



**Ana Sofia de Sousa
Bezerra**

**ANÁLISE CRÍTICA DO CONSUMO DE ENERGIA NA
INDÚSTRIA DE FAIANÇA**



Universidade de Aveiro
2015

Departamento de Ambiente e
Ordenamento

**Ana Sofia de Sousa
Bezerra**

ANÁLISE CRÍTICA DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE FAIANÇA

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Fernando Neto, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

arguente

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

orientador

Professor Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Pelo seu contributo para este trabalho, gostaria de agradecer:
ao Professor Miguel Oliveira, pela co-orientação da dissertação, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e constante motivação;
ao Professor Fernando Neto, pelos conhecimentos transmitidos e orientação em momentos cruciais.

Gostaria de agradecer à equipa das Almas, S.A., que me recebeu em sua casa e que me ajudaram sempre; em particular, ao Dr. Miguel Coelho, pela sua disponibilidade; ao Paulo e ao Sr. José, fundamentais na realização deste estudo; ao Márcio, ao Sr. José e ao Sr. João.

Obrigada a todos

palavras-chave

Eficiência energética, Indústria de faiança, Perdas térmicas; Gestão da energia

resumo

Com este trabalho pretende-se analisar o consumo de energia na indústria de faiança e identificar medidas de poupança energética.

Em 2014, o consumo específico foi de 191 kgep/t e a intensidade carbónica 2,15 tCO_{2e}/t, tendo havido uma redução de, respectivamente, 50,2% e 1,3%, comparativamente a 2010. O consumo total correspondeu a 1108 tep, sendo 66% relativo ao consumo de gás natural.

Foi utilizado um analisador de energia eléctrica nos principais equipamentos consumidores, e na desagregação de consumos térmicos, efectuaram-se leituras no contador geral de gás natural e foram utilizados dados das auditorias ambiental e energética.

O processo de cozedura é responsável por 58% do consumo térmico da instalação, seguido da pintura com 24%. A conformação é o sector com maior consumo de energia eléctrica, correspondendo a 23% do consumo total.

As perdas térmicas pelos gases de exaustão dos equipamentos de combustão e pela envolvente do forno, considerando os mecanismos de convecção natural e radiação, correspondem a cerca de 6% do consumo térmico total, sendo necessário tomar medidas a nível do isolamento térmico e da redução do excesso de ar.

A instalação de variadores de velocidade nos ventiladores do ar de combustão do forno poderia resultar em poupanças significativas, em particular, no consumo de gás natural – redução de 4 tep/ano e cerca de 2500€/ano– tendo um tempo de retorno do investimento inferior a 1 ano. Deverá ser, no entanto, garantida a alimentação de ar combustão a todos os queimadores, bem como, a combustão completa do gás natural.

O funcionamento contínuo do forno poderia resultar no aumento da sua eficiência energética, com redução de custos de operação e manutenção, sendo necessário avaliar os custos adicionais de stock e de mão de obra.

Verificou-se que as medidas relacionadas com a monitorização de consumos, eliminação de fugas de ar comprimido e a instalação de variadores de velocidade nos ventiladores do ar de combustão do forno poderiam resultar em reduções de consumo de 26 tep e de emissões de 66tCO_{2e}, num total de quase 14 000€.

Keywords

Energy Efficiency; Earthenware industry, Heat losses; Energy Management

Abstract

The main aim of this study was to analyze the energy consumption in the earthenware industry and identify energy saving measures. In 2014, the specific consumption was 191 kgoe / t and carbon intensity was 2,15 tCO_{2e} / t. This was a reduction of 50,2% and 1,3%, respectively, compared to 2010. The total consumption was 1108 toe, of which 66% was natural gas consumption.

In order to identify the most energy consumers, it was used a power quality analyser. For thermal allocation, it was read natural gas volume consumption and used environmental and energy audit data.

Firing and painting are responsible for 58% and 24% of thermal consumption. Shaping sector has the highest electrical energy consumption, with 23% of total.

The flue gas heat losses and the kiln thermal losses by natural convection and radiation, which correspond to 6% of the total heat consumption, could be prevented by thermal insulation and by reducing air excess.

The variable speed drives installation in the kiln combustion air fans could result in significant savings, particularly in the consumption of natural gas – of about 4 toe / year and 2500€/ year –with a simple payback less than a year. However, it should be guarantee the supply of combustion air to all of the burners and complete combustion of natural gas.

