para terem uma melhor eficiência, deverão ser dimensionadas para a potência que permita fazer o melhor ajustamento entre a energia térmica que é gerada na combustão que não é transformada em eletricidade e a quantidade que é possível ser consumida por um qualquer consumidor (secador/ou atomizador) etc....

Em anos mais recentes, o desenvolvimento crescente das tecnologias permitiu a transformação da cogeração numa tecnologia prática com uma grande diversidade de aplicações. Na prática, os benefícios energéticos e ambientais da cogeração são de tal forma evidentes que a União Europeia determinou como meta a atingir em 2010, 18% de energia elétrica produzida por esta via.

4.2 Enquadramento legislativo à promoção da Cogeração

A diretiva 2004/8/CE de 11 de Fevereiro do PE, visa promover a cogeração com base na procura de calor útil no mercado interno de energia nos diversos estados membros. Esta diretiva foi recentemente transposta através do DL-nº 23/2010 de 25 de Março, aguardando-se a publicação de legislação complementar no âmbito do regime remuneratório de entrega de energia elétrica à rede. Este decreto encontra-se orientado para a promoção da cogeração de elevada eficiência que deverá apresentar uma poupança de energia primária (**PEP**) superior a 10% em relação à produção separada de eletricidade e calor. As cogerações que não atinjam este limiar de poupança são apenas consideradas eficientes. O regime remuneratório agora instituído assenta em duas modalidades, à escolha do promotor da cogeração, acessíveis a cogerações eficientes ou de elevada eficiência. A modalidade geral é acessível a todas as cogerações sem restrições de potência instalada. Nesta modalidade geral, a remuneração da energia térmica e elétrica produzida faz-se principalmente com apelo às regras de mercado, ainda que se preveja o pagamento temporário de um prémio de participação de mercado, relativamente a instalações de capacidade instalada igual ou inferior a 100 MW.

4.3 Cálculo das poupanças de energia

O parâmetro que mede o incremento na eficiência da produção de eletricidade proporcionado pela cogeração é o Rendimento Elétrico Equivalente (REE).

O REE permite na prática comparar o rendimento de um processo de cogeração com um rendimento elétrico de uma central que produza, exclusivamente energia elétrica. De acordo com o antigo enquadramento legal da cogeração (DL-538/99 e

313/2001) o REE deveria ser superior ou igual a 55% que correspondia, à época ao rendimento mais elevado de produção de energia elétrica numa central termoelétrica em Portugal. No âmbito desse quadro, a expressão que definia o valor do REE, tem em conta o consumo de energia renovável como a seguir se apresenta:

$$REE = \frac{E}{C - \frac{T}{0,9 - 0,2 \frac{CR}{C}}} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que REE um coeficiente adimensional, naturalmente que **E**, **T**, **C**, e **CR** vem expresso nas mesmas unidades de energia e tem o significado seguinte:

E - Energia elétrica produzida pelo cogrador, excluindo o consumo nos sistemas auxiliares internos de produção energética;

T - Energia térmica útil consumida anualmente a partir da energia térmica produzida em cogeração, excluindo o consumo nos sistemas auxiliares internos de produção energética;

C - Energia primária consumida anualmente na instalação de cogeração avaliada a partir do poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis e outros recursos utilizados;

CR - Equivalente energético de recursos renováveis ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos consumidos anualmente na instalação de cogeração.

O rendimento elétrico equivalente (15) tem um valor mínimo, o qual é diferenciado em função do tipo de combustível utilizado. Assim para:

Gás natural (GN) e gás de petróleo liquefeito (GPL), $REE \geq 0,55$

Fuelóleo, $REE \geq 0,50$

Instalações de biomassa, $REE \geq 0,45$

No caso de se usar gás natural, $CR=0$, a eq. (1) toma a forma:

$$REE = \frac{E}{C - \frac{T}{0,9}} \geq 0,55 \quad \text{eq. (2)}$$

A poupança de energia primária da atividade de cogeração relativamente à produção separada de calor e eletricidade é determinada pela seguinte expressão:

$$PEP = \left[1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right] \times 100\% \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

CHP H_{η} - é o rendimento térmico do processo, definido como a produção anual de calor útil obtido dividido pelo combustível utilizado na produção total de calor e eletricidade;

Ref H_{η} - é o valor de referência do rendimento para a produção separada de calor;

CHP E_{η} - é o rendimento elétrico, definido como a produção total anual de eletricidade dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor útil e de eletricidade num processo de cogeração;

Ref E_{η} - é o valor de referência do rendimento para a produção separada de eletricidade.

4.4 Estudo de caso – motor a gás

Este estudo pretende evidenciar as condições de funcionamento da instalação de cogeração existente na indústria cerâmica, incluindo a eficiência avaliada pelo valor definido como Rendimento Elétrico Equivalente (REE) e a quantidade de energia elétrica fornecida à rede elétrica de serviço público (RESP). Os sistemas de cogeração baseados em motores de combustão interna com recurso ao ciclo Otto, apresenta, em geral eficiências globais na casa dos 75%, dos quais 30% da energia contida na unidade de combustível é convertida em energia mecânica e conseqüentemente em energia elétrica, e 45% da energia contida na unidade de combustível é aproveitada sob a forma de energia térmica. Os restantes 25% da energia contida no combustível perde-se para a atmosfera, podendo, em alguns casos concretos vir ainda a ser aproveitados aumentando assim a eficiência global final. Nesta instalação os gases de escape provenientes dos cilindros do motor são utilizados diretamente no secador. O circuito de água de refrigeração, circuito alta temperatura (HT), utilizado no permutador ar/água, do aquecimento do ar de entrada no secador e climatização dos escritórios. O aproveitamento térmico da cogeração veio suprimir as necessidades térmicas do secador, evitando a necessidade de combustão direta.



Figura 10 - Motor a GN e alternador

Nos quadros abaixo apresenta-se as características da instalação com base nos dados fornecidos e entregues anualmente à DGE, tendo como base o projeto.

Quadro 1 - Características da instalação (ano 2010)

Motor a Gás:	
Tipo	OTTO-GÁS
Potência (kW)	1415
RPM	1500
Construtor	JENBACHER
Ano de construção	2008
Temperatura ambiente média anual	20°C
Combustível	Gás natural
REE Licenciado pela DGE	81,3%

Quadro 2 - Condições de funcionamento

Motor a Gás:	
Número de horas de funcionamento anual	4700 h
Consumo combustível	1.446.336 Nm ³
Calor útil recuperado	26.150 GJ
Energia elétrica produzida	5.695.310 kWh
Energia elétrica consumida em auxiliares	32.000 kWh

De acordo com o Dec-Lei nº 23/2010 de 25 de Março o rendimento global (eficiência) da instalação de cogeração corresponde ao total anual da produção de energia elétrica e mecânica e da produção de calor útil dividido pelo consumo de combustível utilizado na produção de calor num processo de cogeração e na produção bruta de energia elétrica e mecânica, sendo a eficiência calculada com base no poder calorífico inferior. Assim temos:

$$\eta_{GLOBAL} = \frac{E_{CHP} + H_{CHP}}{F_{CHP}} \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

η_{GLOBAL} - Rendimento global da instalação	[%]
E_{CHP} - Quantidade de eletricidade produzida em cogeração	[kWh]
H_{CHP} - Quantidade de calor produzido em cogeração	[kJ ou kWh]
F_{CHP} - Consumo combustível utilizado na cogeração	[kWh]

Passando todos os valores para unidades de energia (MWh), tem-se:

PCI do GN com o valor de 9054 Kcal/uni, 1 cal = 4,186J, ou seja:

$$PCI = 9054 \times 4,186 = 37900 \text{ kJ/Uni}$$

Consumo do combustível F_{CHP} na base do PCI, toma o seguinte valor:

$$F_{CHP} = \frac{1446336 \times 37900}{1000000} = 54816,20 \text{ GJ}$$

Dividindo este valor por 3,6. Assim obtêm-se para F_{CHP} e H_{CHP} os seguintes valores:

$$F_{CHP} = \frac{54816,20}{3,6} = 15226,72 \text{ MWh}$$

$$H_{CHP} = \frac{26150}{3,6} = 7263,89 \text{ MWh}$$

Utilizando a eq (4), obtemos o rendimento global ou eficiência.

$$\eta_{GLOBAL} = \frac{5695,31 + 7263,89}{15226,72} \times 100 = 85,1\%$$

Como o rendimento global é superior a 75% toda a energia elétrica é considerada energia elétrica de cogeração. A poupança de energia primária é calculada a partir dos valores de referência para a produção separada de energia elétrica e térmica, publicados na decisão da comissão 2007/74/CE de 21 de Dezembro de 2006 (anexo 3), valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção de eletricidade.

$$Ref E_{\eta} = 52,5\%$$

Valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de calor (anexo 4).

$$Ref H_{\eta} = 82\%$$

O valor de referência para a produção separada de eletricidade a partir de gás natural e para o ano de fabrico de 2008 tem de ser corrigido tanto para a temperatura média no local como para as perdas na rede.

$$Ref E_{\eta Temp.} = 52,5\% + 0,1\% \times (15^{\circ}C - 20^{\circ}C) = 52\%$$

A percentagem de energia elétrica exportada para a rede é:

$$E.E.exp = \frac{5695,31 - 32}{5695,31} = 0,99 \rightarrow 99\%$$

De acordo com a decisão da comissão 2007/74/CE de 21 de Dezembro de 2006 (anexo 5), fatores de correção relativos as perdas na rede evitadas temos que para a eletricidade exportada para a rede:

$$\Theta_{Exp.Rede} = 0,925$$

E para a eletricidade consumida no local:

$$\Theta_{Cons.no local} = 0,860$$

Assim temos que os valores do valor de referência do rendimento para a produção separada de eletricidade Ref. E_η , como a eletricidade exportada é de 99%, o que quer dizer que 1% é para consumo próprio, o valor de Ref. E_η é dado por:

$$Ref E_\eta = 52\% \times (0,925 \times 99\% + 0,860 \times 1\%) = 48,07\%$$

Para cálculo do rendimento térmico, divide-se a produção anual de calor útil pelo combustível utilizado na produção total de calor e eletricidade, assim temos:

$$CHP H_\eta = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{7263,89}{15226,72} = 0,48 \rightarrow 48\%$$

Utiliza-se a mesma metodologia para cálculo do rendimento elétrico, divide-se a produção total anual de eletricidade pelo combustível utilizado na produção total de calor útil e de eletricidade

$$CHP E_\eta = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{5695,31}{15226,72} = 0,37 \rightarrow 37\%$$

Pela eq (3) a poupança de energia primária da atividade de cogeração relativamente à produção separada de calor e eletricidade é:

$$PEP = \left[1 - \frac{1}{\frac{0,48}{0,82} + \frac{0,37}{0,48}} \right] \times 100\% = 26,4\%$$

Conclui-se que esta instalação de cogeração pode ser considerada de elevada eficiência em virtude da poupança de energia primária estar acima do valor limite de 10% do que esta estabelecido no Decreto-Lei 23/2010.

Para o cálculo do REE da instalação em 2011, recolheram-se todas as informações necessárias dadas pelo cogerador e realizaram-se algumas medições elétricas e térmicas que se irão utilizar para melhor compreender o desempenho da instalação.

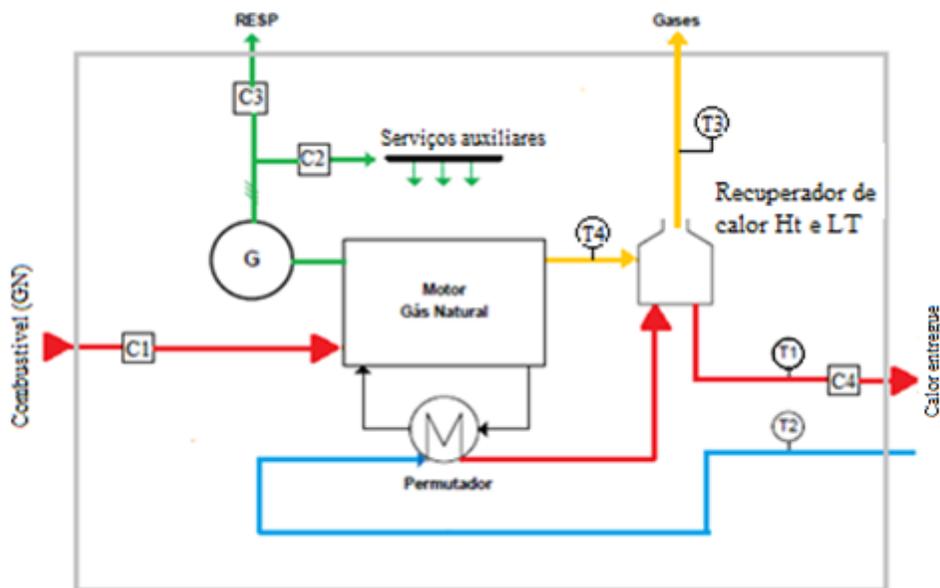


Figura 11 - Esquema de cogeração baseado em motor a gás (ciclo Otto)

Fonte: Cogen Portugal, adaptado

Com este esquema pretende-se mostrar que é importante o sistema de contagem em alguns pontos estratégicos, assim como pontos de análise de temperaturas:

- C1 – contador de combustível (GN)
- C2 – contador serviços auxiliares
- C3 – contador da ligação à RESP
- C4 – contador de recuperação de calor (entálpico)

T1 – temperatura da água de saída

T2 – temperatura da água de retorno

T3 – temperatura dos gases de escape

T4 – temperatura dos gases do motor

Nesta instalação a cogeração está em funcionamento todos os dias exceto aos domingos e feriados e no período de inverno funciona das 7/24 h e aos sábados das 9,30/13horas e das 18,30/22 horas. No período de verão aos sábados das 9/14 h e das 20/22 horas.

Existem dois consumidores de gás natural, a cogeração e o forno de cerâmica, os quais dispõem de contadores parciais, no entanto, não existem registos mensais dos consumos, pelo que a repartição do gás foi efetuada através das faturas mensais da EDP gás. O forno trabalha em contínuo, já a cogeração funciona apenas nos períodos de ponta e cheias, pelo que a repartição do gás natural foi efetuada a partir dos valores médios do consumo do forno aos domingos pelos dias de faturação mensais.

No quadro seguinte apresenta-se a distribuição mensal do consumo de combustível, gás natural para a cogeração.

Quadro 3 - Consumos mensais de combustível

	Gás natural	
	Nm ³	MWh
Jan 2011	91.107	959
Fev.	115.614	1.217
Mar.	132.401	1.394
Abr.	118.301	1.246
Mai.	124.160	1.307
Jun.	114.341	1.204
Jul.	120.120	1.265
Ago.	74.960	789
Set.	118.513	1.248
Out.	112.371	1.183
Nov.	121.656	1.281
Dez.	110.046	1.159
Total	1.353.589	14.254

No quadro abaixo apresenta-se os valores mensais de energia elétrica vendida à RESP, não são apresentados os valores referentes aos consumos dos serviços auxiliares, uma vez que não há registos destes valores, toma-se como referência toda a energia elétrica vendida (útil).

Quadro 4 - Energia elétrica vendida mensalmente

Eletricidade	
	kWh
Jan 2011	381.738
Fev.	473.106
Mar.	543.275
Abr.	460.086
Mai.	423.428
Jun.	482.348
Jul.	500.864
Ago.	310.872
Set.	497.283
Out.	433.524
Nov.	508.546
Dez.	500.852
Total	5.515.921

No quadro seguinte indicam-se as horas de funcionamento do motor. De referir que estes valores foram estimados a partir dos períodos de funcionamento da cogeração referidos acima.

Quadro 5 - Horas de funcionamento mensais

Motor/alternador	
	Horas
Jan 2011	283
Fev.	353
Mar.	414
Abr.	329
Mai.	384
Jun.	363
Jul.	384
Ago.	219
Set.	367
Out.	334
Nov.	378
Dez.	345
Total	4153

Para se poder estimar os valores de autoconsumo dos serviços auxiliares, bomba de água de refrigeração, bomba de pré-aquecimento, bomba de pré-lubrificação, ventiladores do quadro elétrico, ventiladores de saída de ar, bomba de água quente etc.

Foi utilizado um analisador de energia da marca HT – GSC53N com o qual se obteve o diagrama de carga da figura 12. Como se pode constatar a potência relativa aos serviços auxiliares é de cerca de 36 kW.

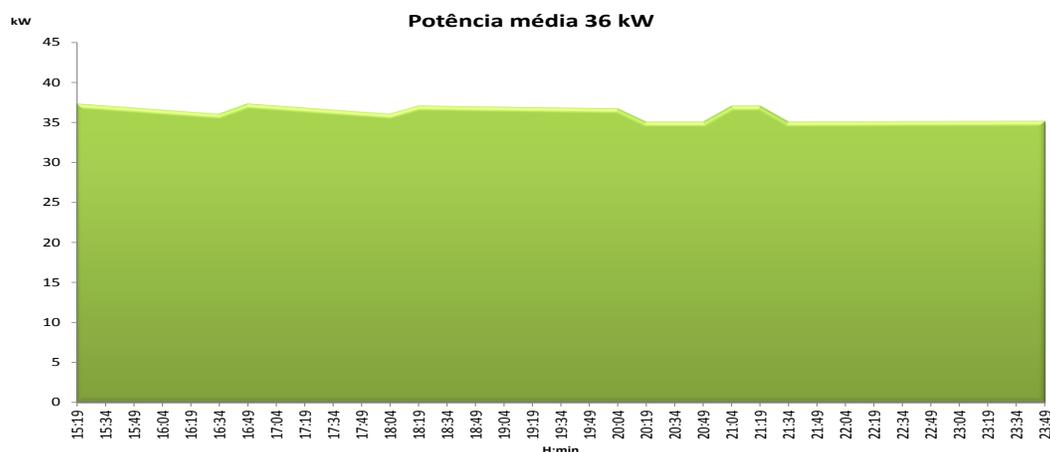


Figura 12 - Diagrama de carga dos serviços auxiliares

Para se poder analisar a energia recuperada no circuito de refrigeração de alta temperatura (HT) foram realizadas medições de caudal e de temperatura no respetivo circuito entrada e retorno com um caudalímetro ultra sónico da marca “KRONE”, modelo UFM 610 P e um aparelho de medida de temperatura “Testo”, modelo 400. No quadro abaixo apresenta-se os valores médios medidos. Nos gases de escape do motor foi medida a velocidade e a temperatura de exaustão, antes de serem enviados para o secador.

Quadro 6 - medida do circuito HT

Medições térmicas		
	Valor	Uni
Temperatura média na água na saída	78,7	°C
Temperatura média da água na entrada	74,2	°C
Caudal da água de arrefecimento	62,6	m ³ /h

Quadro 7 - medida dos gases de escape

Medidas térmicas		
	Valor	Uni
Temperatura ambiente do ar combustão	37,6	°C
Temperatura saída chaminé	386	°C
Caudal dos gases de combustão	14.871	m ³ /h
Húmidade relativa do ar de combustão	43,4	%

Determina-se a energia térmica útil nos gases quentes, a partir da seguinte equação:

Energia associada a gases húmidos (ar, gases de combustão)

$$Q_g = M_g * [c_{p_g} * T_g + W(1,9 * T_g + 2480)] \quad [kJ/h] \quad eq(5)$$

Em que:

Q_g - Energia associada a gases húmidos	[kJ/h]
M_g - Caudal mássico de gases secos	[kg/h]
T_g - Temperatura dos gases	[°C]
C_{p_g} - Calor específico dos gases	[kJ/Kg.°C]
W - Teor de húmidade dos gases	[kg H2O/Kg gases secos]

Para o caudal mássico dos gases secos (M_g) a partir da eq (6) obtêm-se os seguintes valores:

$$M_g = \frac{m_{var}}{\frac{273 + T_s}{273}} \times m_{cp_{ar}} \quad [kg/h] \quad eq(6)$$

Em que:

M_g -	Caudal mássico dos gases	[kg/h]
$m_{gás}$ -	Caudal volumétrico dos gases à T_s	[m ³ /h]
T_s -	Temperatura extração dos gases	[°C]
$m_{Cp_{ar}}$ -	massa específica do ar	[kg/m ³]

$$M_g = \frac{14871}{\frac{273,15 + 386}{273,15}} \times 1,293 = 7965,55 \text{ kg/h}$$

A partir dos valores da temperatura (37,6 °C) e da humidade relativa (43,4%) do ar de combustão, calcula-se a humidade absoluta recorrendo a seguinte fórmula da humidade relativa:

$$\phi = \frac{P_v}{P_{v \text{ sat}}} \times 100\% \quad eq(7)$$

Em que:

ϕ -	Húmidade relativa do ar	[%]
P_v -	Pressão do vapor	[mm Hg]
$P_{v \text{ sat}}$ -	Pressão de vapor saturação	[mm Hg]