Kiln continuous operation could result in increased energy efficiency, reducing operating and maintenance costs, still it has to be evaluated additional costs of stock and labor.

It was found that measures relating to the monitoring and targeting energy consumption, compressed air leakage and variable speed drives installation in kiln combustion air fans could result in consumption and emissions reduction of 26 toe and 66 t CO_{2e}, decreasing energy costs by about 14000€.



Índice

1. Introdução.....	9
1.1. Objectivo	10
1.2. Metodologia	10
2. Caracterização da indústria de faiança	11
2.1. Apresentação da empresa.....	11
2.2. Caracterização da Produção.....	12
2.2.1. Regime de laboração	12
2.2.2. Descrição do Processo Produtivo	13
2.2.3. Dados de Produção.....	21
2.3. Caracterização Energética	21
2.3.1. Análise da factura de energia eléctrica	21
2.3.2. Análise do consumo de gás natural.....	24
2.3.3. Análise de consumos globais de energia	24
3. Avaliação do desempenho energético – Execução do REP.....	25
3.1. Estado de implementação do ARCE	25
3.2. Evolução dos Indicadores Energéticos e objectivos alcançados	26
4. Elaboração de simuladores de energia	27
4.1. Simulador de opção tarifária	27
4.2. Simulador de desempenho energético da instalação	27
5. Exame Energético à instalação.....	29
5.1. Consumo de Energia Eléctrica	29
5.1.1. Análise de consumos eléctricos por equipamento.....	30
5.1.2. Desagregação de consumos eléctricos.....	45
5.2. Desagregação de consumos térmicos.....	46
5.3. Desagregação de consumos	49
6. Oportunidades de melhoria na utilização de energia térmica	51
6.1. Análise dos gases de exaustão	51
6.1.1. Excesso de Ar	52
6.1.2. Perdas térmicas pelos gases de exaustão	55
6.1.3. Recuperação de calor dos gases de exaustão	55
6.2. Estimativa das perdas térmicas nas paredes laterais do forno.....	59
6.2.1. Mecanismos de transferência de calor.....	59
6.2.2. Metodologia	61
6.2.3. Resultados	62



6.3. Estratégias de operação do forno	64
6.3.1. Cenário de referência	64
6.3.2. Cenário proposto	65
7. Medidas para redução de consumos e custos de energia	69
7.1. Eliminação de Fugas de Ar Comprimido.....	69
7.2. Minimização de perdas de calor no sector da embalagem.....	70
7.3. Isolamento térmico das paredes laterais do forno	71
7.4. Instalação de Sistema de Gestão de Energia.....	71
7.4.1. Levantamento dos locais de instalação	72
7.4.2. Análise preliminar do Investimento	73
7.5. Instalação de VEV nos ventiladores do forno.....	74
8. Conclusões	77
9. Referências Bibliográficas	79
Anexo I. Relatório de Execução e Progresso (REP) do biénio 2013-2014	81
Anexo II. Temperaturas médias medidas nas paredes laterais do forno.....	97
Anexo III. Diagrama Psicrométrico para temperaturas elevadas.....	101