A Pressão de vapor de saturação (dada da tabela em função da temperatura em °C do (anexo 2). Daí resulta a pressão de vapor P_v :

$$P_{v \text{ sat}} (37,5^\circ\text{C}) = 48,364 \text{ mm Hg}$$

$$P_v = 48,627 \times \frac{43,364}{100} = 20,990 \text{ mm Hg}$$

Com este valor calcula-se a humidade absoluta do ar, com a equação seguinte:

$$H = \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \times 0,622 \quad eq(8)$$

Em que:

H -	Húmidade absoluta do ar	[kg vapor dev água /kg ar seco]
P_v -	Pressão do vapor	[mm Hg]
P_{atm} -	Pressão atmosférica = 760	[mm Hg]

$$H = \frac{20,990}{760 - 21,104} \times 0,622 = 0,018 \frac{kg_{vapor\ \acute{a}gua}}{kg_{ar\ seco}}$$

Dividindo o caudal volumétrico pelo teor de humidade, obtém-se a massa dos gases secos.

$$M_{gás\ seco} = \frac{M_{var}}{1 + W_{ar}} \quad eq(9)$$

$$M_{gás\ seco} = \frac{7965,55}{1 + 0,018} = 7826,51 \text{ kg/h}$$

Energia associada aos gases (Q_g), dado pela eq (5), com o valor típico do calor específico dos gases de combustão é de 1,1 kJ/kg °C obtém-se:

$$Q_g = 3.769.931,09 \frac{kJ}{h}$$

O que corresponde à potência térmica de 1,047 MW

A energia térmica útil associada à água de alimentação do circuito de arrefecimento a alta temperatura (HT), cujo calor específico da água, $cp_{ag}=4,186$ kJ/kg °C, é dada por:

$$Q_{ag} = m_{ag} \times cp_{ag} \times \Delta T_{ag} \quad eq(10)$$

Em que:

Q_{ag} -	Energia associada à água	[kJ/h]
m_{ag} -	Caudal volumétrico da água	[m ³ /h]
Cp_{ag} -	Calor específico da água	[kJ/kg °C]
ΔT_{ag} -	Diferença de temperatura da água	[°C]
ρ -	Massa específica da água	[kg/m ³]

$$Q_{ag} = 62,6 \times 1000 \times 4,18 \times (78,7 - 74,2) = 1.179.196 \text{ kJ/h}$$

O que corresponde à potência térmica de 0,328 MW

Seguidamente elabora-se um quadro que nos apresenta a energia térmica útil mensal para cálculo do REE.

Quadro 8 - Produções mensais de energia térmica

	Gases quentes	Circuito HT	E. Térmica útil
	MWh	MWh	MWh
Jan 2011	296,36	92,90	389,26
Fev.	369,66	115,88	485,55
Mar.	433,54	135,91	569,45
Abr.	344,53	108,01	452,54
Mai.	402,13	126,06	528,19
Jun.	380,13	119,17	499,30
Jul.	402,13	126,06	528,19
Ago.	229,34	71,89	301,23
Set.	384,32	120,48	504,80
Out.	349,77	109,65	459,41
Nov.	395,84	124,09	519,93
Dez.	361,29	113,26	474,54
Total	4349,03	1363,37	5712,40

Cálculo do REE, apresenta-se no quadro seguinte.

Quadro 9 - REE

	MWh
Energia gases exaustão	4349
Energia circuito HT	1363
Energia térmica útil	T 5712
Energia elétrica vendida	E 5516
Consumo de combustíveis	C 14254
Rendimento elétrico equivalente	
$REE = \frac{E}{C - \frac{T}{0,9}}$	70%

Rendimento global:

$$\eta_{GLOBAL} = \frac{\text{Energia térmica útil} + \text{Energia elétrica útil}}{\text{Energia combustível}}$$

$$\eta_{GLOBAL} = \frac{5712 + 5516}{14254} \times 100 = 78,8 \%$$

Verifica-se que o valor do rendimento global da instalação é 7% mais baixo que o do ano anterior, o que quer dizer que a Poupança de Energia Primária (PEP) também baixou.

Cálculo do PEP, apresenta-se no quadro seguinte.

O valor de referência para a produção separada de eletricidade a partir de gás natural e para o ano de 2011 tem de ser corrigido tanto para a temperatura média no local como para as perdas na rede.

Quadro 10 - Energia elétrica consumida em serviços auxiliares

Serviços auxiliares		
	Horas	MWh
Jan 2011	283	10,188
Fev.	353	12,708
Mar.	414	14,904
Abr.	329	11,844
Mai.	384	13,824
Jun.	363	13,068
Jul.	384	13,824
Ago.	219	7,884
Set.	367	13,212
Out.	334	12,024
Nov.	378	13,608
Dez.	345	12,420
Total	4153	149,51

Temperatura média 2011 dada pelo Instituto de Meteorologia (IM) em Portugal foi de 21,35 °C.

$$Ref E_{\eta Temp.} = 52,5\% + 0,1\% \times (15^{\circ}C - 21,35^{\circ}C) = 51,9\%$$

A percentagem de energia elétrica exportada para a rede é:

$$E E_{exp} = \frac{5516 - 149,51}{5516} = 0,97 \rightarrow 97\%$$

$$Ref E_{\eta} = 51,9\% \times (0,925 \times 97\% + 0,860 \times 3\%) = 47,9\%$$

$$CHP H_{\eta} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{5712}{14254} = 0,401 \rightarrow 40,1\%$$

$$CHP E_{\eta} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}} = \frac{5516}{14254} = 0,387 \rightarrow 38,7\%$$

$$PEP = \left[1 - \frac{1}{\frac{0,401}{0,82} + \frac{0,367}{0,479}} \right] \times 100\% = 22,8\%$$

Como se poderá analisar, o valor da PEP, baixou em 3,53 % eventualmente por motivos de não haver aproveitamento da energia térmica no circuito de arrefecimento do motor de baixa temperatura e também ao nível da recuperação do circuito HT.

As principais barreiras a viabilidade económica para a implementação da cogeração no sector cerâmico de pavimentos e revestimentos são atualmente o elevado preço do gás natural associado a um decréscimo das tarifas de venda de energia elétrica, subsidiada pelo Estado Português e ainda o elevado custo dos investimentos por parte das indústrias cerâmicas e a dificuldade de obtenção de financiamento para a respetiva aquisição.

5 Outras boas práticas aplicadas à indústria cerâmica

O desenvolvimento tecnológico, a adoção de novas tecnologias, o aumento do preço dos combustíveis e o consequente aumento das matérias primas, levou a que o setor de pavimentos e revestimentos tenha sofrido grandes desenvolvimentos nas últimas três décadas, tendo no entanto ainda grande margem de manobra, para aumento da eficiência energética principalmente no que diz respeito ao aproveitamento de energia térmica e elétrica. Permite assim melhorar a competitividade das empresas e, deste modo, obter vantagens competitivas relacionadas com a elevada qualidade dos produtos, baixos custos de produção ou diversificação de produtos. Para uma empresa ser competitiva durante um determinado período de tempo, tem de inovar, sob pena de poder não sobreviver.

5.1 Motores elétricos

A classificação EU-CEMEP estabelece para os motores três classes de rendimentos distintos (Classe I, Classe II e Classe III). Os motores Classe III correspondem aos motores standard com valores de rendimento inferiores aos valores mínimos para a Classe II, que são considerados “motores de rendimento melhorado”. Os motores cujos rendimentos excedem os valores indicados para os mínimos da Classe I são considerados “motores de alto rendimento”.

A norma IEC 60034-30 mais recente define novas classes de eficiência energética para motores elétricos, harmonizando diferentes requisitos atualmente existentes. Pretende ultrapassar as dificuldades presentes pelos fabricantes no mercado global. O utilizador final beneficia porque passa a dispor de informação mais transparente e de mais fácil compreensão. Esta norma define três classes de eficiência energética IE (International Efficiency) para motores de gaiola de esquilo, trifásicos de velocidade única, conforme apresentado no quadro seguinte:

Quadro 11 - Classes de eficiência IE para motores segundo a IEC 600341

Premium Efficiency	IE3	Premium
High Efficiency	IE2	Comparavel a EFF1
Standard Efficiency	IE1	Comparavel a EFF2

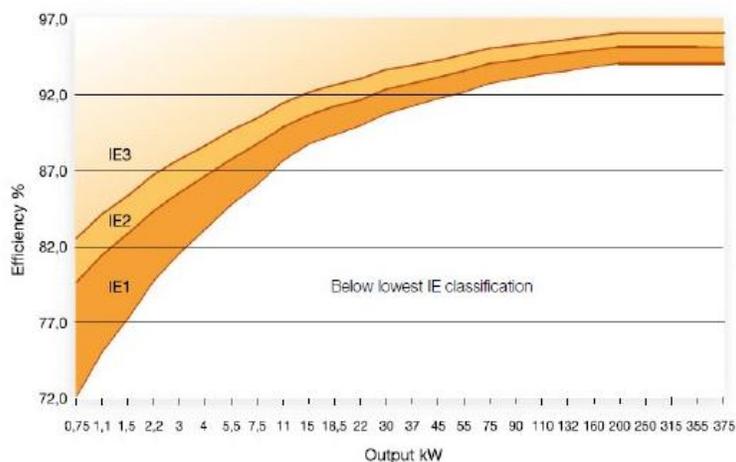


Figura 13 - Classes de eficiência IE para motores de 4 polos a 50

É recomendável que sob o ponto de vista de eficiência energética, que em caso de substituição dos motores associados a equipamentos de processo, ou de qualquer outro motor de acionamento, seja considerado, a adequação do motor à potência mecânica máxima necessária, para não se incorrer em situações de sobredimensionamento, e a opção por motores de alto rendimento. Os motores de alto rendimento, por terem menores perdas funcionam normalmente a uma temperatura mais baixa, o que conduz a uma vida útil mais longa. Por conseguinte, a fiabilidade aumenta, conduzindo a menores tempos de paragens e a uma redução de custos de manutenção. Na indústria cerâmica as situações mais atraentes do ponto de vista económico para instalar motores de alto rendimento ocorrem nas seguintes situações:

- Instalação de um novo equipamento (máquina) ou motor. Neste tipo de situação um motor de alto rendimento é normalmente vantajoso (tempo de recuperação do investimento inferior a três anos) para um número de horas de funcionamento superior a 2000 horas por ano.

- O motor existente avariou. Se o motor existente avariou, precisa de ser rebobinado e se tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição por um motor de alto rendimento. Com a exceção de motores pequenos (menos que 5 kW), a reparação de um motor custa cerca de 30-50% do preço de um motor de alto rendimento. Assim a diferença no investimento é significativamente maior do que no caso de motores maiores.
- O motor existente está fortemente sobredimensionado. Nestas condições e se o motor tem um número elevado de horas de funcionamento por ano, deverá ser considerada a sua substituição por um motor de alto rendimento com uma potência não excedendo o máximo da potência mecânica requerida. Esta substituição é particularmente vantajosa em empresas cerâmicas que por norma têm um parque numeroso de motores instalados. O motor sobredimensionado depois de ser substituído pode servir como unidade de reserva para substituição.