Índice de Figuras

Figura 1. Pormenor do <i>Showroom</i> e alguns dos produtos comercializados (retirado de www.almas-design.com)	11
Figura 2. Fluxograma do processo produtivo, incluindo fluxos de massa e energia	13
Figura 3. Sector da Pasta – vista dos Moinhos 2 (moinho do meio) e 3 (moinho de aparas) e do sistema de peneiração	14
Figura 4. Sector da Pasta – (a) vista dos filtros-prensa; (b) vista da fieira	14
Figura 5. Sector de fabrico dos moldes de gesso.	15
Figura 6. Sector da Conformação – (a) pormenor da linha de produção da Roller I; (b) pormenor da cabeça e da panela da Roller VII.	16
Figura 7. Sector da Conformação – vista do acabador da Roller I, após saída dos vasos crus da pré-secagem.....	16
Figura 8. Secador horizontal de rolos (zona da estufa do forno), com vista das condutas de recuperação de calor da zona de arrefecimento.	17
Figura 9. Forno de rolos – saída das peças cerâmicas após cozedura.	18
Figura 10. Sector da Pintura – (a) pormenor da cabina de pintura da Máquina 3; (b) pormenor do túnel de secagem da Máquina 4	18
Figura 11. Sector da Embalagem – pormenor da entrada da câmara de encolhimento	19
Figura 12. Evolução da produção mensal de vasos no ano de 2014 e até ao 3º trimestre de 2015, em toneladas, e respectivas médias.	21
Figura 13. Consumo mensal de energia activa, por período tarifário, em 2014	22
Figura 14. Distribuição do consumo de energia activa, por período tarifário, em 2014	22
Figura 15. Evolução da energia reactiva mensal facturada em 2014	23
Figura 16. Consumo mensal facturado de gás natural, em m ³ N, em 2014.....	24
Figura 17. Pormenor das folhas de cálculo do simulador de opção tarifária	27
Figura 18. Pormenor de folha de cálculo do simulador de avaliação de desempenho energético.	28
Figura 19. Sector da pasta –(a)Pormenor do quadro eléctrico parcial dos Moinhos, durante medição (b) Vista do moinho, aquando carga.	30
Figura 20. Diagrama de carga do Moinho 1 (moinho do Canto), com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	31
Figura 21. Diagrama de carga do Moinho 2 (moinho do meio), com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	31
Figura 22. Diagrama de carga do Moinho 3, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	32
Figura 23. Diagrama de carga da Fieira e da Bomba de vácuo, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	33
Figura 24. Diagrama de carga da Bomba de vácuo, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	33
Figura 25. Diagrama de carga da Roller I, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	35
Figura 26. Diagrama de carga da Roller IV, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	36
Figura 27. Diagrama de carga da Roller V, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	36
Figura 28. Diagrama de carga da Roller VII - elevação, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	37
Figura 29. Diagrama de carga da Roller VII - secador, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)	37



Figura 30. Forno – (a) Pormenor do quadro eléctrico parcial, durante medição; (b) Analisador de energia eléctrica.....	39
Figura 31. Diagrama de carga do Forno, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	39
Figura 32. Diagrama de carga da Pintura 1, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	40
Figura 33. Diagrama de carga do sistema de aspiração das Pinturas 1 e 2, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	41
Figura 34. Diagrama de carga da Pintura 3, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	41
Figura 35. Diagrama de carga da Pintura 4, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr).....	42
Figura 36. Diagrama de carga do sector da embalagem.....	43
Figura 37. Compressor - Pormenor do quadro eléctrico parcial.....	44
Figura 38. Diagrama de carga do compressor.....	44
Figura 39. Distribuição de consumos eléctricos por equipamento.....	46
Figura 40. Resumo da desagregação de consumos de energia eléctrica (azul) e térmica (laranja) por sector	49
Figura 41. Consumo específico de gás natural no forno em função da produção bruta	66
Figura 42. (a) Pormenor da câmara de encolhimento no sector da embalagem; (b) Exemplo de estrutura para retenção de calor na câmara de encolhimento (retirado de http://www.fhopepack.com)	71
Figura 43. Diagrama de carga do ventilador do ar de combustão da zona autoregulada 4 (AR4) ...	75

Índice de Tabelas

Tabela 1. Tempo de funcionamento por sector.....	12
Tabela 2. Resumo das características dos principais equipamentos	20
Tabela 3. Consumo de Energia e Emissões de GEE, em 2014, por tipo de energia	24
Tabela 4. Indicadores de referência e metas a atingir, ao fim de 6 anos na instalação.	25
Tabela 5. Produção e consumo por tipo de energia nos anos de avaliação do ARCE	26
Tabela 6. Evolução dos indicadores energéticos nos biénios de apresentação do REP	26
Tabela 7. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da pasta, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação	34
Tabela 8. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da pasta.....	35
Tabela 9. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da conformação, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação	38
Tabela 10. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da conformação	38
Tabela 11. Comparação das potências activa e reactiva do forno, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação.....	40
Tabela 12. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da pintura, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação.....	42
Tabela 13. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da pintura.....	43
Tabela 14. Resumo da desagregação de consumos eléctricos por sector produtivo	45
Tabela 15. Desagregação de consumos de gás natural por sector produtivo	47
Tabela 16. Resumo da desagregação de consumos eléctricos por sector produtivo	48