A substituição de motores “standard” que se encontram em bom funcionamento raramente é atraente do ponto de vista económico pois neste caso o investimento adicional representa 100% do custo do motor de alto rendimento. Para além das situações referidas, a seleção de um motor de alto rendimento é particularmente indicada aquando da compra de “pacotes” de equipamento tais como compressores, sistemas de bombagem de pasta etc. em situações de grandes modificações nas instalações ou nos processos e como parte de uma manutenção preventiva ou de um programa de conservação de energia.

Na indústria cerâmica, tal como noutros sectores, existem sistemas de ventilação em que os ventiladores funcionam com rotação constante. O ajuste de caudal às necessidades do processo geralmente é feito por intermédio de um damper (registro) que estrangula a conduta, como mostra a figura seguinte, aumentando a pressão e as perdas de carga nas condutas de ventilação da instalação. Esse sistema de controlo por estrangulamento é ineficiente do ponto de vista energético, provocando consumo desnecessário de energia.



Figura 14 - Pormenor do registo de estrangulamento de um ventilador

É com o intuito de otimizar o sistema do ponto de vista energético, adequando a rotação do motor/ventilador às reais necessidades do sistema, que a seguir se propõem algumas medidas concretas para os sistemas de ventilação existentes na cerâmica.

Assim sendo, propõe-se a instalação de um VEV para baixar a rotação do motor ajustando o caudal desejado, com perdas de carga significativamente inferiores ao atual estrangulamento mecânico. Como se pode observar no gráfico seguinte, para a situação em que o sistema funciona com variação eletrónica de velocidade, existe uma relação quadrática entre o caudal de ar e a potência elétrica dissipada pelo motor.

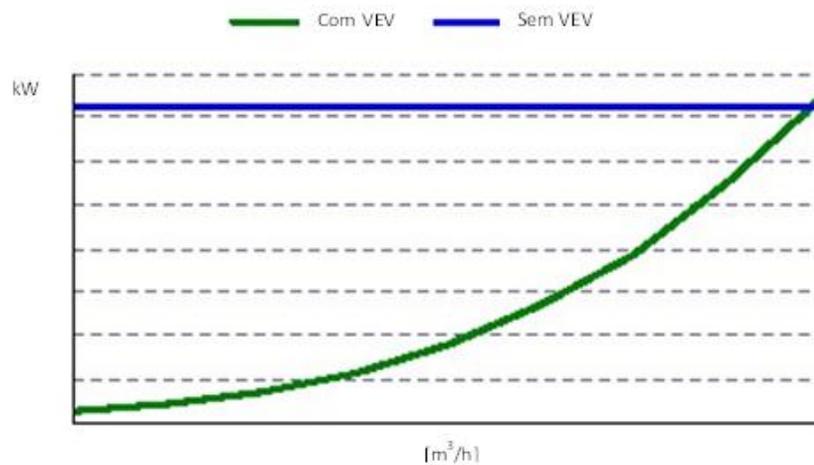


Figura 15 - Potência mecânica requerida por um ventilador com VEV

5.2 Atomização

A produção de pó cerâmico é um processo importante para alguns sub-setores, da indústria cerâmica, sendo de salientar que na última década, construíram-se algumas

empresas para fabrico exclusivo de pó, fundamentalmente para fornecer empresas do sub-sector de pavimentos, revestimentos e outros.

5.2.1 Sistema de gestão técnica

Os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) foram desenvolvidos para permitir informar o estado do processo industrial, sendo este estado atualizado periodicamente (19). Inicialmente, era apenas possível monitorizar sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de indicadores e lâmpadas, sem recurso a uma aplicação que permitisse a interoperabilidade com o utilizador.

É importante que se possa a cada momento visualizar o estado do equipamento, parametrizá-lo e analisar os seus desvios, para isso contribui a implementação de um sistema SCADA (que permite rapidamente atuar sobre o equipamento e fornecer a informação necessária para a gestão de energia da máquina. Os sistemas SCADA atualmente, utilizam sistemas de comunicação e computação que permite automatizar o controlo e monitorização dos processos industriais, efetuando recolha de informação e apresentando esta de forma *user-friendly*, ao utilizador.

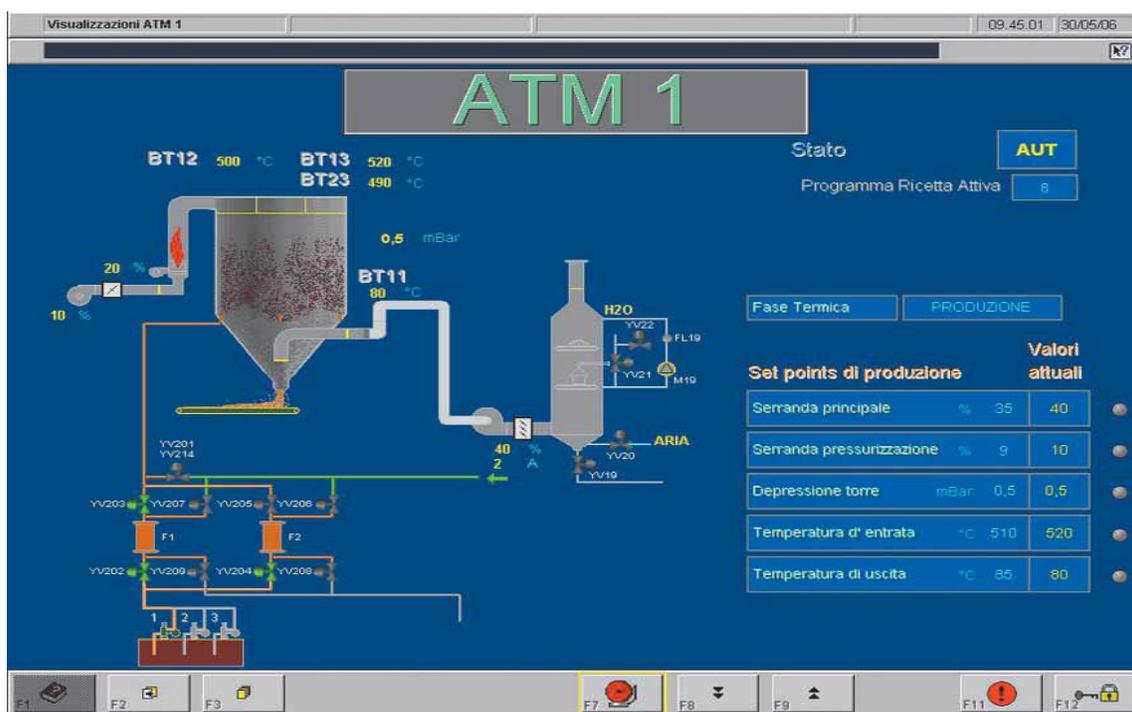


Figura 16 - Interface gráfica de funcionamento do atomizador

A aplicação destes sistemas, tornam possível a otimização do processo e melhoria na eficiência energética.

5.2.2 Recuperação de ar quente dos fornos

Além do desenvolvimento da Cogeração tradicional, têm sido desenvolvidas novas formas de aumentar a eficiência energética, como a recuperação de ar quente dos fornos, na exaustão de gases, com o cuidado de introduzir uma “purificação” filtro de mangas e cal aquecida para remover (ácidos) efluentes contidos neste ar como óxidos de azoto, flúores, enxofres e outros, este tipo de recuperação necessita de um maior investimento para tratamento dos gases quentes, com temperaturas mais elevadas, cerca de 200 a 250°C. Quando a temperatura não é suficientemente quente para a secagem da pasta, o sistema opera de tal modo que o aproveitamento seja máximo, permitindo a regulação automática do queimador. Para um atomizador ATM 65, com aproveitamento dos gases a uma temperatura de 240°C e a uma distância da chaminé de exaustão e o atomizador seja de 150m, estima o fabricante (10) que com este tipo de aproveitamento em cerca de 1.550.000 kcal/h, cerca de 30% da energia do atomizador.

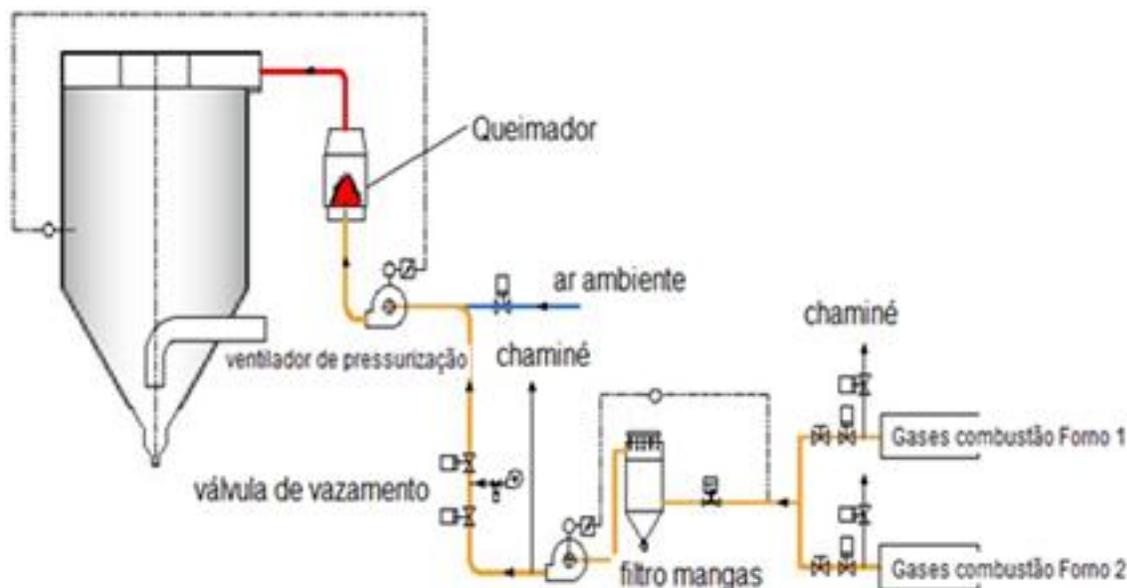


Figura 17 - Esquema recuperação exaustão de gases dos fornos

Fonte: SACMI, adaptado

5.2.3 Adaptar Cogeração no atomizador

A introdução de Cogeração é um fator preponderante para algumas empresas que poderão utilizar esta metodologia num sistema bidirecional, aproveitamento térmico e utilizar como auto consumo de eletricidade, ou como um subproduto (vender eletricidade). Dependendo do sistema de cogeração adotado (motor de combustão ou turbina a gás), é possível operar o atomizador com redução significativa do consumo de gás natural do queimador do atomizador.