Tabela 17. Dados de caracterização dos efluentes gasosos para cada sector.....	51
Tabela 18. Composição, massa e coeficientes molares do gás natural seco distribuído em Portugal	52
Tabela 19. Excesso de ar nos equipamentos de combustão de cada sector	54
Tabela 20. Perdas térmicas pelos gases de exaustão	55
Tabela 21. Massa das amostras e teor de água presente.....	57
Tabela 22.Necessidade de gases de combustão para secagem.....	58
Tabela 23.Características dos módulos para determinação das perdas térmicas.....	61
Tabela 24. Temperaturas médias obtidas por zona do do forno, nos lados esquerdo e direito.	62
Tabela 25. Estimativa da potência térmica perdida pelas paredes laterais do forno, por zona e por lado.....	63
Tabela 26. Resumo das perdas térmicas pelas paredes e pelos efluentes gasosos	64
Tabela 27. Dados de produção e consumo de gás natural no forno no ano de referência.....	64
Tabela 28. Redução do consumo específico de gás natural do forno face ao aumento da produção	66
Tabela 29. Potência do compressor necessária para alimentar fugas de ar, consoante diâmetro do furo.....	69
Tabela 30. Estimativa de poupança anual, devido a reparação de fugas de ar comprimido	70
Tabela 31. Consumos e custos anuais actuais e previstos no sector da embalagem	70
Tabela 32. Levantamento dos equipamentos para instalação de contadores de electricidade e respectivo contributo para consumo, custos e emissões	72
Tabela 33. Contadores de gás natural a instalar na Hipótese I.....	72
Tabela 34. Contadores de gás natural a instalar na Hipótese II.....	73
Tabela 35. Avaliação preliminar do investimento associado ao sistema de monitorização de consumos	73
Tabela 36. Número de queimadores associado a cada ventilador e zona auto-regulada	74
Tabela 37. Avaliação preliminar do investimento associado à instalação de VEV nos ventiladores.....	75



Nomenclatura

Símbolo	Grandeza	Unidade
$y_{i,g}$	Fracção molar do componente i nos gases de exaustão em base tal e qual (btq)	[mol de i/ mol de gases de exaustão em btq]
$y_{i,gd}$	Fracção molar do componente i nos gases de exaustão em base seca (bs)	[mol de i/ mol de gases de exaustão em bs]
y_{iF}	Fracção molar do componente i no combustível F em base seca	[mol de i/ mol F em bs]
v_{ji}	Coefficiente molar do elemento j no componente i	[mol de j/mol de i]
n_{Fd}	Quantidade molar de combustível F em base seca	[mol F em bs]
$P_{abs,g}$	Pressão absoluta na exaustão	[kPa]
\dot{m}_g	Caudal mássico dos gases de exaustão em base tal e qual	[kg/h]
\dot{m}_{gd}	Caudal mássico dos gases de exaustão em base seca	[kg/h]
M_i	Massa molar do composto i	[kg de i/mol de i]
T_g	Temperatura dos gases de exaustão	[°C]
T_a	Temperatura ambiente	[°C]
z	Excesso de ar	[%]
n_{O_2s}	Quantidade molar de oxigénio estequiométrico	[mol O ₂ actual]
n_{O_2a}	Quantidade molar de oxigénio actual	[mol O ₂ actual]
$Y_{s,j}$	Consumo estequiométrico de oxigénio	[mol O ₂ / mol de elemento j reagente]
\dot{V}_{GN}	Caudal volúmico de gás natural	[m ³ /h]
ρ_{GN}	Massa volúmica de gás natural	[kg/m ³ N]
W_{AF}	Razão mássica actual de ar de combustão em relação ao combustível F em base seca	[kg ar actual/kg F em bs]
\dot{Q}_g	Potência térmica dos gases de exaustão	[kW]
Q_g	Calor perdido pelos gases de exaustão	[kWh]
$\bar{C}_{p,i}$	Capacidade calorífica média do composto i	[kJ/kg.°C]
PCI_i	Poder Calorífico Inferior do composto i	[MJ/kg]
m_{vc}	Massa de vasos crus	[kg]
$m_{vc,d}$	Massa de vasos crus em base seca	[kg]
$m_{H_2O,v}$	Massa de água nos vasos crus	[kg]
X_w	Teor de humidade nos vasos crus em base tal e qual	[kg H ₂ O/kg vaso cru em btq]
X_{wd}	Teor de humidade nos vasos crus em base seca	[kg H ₂ O/kg vaso cru em bs]
$X_{wd,0}$	Teor de humidade inicial nos vasos crus (à entrada do secador) em base seca	[kg H ₂ O/kg vaso cru em bs]
$X_{wd,f}$	Teor de humidade final nos vasos crus (à saída do secador) em base seca	[kg H ₂ O/kg vaso cru em bs]
$\dot{m}_{H_2O,v}$	Caudal mássico de água a evaporar dos vasos	[kg/h]
$\dot{m}_{H_2O,máx}$	Caudal mássico máximo de água a evaporar dos vasos	[kg/h]
\dot{m}_{sec}	Caudal mássico de ar de secagem necessário	[kg/h]
W_{VA}^{sat}	Humidade absoluta nas condições de saturação	[kg H ₂ O /kg ar seco]
W_{VA}	Humidade absoluta	[kg H ₂ O /kg ar seco]
\dot{Q}_{conv}	Potência térmica perdida por convecção	[W]
\dot{Q}_{rad}	Potência térmica perdida por radiação	[W]
h_c	Coefficiente de convectivo de transferência de calor	[W/m ² .K]
A	Área de transferência de calor	[m ²]
T_s	Temperatura do fluido na zona de contacto com superfície	[K]
Nu	Número de Nusselt	



Pr	Número de Prandtl	
Gr	Número de Grashof	
L	Altura da parede lateral	[m]
β	Coefficiente de dilatação térmica	[K ⁻¹]
ε	Emissividade	
μ	Viscosidade dinâmica	[kg/m.s]
ρ	Massa volúmica	[kg/m ³]
k	Conductividade térmica	[W/m.°C]
g	Aceleração da gravidade	[m ² /s]
V	Volume de fluido	[m ³]
Pt	Potência Activa	[kW]
St	Potência Aparente	[kVA]
Qti	Potência Reactiva Indutiva	[kVAr]
Qtc	Potência Reactiva Capacitiva	[kVAr]
cos ϕ	Factor de Potência	
t _{func}	Tempo de funcionamento	[h]



1. Introdução

As questões relacionadas com as necessidades energéticas, a redução de emissões de gases com efeitos de estufa e o desenvolvimento sustentável tornaram-se temas centrais a nível mundial. As políticas públicas têm sido definidas de forma a preservar os recursos naturais e reduzir o consumo de energia e as emissões para a atmosfera, mantendo a competitividade económica.

Em todos os sectores de actividade, os factores de produção devem ser otimizados, sendo a melhoria do desempenho energético, uma forma de criar vantagem competitiva em mercados cada vez mais concorrenciais e de dimensão global (IAPMEI, LNEG, Carboneutral, ADENE, 2012).

A indústria cerâmica é um sector consumidor intensivo de energia, essencialmente devido aos processos de cozedura e de secagem. O mix energético na indústria cerâmica europeia é cerca de 80% gás natural e 20% energia eléctrica. Em Portugal, no sector da cerâmica ornamental em faiança, os custos energéticos representam cerca de 17% dos custos associados ao processo produtivo, embora estes custos dependam do tamanho e capacidade produtiva da instalação (Quinteiro, et al., 2012).

A implementação de medidas de optimização de motores eléctricos, da produção de calor e do processo, nomeadamente, a monitorização e controlo e a redução da energia reactiva podem trazer reduções significativas nos custos energéticos das empresas industriais.

Em particular, no caso da indústria cerâmica, as medidas de eficiência energética com maior potencial de economia passam pela optimização dos fornos e secadores, através do controlo das condições de operação, da melhoria do isolamento térmico, da redução das perdas térmicas e da recuperação de calor (EC, 2007) (Magueijo, et al., 2010).



1.1. Objectivo

Neste trabalho, pretende-se avaliar o desempenho energético de uma instalação industrial cerâmica, de forma a caracterizar o consumo energético dos sectores e equipamentos mais relevantes e identificar oportunidades de melhoria.

1.2. Metodologia

No sentido de avaliar o desempenho energético da instalação, este trabalho consistiu nas seguintes fases:

- Caracterização energética e análise da produção;
- Elaboração do relatório de execução e progresso (REP);
- Análise eléctrica dos principais consumidores;
- Desagregação de consumos térmicos e eléctricos;
- Determinação de perdas térmicas na instalação.

Posteriormente foram estudadas medidas de eficiência energética, nomeadamente:

- Estudo de viabilidade para recuperação de calor dos gases de exaustão;
- Isolamento térmico do forno;
- Rentabilização energética do forno;
- Reparação de fugas de ar comprimido;
- Análise preliminar do investimento num sistema de monitorização de consumos;
- Análise preliminar do investimento em variadores de velocidade para os ventiladores do ar de combustão do forno.