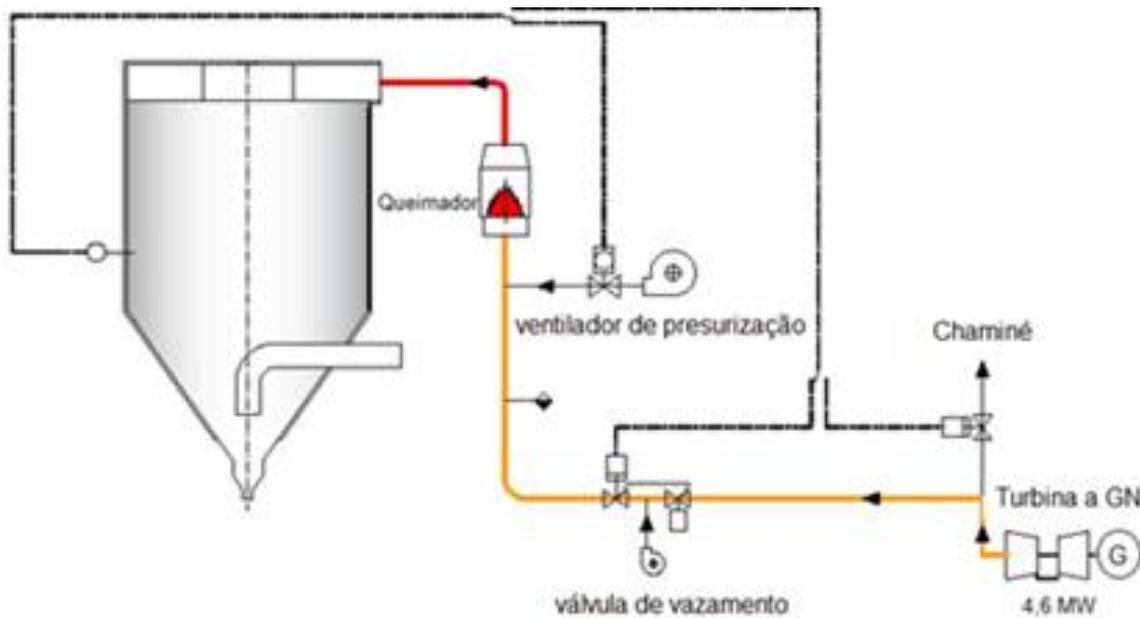


Figura 18 - Aproveitamento térmico com Cogeração

Fonte: SACMI, adaptado

Estima-se (10) que para dois ATM 65, é possível instalar uma turbina de 4,6 MW, com custo de tubaria incluído e construção civil por cerca de 4M€, a poupança média de economia de energia anual, sem custos de manutenção é cerca de 1,5 M€, com o preço da eletricidade e gás natural a 0,11€/kWh e 0,33€/m³ respetivamente, com o tempo de utilização de 8000h/ano, de modo que o investimento se paga em apenas 2,6 anos.

5.3 Secadores

A recuperação do excesso de calor existente na zona de arrefecimento do forno (e.g. fornos de rolos ou fornos túnel) e a sua utilização sob a forma de ar quente é um procedimento que pode ser aplicado a todos os sectores da indústria cerâmica.

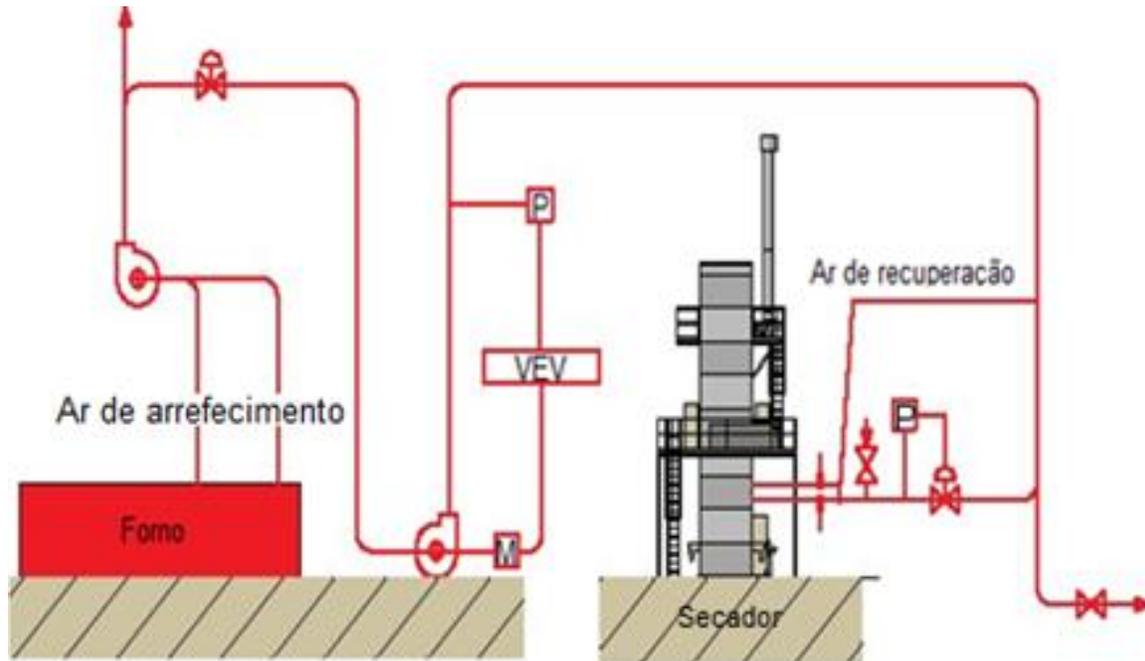


Figura 19 - Esquema de aproveitamento do ar quente do arrefecimento do forno para o secador

Fonte: SACMI, adaptado

A grande vantagem deste aproveitamento é que este ar é proveniente do arrefecimento do material cerâmico por conseguinte ar limpo, não necessita de ser purificado, mas está a uma temperatura mais baixa, na ordem dos 150°C. Por isso é conveniente que os secadores estejam o mais próximo possível dos fornos para que as perdas térmicas sejam mínimas.

5.3.1 Regulação do ventilador da chaminé num secador EVA 992

A introdução de um variador eletrónico de velocidade (VEV), para o ventilador da chaminé, associado à regulação da saída da chaminé, proporciona poupanças de energia, tanto em funcionamento do secador como nas paragens, provenientes de problemas a

jusante do secador (linha de vidragem, avarias etc.). Deve ser instalada na saída da chaminé um registo, (fig.15) com controlo automático (servomotor) que regula a saída de vapor de água da chaminé através de uma borboleta instalada no interior da tubagem. Com os dados necessários para processar o controlo em função da temperatura, pressão (presóstato) e humidade (higrómetro) é possível uniformizar com maior precisão os valores de humidade e pressão, fazendo assim uma melhor gestão da máquina com redução de consumos de energia.

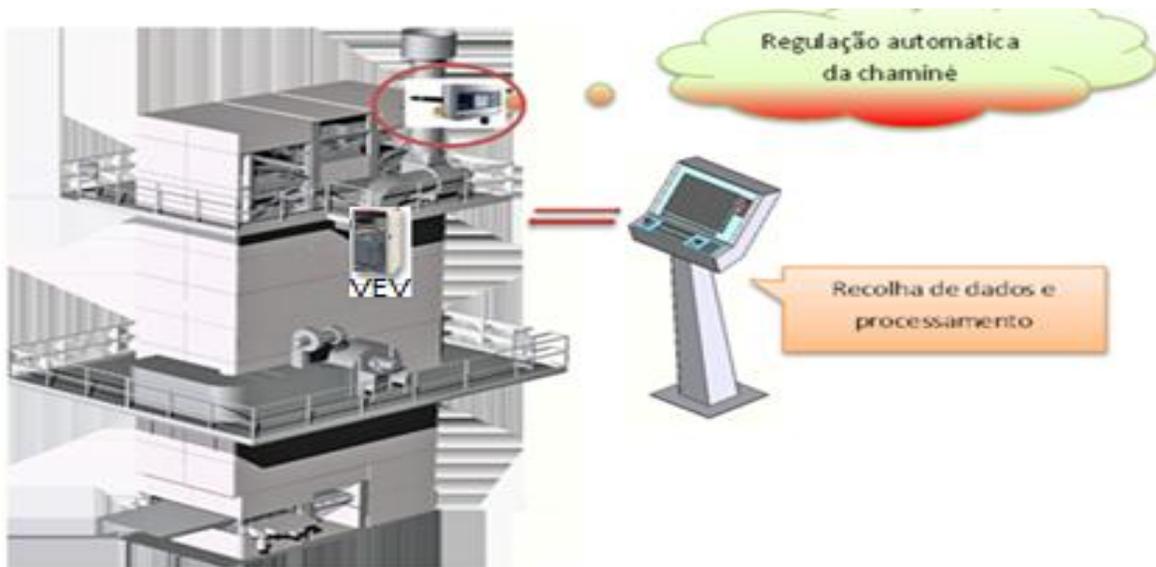


Figura 20 - Secador com regulação chaminé de exaustão

Fonte: SACMI, adaptado

É possível estimar valores de redução nos consumos de energia elétrica e térmica, dependendo de caso a caso, tendo em conta tempos de paragem, dias de funcionamento, patamares de funcionamento. Se a produção em funcionamento pode trabalhar em permanência com velocidade constante (frequência do VEV a 40Hz) de tiragens de vapor de água através da chaminé ou não e se nas paragens se pode reduzir a velocidade (para uma frequência de 30Hz). Os sistemas propostos com regulação de velocidade reduzem no consumo de electricidade e gás natural, que é tanto mais significativo quanto maiores forem as paragens na produção do secador.

Com a produção do formato 330x660x110 mm de pavimento sem VEV, o caudal de tiragem de vapor de água em termos médios era de cerca de 3516m³/h, depois de alguns ensaios estima-se que é possível trabalhar a uma velocidade de extração de vapor de água (frequência de 40 Hz) e em paragem é possível reduzir a velocidade de extração para um caudal médio de 1400m³/h (frequência mínima de 32 Hz), por motivo de saturação do ar dentro do secador em função do tempo de paragem/arranque. Para um caudal de renovação de ar necessário (teórico) no secador é em termos médios de 2295m³/h, para manter este caudal é necessário trabalhar à frequência de 40 Hz, logo teremos uma redução de ar a aquecer (sem VEV) de 3516 até 2295 Nm³/h, para cálculos, utiliza-se a eq (5) da energia associada a gases húmidos (ar, gases de combustão).