2. Caracterização da indústria de faiança

2.1. Apresentação da empresa

A Almas, S.A. é uma empresa líder de mercado na produção de vasos de design em faiança, localizada em Aguada de Cima, Águeda.

Fundada em 1908, com a designação social de José Fernando da Costa Abrantes, Lda., começou por produzir cadinhos para a fundição de ouro e prata. A empresa dedicou-se também à produção de botijas em grés, tornando-se o grande fornecedor do vinho Rosé Lancers, e, mais tarde, ao fabrico de manilhas e acessórios para saneamento e condutas de água. O aparecimento de produtos substitutos, como as botijas de vidro e as manilhas em PVC, obrigou a empresa, em meados da década de 80, a reorientar a sua actividade para a produção de louça de mesa (pratos, taças, jarras, etc.) e louça pintada à mão em faiança e, pouco tempo depois, para o fabrico de vasos.

Em 2001, a denominação social é alterada para Almas d'Areosa – Cerâmicas, S.A., em 2008, para Almas, S.A..

A partir de 2003, apostou na diferenciação através do design, estabelecendo parcerias com alguns estúdios de design internacionais como o Studio Levien (Inglaterra), Favaretto & Partners (Itália) e Carina Ahlburg (Suécia).

A capacidade de adaptação ao mercado, a inovação, o dinamismo e o *know-how* são características desta empresa centenária.



Figura 1. Pormenor do *Showroom* e alguns dos produtos comercializados (retirado de www.almas-design.com)

Actualmente, a Almas é a empresa especializada na produção de vasos com maior capacidade instalada em Portugal. A sua produção destina-se essencialmente à exportação, tendo como principais mercados a Alemanha, Escandinávia e Reino Unido.

Ao longo dos anos, tem investido nas mais recentes tecnologias de produção, de modo a responder às necessidades do mercado e exigências dos seus clientes.



A nível da sustentabilidade ambiental, foram adoptadas medidas no que diz respeito ao consumo de água, de matérias-primas e resíduos, nomeadamente, reaproveitamento da água utilizada no processo e incorporação de cacos crus, na secção de preparação da pasta.

A melhoria do seu desempenho energético é outra das preocupações da empresa. Nas suas instalações, verifica-se a existência de variadores electrónicos de velocidade em vários motores, a instalação de baterias de condensadores, aproveitamento da energia térmica do compressor para sistema de acondicionamento do ar ambiente, bem como, recuperação de calor da zona de arrefecimento do forno para o secador.

2.2. Caracterização da Produção

Os artigos produzidos inserem-se na categoria de louça utilitária e decorativa (CAE 234), em faiança. O processo produtivo é semelhante à louça produzida em porcelana e grés, diferindo apenas nas matérias-primas utilizadas e na temperatura de cozedura, que, no caso da faiança, é mais baixa, i.e., cerca de 1100°C (CTCV, 2012).

A unidade industrial tem uma capacidade produtiva de cerca de 35 000 vasos por dia, em regime de laboração de 3 turnos diários durante 6 dias por semana.

2.2.1. Regime de laboração

Tendo em conta o período de laboração, na desagregação dos consumos e custos anuais de energia por sector ou equipamento, foram admitidas as horas de trabalho apresentadas na Tabela 1, considerando que a fábrica trabalha 47 semanas por ano.

Tabela 1. Tempo de funcionamento por sector

Sector	t _{func} (h)		
	por dia útil	fim de semana	anual
Conformação	24	16	6392
Forno	24	24	6768
Pintura	16	4	3948
Embalagem	16	4	3948

O sector da Pasta não foi incluído na medida em que as horas de funcionamento variam consoante o equipamento.



2.2.2. Descrição do Processo Produtivo

O processo de fabrico divide-se pelas seguintes etapas: preparação da pasta, conformação, cozedura, pintura e embalagem e de uma fase auxiliar para preparação dos moldes de gesso.