É necessário calcular a massa de ar seco, tendo em conta que a redução foi de 3516 para 2295Nm³, com uma temperatura de saída dos gases de 130°C e de temperatura de bolbo húmido de 38°C, obteve-se uma redução de 1221 ¹Nm³/h, assim temos que calcular o caudal volumétrico “Nm³/h” que é dado pela eq (6):

A massa específica do ar a pressão e temperaturas normais (PTN) é 1,293Kg/m³

$$M_{ar} = \frac{1221}{\frac{273,15 + 130}{273,15}} \times 1,293 = 1069,48 \text{ Kg/h}$$

Sabendo o teor de humidade (W), retirado da tabela no (anexo-1), intersecção da temperatura de saída da chaminé com a temperatura de bolbo húmido, obtem-se o valor:

$$W=0,008 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg ar seco}$$

Dividindo o caudal volumétrico pelo teor de humidade, obtem-se o caudal ar seco dado pela eq (7).

$$M_{ar \text{ seco}} = \frac{M_{var}}{1 + W_{ar}}$$

¹ Nm³ – referência ao metro cúbico de GN em condições normais (temperatura 0°C e pressão 1,01325 bar abs.)

$$M_{ar\ seco} = \frac{1069,67}{1 + 0,008} = 1060,99 \text{ Kg/h}$$

Desta forma obtemos uma energia associada à redução de caudal, dada pela eq (5) de:

$$Q_{ar} = 161.075,25 \text{ kJ/h}$$

Se o tempo de funcionamento for de 100%, estima-se o equivalente em GN, através da eq (11), com o PCI_{GN} de 37910 kJ/Nm³.

$$Q_g = \frac{Q_{ar}}{PCI_{GN}} \quad eq(11)$$

$$Q_g = \frac{161.075,25}{37910} = 4,25 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

O valor do PCS (kWh/m³) médio encontrado nas faturas do gás é de 11,9 kWh, o que é possível estimar numa redução de 50,56 kWh. Os valores médios faturados de energia elétrica e de GN são respetivamente de 0,09€/kWh e de 0,03€/kWh, que se traduz em poupanças diárias equivalentes de GN de 36,40€, admitindo que o secador não teria paragens, o que não é o caso.

Com a redução da velocidade de extração de ar pela chaminé do secador (frequência de 50 para 40 Hz), obteve-se uma redução de potência de 1,1 kW no motor de 5,5kW, valor médio registado no analisador de energia no período de 24 horas, que ao preço acima referido obtém-se uma poupança de 2,38 €/dia.

Verifica-se que o tempo médio de paragens do secador por motivos de limpeza de máquinas da linha de esmaltação, manutenção, lavagens etc, será sensivelmente 30%.

Apresenta-se abaixo quadro ilustrativo da poupança energética e custos associados ao secador em funcionamento, ou seja 100% do tempo de funcionamento por reduzir o caudal de ar a aquecer e em pausa 30% por reduzir o caudal de ar em funcionamento durante o tempo de pausa, neste período a redução de caudal é de 895 m³/h.

Quadro 12 - Economia e redução de energia

Redução do consumo de gás:	kWh	€/h
Redução do caudal de ar a aquecer (100%) de 3516 para 2295 Nm ³ /h	50,56	1,52
Redução do caudal de ar (30%) de 2295 para 1400 Nm ³ /h	11,10	0,33
Total redução consumo gás	61,68	1,85

Redução do consumo de eletricidade:	kWh	€/h
Regulação da velocidade do motor (100%) de 50 para 40 Hz	1,10	0,10
Regulação da velocidade do motor (30%) de 40 para 32 Hz	0,33	0,03
Total redução consumo de eletricidade	1,43	0,13
Poupança total		1,98

Tempo de funcionamento diário do secador de 24h/dia		
Obtemos uma poupança diária de:	47,50	€/dia
Se trabalhar 330 dias por ano		
Traduz numa poupança anual de:	15.674	€/ano

Para além desta importante poupança energética, há outras vantagens que se deverão salientar, tais como:

- Redução da percentagem de perdas no processo devidas a secagem excessiva dos mosaicos.
- Aumento da produtividade da linha ao reduzir em cerca de 15 a 20 minutos o tempo de arranque, uma vez que a estabilização da temperatura no secador com a introdução do VEV está otimizada, significa que mais rápido alimenta a linha de esmaltação, aumentando assim a produção.
- Redução marginal de energia consumida também durante os arranques.

Em secadores que dependem de interrupções de linha de transporte de material para esmaltação ou outro tipo de aplicações é importante que todos os seus ventiladores (recirculação) estejam com VEVs para que no caso de paragens de linha, estes possam reduzir as suas velocidades de funcionamento para patamares pré-estabelecidos

(estudados), proporcionando assim uma redução no consumo de energia elétrica e, também uma redução, embora menos significativa, de consumo de gás associada ao facto de a redução de velocidade de circulação de ar quente no interior do secador se traduzir numa diminuição das perdas de calor.

Numa abordagem simplificada, no mesmo secador com implementação de VEV no ar de recirculação com 2 ventiladores de potência 37kW, a potência absorvida a 50 Hz é cerca de 63kW (85%), parametrizando a frequência do VEV, para 40 e 30 Hz, a potência absorvida é respetivamente cerca de 47,2 e 31,5 kW. Admitindo que a produção possa trabalhar em permanência a 40 Hz e nas paragens a 30 Hz, se estiver parado 25% do tempo, a redução do consumo médio por hora relativamente à situação atual é de $0,75 \times (63 - 47,2) + 0,25 \times (63 - 31,5) = 19,63 \text{ kW}$. Se o secador trabalhar 24 horas x 330 dias por ano e, a energia custar 0,09 €/kWh a poupança anual traduz-se em **13.989 €**.

5.4 Fornos

O forno é um dos principais consumidores de energia térmica quando comparado com todo o processo de produção cerâmica, a grande quantidade de energia, ar quente lançado na atmosfera durante a queima e arrefecimento do material é significativa, alguns fluxos de calor têm temperaturas baixas de mais para se reutilizar no processo, por isso como já vimos no aproveitamento para atomizador do ar de exaustão da combustão dos fornos aonde as temperaturas estão cerca de 200 a 250°C. Para a combustão do gás combustível (GN, GPL, GNL), são necessárias grandes quantidades de oxigénio (ar de combustão) para a combustão. Se este for pré-aquecido com ar quente dos arrefecimentos, conduz a uma economia do combustível. Também os secadores podem utilizar o aproveitamento de ar quente das zonas de arrefecimento, embora este calor tenha baixas temperaturas, só é viável o seu aproveitamento se os secadores estiverem fisicamente perto dos fornos para que as perdas térmicas no transporte (tubagens) sejam minimizadas.

Os fornos devem procurar trabalhar sempre que possível, num regime de carga próximo da sua capacidade nominal, para que a eficiência energética seja máxima, manter

uma pressão ligeiramente positiva no forno se possível para que não haja infiltrações de ar parasita, evitar contudo pressões excessivas para que não haja perdas para o exterior e, manter um bom isolamento das paredes do forno.

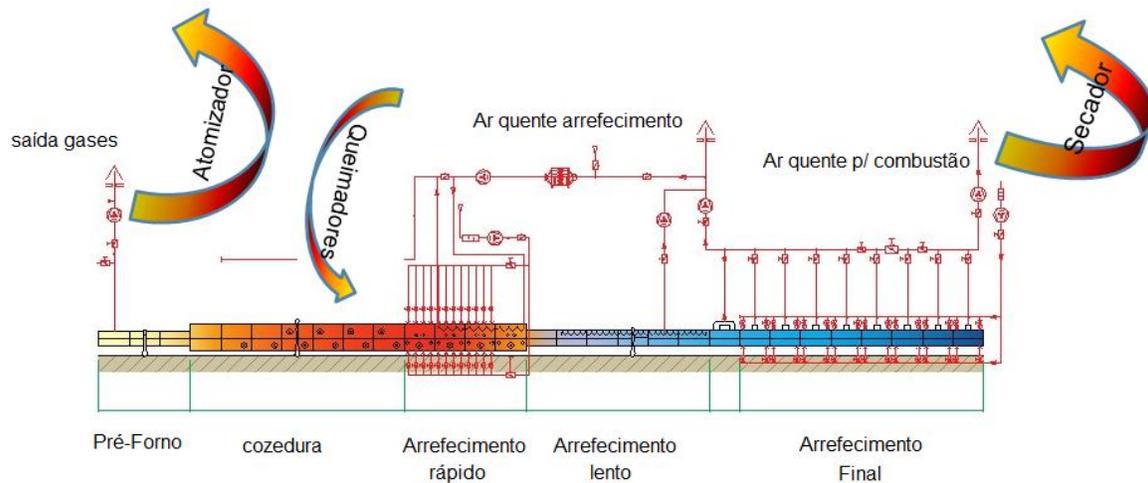


Figura 21 - Esquema de aproveitamento de ar quente do forno

Fonte: SACMI, adaptado

Evitar temperaturas superiores ao estritamente necessário, e otimizar curvas e ciclos de cozedura, em função do tipo de material, instalando para esse efeito, sistemas de controlo automático.

Determinar regularmente o consumo específico de energia do forno (unidade de combustível/unidade de produção), por forma a acompanhar a evolução do seu desempenho e a detetar situações anómalas, para que rapidamente sejam corrigidas.

Para evidenciar a importância das fugas de ar quente, foi estudado o impacto de uma pequena fuga, cuja área era de $0,148\text{m}^2$, medida com anemómetro de turbina, registou-se a velocidade de fuga de ar quente em $4,52\text{m/s}$, com uma temperatura de saída de ar quente de 152°C e temperatura de bolbo húmido de 55°C . Assim, para termos a noção da importância das perdas de energia nos fornos (isolamento térmico) ou nouro equipamento, vai-se calcular o equivalente económico e energético:

Caudal volumétrico do ar de saída (m_{var})

$$m_{var} = V * A \quad [m^3/h] \quad \text{eq. (12)}$$

Em que:

m_{var} -	Caudal volumétrico do ar	[m ³ /h]
V -	Velocidade do ar à T _s	[m/s]
A -	Área de saída do ar	[°C]

$$m_{var} = 4,52 \times 0,148 \times 3600 = 2406,63 \text{ m}^3/h$$

Caudal mássico do ar de saída (M_{ar}), dado pela eq (7), obtém-se:

$$M_{ar} = \frac{2406,63}{\frac{273,15 + 152}{273,15}} \times 1,293 = 1998,86 \text{ kg/h}$$

Sabendo o teor de humidade (W), retirado da tabela (anexo -1), diagrama de ar húmido, intersecção da temperatura de saída da chaminé com a temperatura de bolbo húmido, obtem-se o valor:

$$W=0,070 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg ar seco}$$

Caudal mássico do ar seco (M_{ar seco}), dado pela eq (6), obtém-se:

$$M_{ar \text{ seco}} = \frac{1998,86}{1 + 0,070} = 1868 \text{ kg/h}$$

Energia associada ao ar (Q_a), dado pela eq (8), obtém-se:

$$Q_a = 283950 \text{ kJ/h}$$

O equivalente em GN, pela eq (11), obtém-se:

$$Q_g = \frac{283950}{37910} = 7,5 \text{ Nm}^3$$

Utilizando o desenvolvimento acima descrito, apresenta-se quadro 13 das poupanças energéticas e redução de custos associados conseguidos com a reposição do isolamento no forno.

Quadro 13 - Fuga de ar quente do forno

PCI do gás natural	37.910	kJ/Nm ³
Perda equivalente	7,5	Nm ³ /h
Perda equivalente em GN anual	59.320	Nm ³ /ano
Valor médio PCS/m ³	11,9	kWh/m ³
Perda equivalente de energia	705.908	kWh
	Custo do gás natural	0,030 € / kWh
	Poupança energética evitada anual	21.177 € / ano

A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício ao longo do processo, estas estratégias de combate às fugas de energia (calor, ar comprimido etc.), são de custos reduzidos quando comparados com custos de medidas de recuperação de energia.

6 Conclusões

Com esta dissertação pretendeu-se dar ênfase à eficiência energética pela via da introdução de novas tecnologias no processo de produção na indústria cerâmica. A utilização de novas tecnologias na indústria cerâmica é muito comum. Estas incluem investimentos em sistemas de gestão técnica, estes podem ajudar a melhorar o desempenho produtivo e energético. Antes de se pensar sobre a diversidade de fontes energéticas que teremos que considerar para assegurar o nosso consumo de energia, é fundamental refletir sobre a efetiva necessidade de consumirmos tanta energia. A promoção da eficiência energética pode ser atingida através da implementação de ações, planos ou medidas que permitam evitar o consumo energético. Portugal é um dos países europeus (se considerarmos os primeiros 15 países da União Europeia) com uma menor eficiência energética, ou seja, é um dos que gasta mais energia por cada unidade de riqueza produzida. Tratando-se de um país ainda com uma elevada dependência energética do exterior, a eficiência energética é a opção estratégica para um futuro sustentável para Portugal.

A indústria cerâmica, devido à conjuntura atual olha afincadamente para a racionalização de energia, “não desperdiçar”, otimizar, desligar, poupar, esta é a estratégia que esta indústria está a praticar, podendo de alguma forma estar já numa situação em que o setor está já em fase de saturação de aplicação das novas tecnologias. Com a introdução da cogeração há uma poupança de energia primária, que no caso concreto em estudo evitou o consumo de gás nos queimadores do secador. Aliado ao benefício da secagem do material cerâmico, há ainda a considerar a produção de energia elétrica fornecida a rede elétrica.

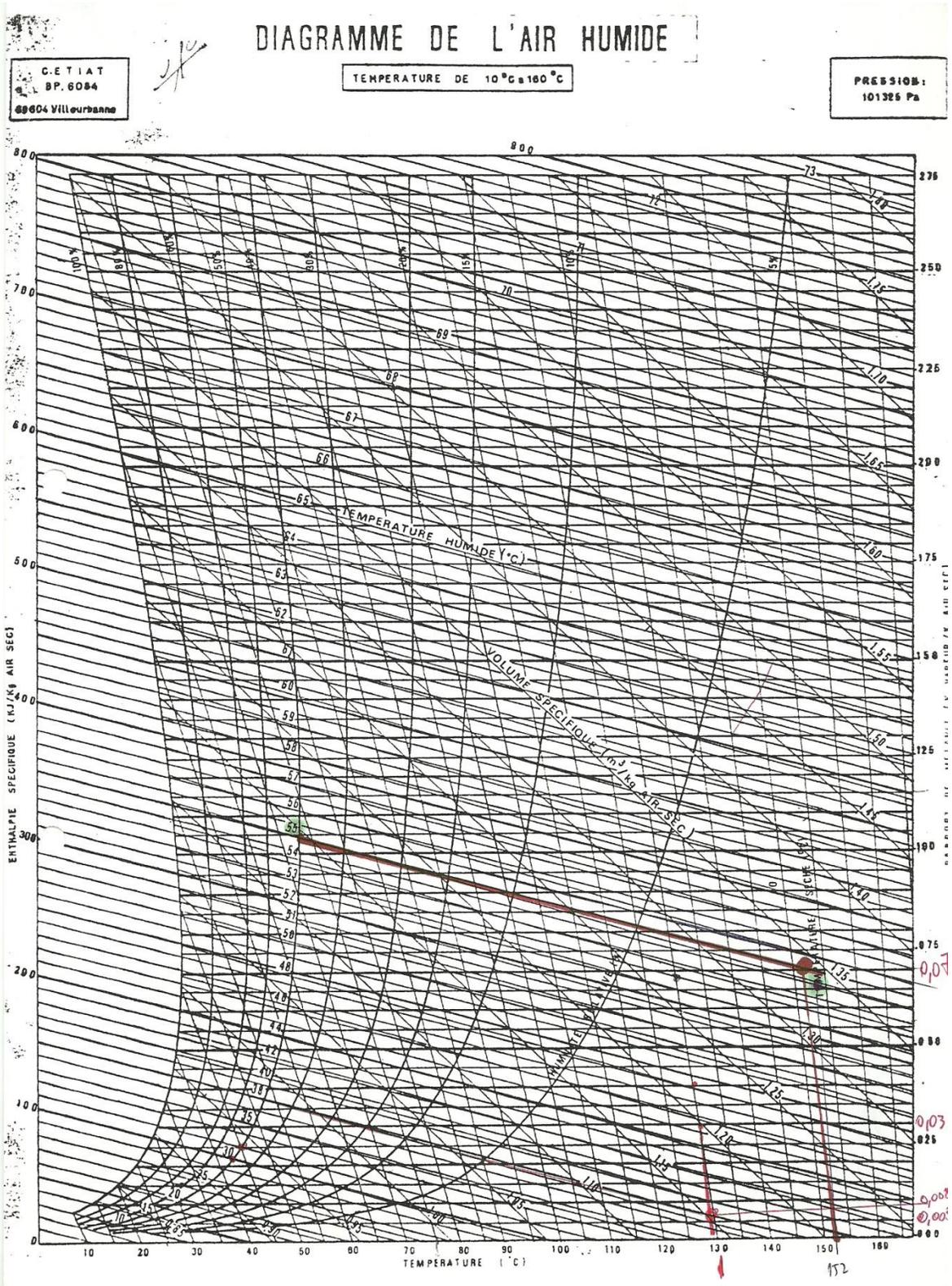
7 Referências Bibliográficas

1. *Energia e Futuro*. **Ferreira, João de Jesus**. 2011, p. 43.
2. **Portugal, RECET - Associação dos Centros Tecnológicos de**. *renovare*. 2007. ISBN:978-989-20-0809-7.
3. **Portugal, BCSD**. *Manual de boas práticas de Eficiência Energética*. Lisboa : s.n., 2005.
4. **APICER**. Utilização Racional de Energia e Energias Renováveis. [autor do livro] CTCV.
5. **Adene**. www.adene.pt/SGCIE. [Online]
6. *Evolución hacia la cerámica fotovoltaica*. **SÁNCHEZ-MUÑOZ, L**. Vol 50, 1,15-22, Enero-Febrero 2011 ISSN 2173.0431, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, pp. 15-16.
7. **Meyer-Stamer, J., Maggi, C. e Seibel, S**. *Cadeia de Valor Global do Setor Cerâmico*. s.l. : Institute of Development Studies, Agosto 2001;.
8. **Associação, Apicer -**. *Influência da granulometria da calcite e da temperatura de cozedura em composições cerâmicas para revestimento poroso*. XXXVI.
9. *Competitiveness issues in the ceramic sector:drives and obstacless*. **Batier, Renaud**. 2009.
10. **Sacmi Ibérica ATC, 2004. ISBN 8487683290**. *Tecnologia Cerâmica Aplicada*. [autor do livro] Sacmi Ibérica.
11. **FONSECA, ANTÓNIO TOMÁS DA**. *Tecnologia do Processamento Cerâmico*. s.l. : Universidade Aberta, 2000.
12. *FWC Sector Competitiveness Studies– Competitiveness of the Ceramics Sector*. **Consulting, ECORYS Research and**. de 13 de Outubro de 2008.
13. *Reference Document on Best Available techniques in the Ceramic Manufacturing Industry*. **European Commission**. 2007.
14. **Vitor Magueijo, M^a. Cristina Fernandes, Henrique A. Matos, Clemente Pedro Nunes, João Paulo Calau**. *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria*. (Documento Final-11/Março/2008).
15. *INTRODUÇÃO À COGERAÇÃO - Energias Renováveis e Produção Descentralizada*. **Castro, Rui M.G.** DEEC / Área Científica de Energia - INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO : s.n., Maio de 2008 (edição 1.2).
16. **Jackson, T.,.** *Clean Production Strategies*. USA : Lewis Publishers, 1993.

17. *Improving the energy efficiency of vertical ceramic tile dryers fitted with a cogeneration facility.* **G.MALLOL [et.al]**. Tokyo : s.n., 2003. 22nd Gas Conference.
18. *Micro-CHP Fact Sheet Portugal.* **Europe, COGEN.** Analysis of Trigeneration Systems with respect to energy Consumption, CO₂-Emission and Economics, Institute für Energietechnik Technische Universität Berlin : s.n.
19. **Ceramic-Une.** European Ceramic Industry Association / Ceramic Sectors / Sectors. [Online] 2010.
20. *Ministerio de Economía, “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en. Secretaria de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa.* España 2004-2012 – 3. Subsector Minerales No Metálicos”.
21. **Sá, André Fernando Ribeiro de.** *Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética.* 2010.
22. *Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética.* . **Almeida, Aníbal, et al.** 2005.
23. *Energy Efficiency Trends and Policies in the Europe.* © **ADEME Editions, Paris 2009.** 2009.
24. **Aníbal T. de Almeida(1), Fernando J. T. E. Ferreira(1)(2), Paula Fonseca(1), Fernando Oliveira(3).** *Considerações Técnico-Económicas sobre Variadores Electrónicos de Velocidade.*
25. **ERSE.** *PLano Promoção Eficiência Energética.* 2009.
26. **Indústria, Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética:Grupo 5 – Grupo de Trabalho.** *Medidas de Eficiência Energética:Um Enquadramento Tecnológico Sucinto.* 2010.
27. **ISR-UCoimbra, ADENE, ADEME.** *“Guia Técnico Programa Motor Challenge –Soluções para melhorar os sistemas accionados por motores eléctricos”, 2007.*
28. *Tecnología cerámica aplicada.* **ISBN 8487683290.** Castellón: Sacmi Iberica : s.n., 2004.
29. *Programa Nacional de Barragens com grande potência hidroeléctrico.* **REN, DGEG.** Instituto da Água I.P., : s.n., 2007.
30. **Energia, Adene .- Agência para a.** www.ADENE.pt. [Online]
31. *Diálogo Homem-Máquina.* **Electric., Schneider.** 2009., Vol. Documento técnico nº4.

8 Anexos

Anexo -1



Anexo - 2

Pressão de vapor de saturação (mm Hg)

<i>t</i> , °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,579	4,613	4,647	4,681	4,715	4,750	4,785	4,820	4,855	4,890
1	4,926	4,962	4,998	5,034	5,070	5,107	5,144	5,181	5,219	5,256
2	5,294	5,332	5,370	5,408	5,447	5,486	5,525	5,565	5,605	5,615
3	5,685	5,725	5,766	5,807	5,848	5,889	5,931	5,973	6,015	6,058
4	6,101	6,144	6,187	6,230	6,274	6,318	6,363	6,408	6,453	6,498
5	6,543	6,589	6,635	6,681	6,728	6,775	6,822	6,869	6,917	6,965
6	7,013	7,062	7,111	7,160	7,209	7,259	7,309	7,360	7,411	7,462
7	7,513	7,565	7,617	7,669	7,722	7,775	7,828	7,882	7,936	7,990
8	8,045	8,100	8,155	8,211	8,267	8,323	8,380	8,437	8,494	8,551
9	8,609	8,668	8,727	8,786	8,845	8,905	8,965	9,025	9,086	9,147
10	9,209	9,271	9,333	9,395	9,458	9,521	9,585	9,649	9,714	9,779
11	9,844	9,910	9,976	10,042	10,109	10,176	10,244	10,312	10,380	10,419
12	10,518	10,588	10,658	10,728	10,799	10,870	10,941	11,013	11,085	11,158
13	11,231	11,305	11,379	11,453	11,528	11,604	11,680	11,756	11,833	11,910
14	11,987	12,065	12,144	12,223	12,302	12,382	12,462	12,513	12,624	12,706
15	12,788	12,870	12,953	13,037	13,121	13,205	13,290	13,375	13,461	13,547
16	13,631	13,721	13,809	13,898	13,987	14,076	14,166	14,256	14,347	14,438
17	14,530	14,622	14,715	14,809	14,903	14,997	15,092	15,188	15,284	15,380
18	15,477	15,575	15,673	15,772	15,871	15,971	16,071	16,171	16,272	16,374
19	16,477	16,581	16,685	16,789	16,894	16,999	17,105	17,212	17,319	17,427
20	17,535	17,611	17,753	17,863	17,974	18,085	18,197	18,309	18,422	18,536
21	18,650	18,765	18,880	18,996	19,113	19,231	19,349	19,468	19,587	19,707
22	19,827	19,948	20,070	20,193	20,316	20,440	20,565	20,690	20,815	20,911
23	21,068	21,196	21,324	21,453	21,583	21,714	21,845	21,977	22,110	22,213
24	22,377	22,512	22,648	22,785	22,922	23,060	23,198	23,337	23,476	23,616
25	23,756	23,897	24,039	24,182	24,326	24,471	24,617	24,764	24,912	25,060
26	25,209	25,359	25,509	25,660	25,812	25,964	26,117	26,271	26,426	26,582
27	26,739	26,897	27,055	27,214	27,374	27,535	27,696	27,858	28,021	28,185
28	28,349	28,514	28,680	28,847	29,015	29,184	29,354	29,525	29,697	29,870
29	30,043	30,217	30,392	30,568	30,745	30,923	31,102	31,281	31,461	31,612
30	31,824	32,007	32,191	32,376	32,561	32,747	32,934	33,122	33,312	33,503
31	33,695	33,888	34,082	34,276	34,471	34,667	34,864	35,062	35,261	35,462
32	35,663	35,865	36,068	36,272	36,477	36,683	36,891	37,099	37,308	37,518
33	37,729	37,912	38,155	38,369	38,584	38,801	39,018	39,237	39,457	39,672
34	39,898	40,121	40,344	40,569	40,796	41,023	41,251	41,480	41,710	41,910
35	42,175	42,409	42,644	42,880	43,117	43,355	43,595	43,836	44,078	44,320
36	44,563	44,808	45,054	45,301	45,549	45,799	46,050	46,302	46,556	46,811
37	47,067	47,324	47,582	47,841	48,102	48,364	48,627	48,891	49,157	49,424
38	49,692	49,961	50,231	50,502	50,774	51,048	51,323	51,600	51,879	52,160
39	52,442	52,725	53,009	53,294	53,580	53,867	54,156	54,446	54,737	55,030

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpia kJ/kg			Entropía kJ/kg·K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Vapor
		sat. v _f x 10 ³	sat. v _g	sat. u _f	sat. u _g	sat. h _f	sat. h _g	sat. h _g	sat. s _f	sat. s _g
01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.3	2561.7	0.4781	8.3927
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5459	8.2950
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.08593	1.0099	15.258	188.44	2438.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648
50	0.1236	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	8.0763
55	0.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.9913
60	0.1994	1.0172	7.671	251.11	2458.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.9096
65	0.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	7.8310
70	0.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	7.7553
75	0.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	0.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	0.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	0.7014	1.0360	2.381	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	0.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.8	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4246	6.3585
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8671
290	74.36	1.3656	0.02567	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.8121
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7645
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362
340	145.9	1.6379	0.01060	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357

ANEXO I

Valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de electricidade
(mencionados no artigo 1º)

No quadro abaixo, os valores de referência harmonizados para a produção separada de electricidade assentam no poder calorífico inferior e nas condições normalizadas ISO (temperatura ambiente de 15° C, pressão de 1,013 bar, humidade relativa de 60 %).

	Ano de construção: Tipo de combustível:	1996 e anterio- res	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006- -2011
Sólidos	Carvão de pedra/coque	39,7 %	40,5 %	41,2 %	41,8 %	42,3 %	42,7 %	43,1 %	43,5 %	43,8 %	44,0 %	44,2 %
	Lignite/briquetes de lignite	37,3 %	38,1 %	38,8 %	39,4 %	39,9 %	40,3 %	40,7 %	41,1 %	41,4 %	41,6 %	41,8 %
	Turfa/briquetes de turfa	36,5 %	36,9 %	37,2 %	37,5 %	37,8 %	38,1 %	38,4 %	38,6 %	38,8 %	38,9 %	39,0 %
	Lenha	25,0 %	26,3 %	27,5 %	28,5 %	29,6 %	30,4 %	31,1 %	31,7 %	32,2 %	32,6 %	33,0 %
	Biomassa agrícola	20,0 %	21,0 %	21,6 %	22,1 %	22,6 %	23,1 %	23,5 %	24,0 %	24,4 %	24,7 %	25,0 %
	Resíduos biodegradáveis (municipais)	20,0 %	21,0 %	21,6 %	22,1 %	22,6 %	23,1 %	23,5 %	24,0 %	24,4 %	24,7 %	25,0 %
	Resíduos não renováveis (municipais e industriais)	20,0 %	21,0 %	21,6 %	22,1 %	22,6 %	23,1 %	23,5 %	24,0 %	24,4 %	24,7 %	25,0 %
	Xisto betuminoso	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %	38,9 %
Líquidos	Petróleo (gasóleo + fuelóleo residual), GPL	39,7 %	40,5 %	41,2 %	41,8 %	42,3 %	42,7 %	43,1 %	43,5 %	43,8 %	44,0 %	44,2 %
	Biocombustíveis	39,7 %	40,5 %	41,2 %	41,8 %	42,3 %	42,7 %	43,1 %	43,5 %	43,8 %	44,0 %	44,2 %
	Resíduos biodegradáveis	20,0 %	21,0 %	21,6 %	22,1 %	22,6 %	23,1 %	23,5 %	24,0 %	24,4 %	24,7 %	25,0 %
	Resíduos não renováveis	20,0 %	21,0 %	21,6 %	22,1 %	22,6 %	23,1 %	23,5 %	24,0 %	24,4 %	24,7 %	25,0 %
Gases	Gás natural	50,0 %	50,4 %	50,8 %	51,1 %	51,4 %	51,7 %	51,9 %	52,1 %	52,3 %	52,4 %	52,5 %
	Gás de refinaria/hidrogénio	39,7 %	40,5 %	41,2 %	41,8 %	42,3 %	42,7 %	43,1 %	43,5 %	43,8 %	44,0 %	44,2 %
	Biogás	36,7 %	37,5 %	38,3 %	39,0 %	39,6 %	40,1 %	40,6 %	41,0 %	41,4 %	41,7 %	42,0 %
	Gases de fornos de coque, gases de altos fornos, outros gases residuais, calor residual recuperado	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %

ANEXO II

Valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de calor (mencionados no artigo 1º)

No quadro abaixo, os valores de referência harmonizados para a produção separada de calor assentam no poder calorífico inferior e nas condições normalizadas ISO (temperatura ambiente de 15º C, pressão de 1,013 bar, humidade relativa de 60 %).

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

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

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

ANEXO IV

Factores de correcção relativos às perdas da rede evitadas para aplicação de valores de referência harmonizados em matéria de eficiência para a produção separada de electricidade (mencionados no n.º 2 do artigo 2º)

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

Exemplo:

Uma unidade de cogeração de 100 kW_{el} com um motor alternativo alimentado a gás natural produz uma corrente eléctrica de 380 V. 85 % dessa electricidade é utilizada para consumo próprio e 15 % é exportada para a rede. A unidade foi construída em 1999. A temperatura média ambiente anual é de 15 °C (não sendo necessário efectuar correcção climática).

De acordo com o anexo I da presente decisão, em 1999, o valor de referência harmonizado em matéria de eficiência para o gás natural é de 51,1 %. Após ter-se aplicado o factor de correcção das perdas da rede, o valor de referência da eficiência resultante para a produção separada de electricidade nesta unidade de cogeração (com base na média ponderada dos factores constantes do presente anexo) seria o seguinte:

$$\text{Ref. } \eta = 51,1 \% * (0,860 * 85 \% + 0,925 * 15 \%) = 44,4 \%$$