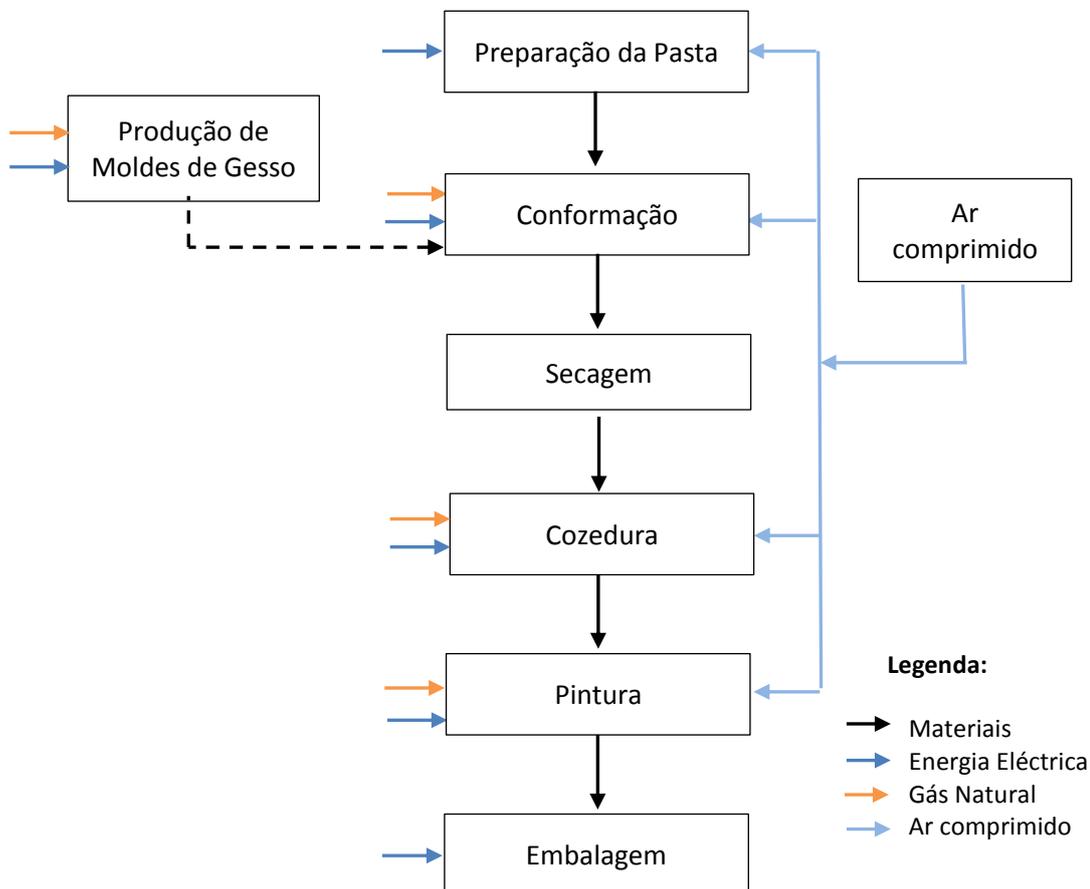


Figura 2. Fluxograma do processo produtivo, incluindo fluxos de massa e energia

i. Preparação da Pasta

As matérias-primas consistem em argilas, caulinos e cacos crus, que depois de doseadas, são transportadas para os moinhos (turbodiluidores), onde é adicionada água para a formação da pasta. Esta mistura é determinante para a qualidade do produto final. Na instalação, existem 3 moinhos, um dos quais destinado a aparas, resultantes de desperdícios de pasta crua, provenientes da secção de conformação, que são reaproveitados. Após diluição, a suspensão passa por um processo de peneiração e é encaminhada para os tanques de homogeneização, com agitação permanente.



Figura 3. Sector da Pasta – vista dos Moinhos 2 (moinho do meio) e 3 (moinho de aparas) e do sistema de peneiração

A pasta é posteriormente bombeada para os filtros-prensa, de forma a fazer a separação sólido/líquido. A pasta prensada é então alimentada à fieira, para extrusão sob vácuo. Na fieira, o material é amassado e empurrado por um parafuso sem-fim até à cabeça da extrusora, sujeito a vácuo para desarejamento e a pasta é retirada sob a forma de cilindros, com dimensões pré-definidas. Esta fase define características importantes do barro, nomeadamente ao nível da orientação das camadas na sua estrutura interna, bem como, da sua porosidade e densidade.

Os cilindros de pasta são colocados em paletes e encaminhados para o sector da conformação.



Figura 4. Sector da Pasta – (a) vista dos filtros-prensa; (b) vista da fieira

ii. Fabrico de Moldes de Gesso

O fabrico de moldes de gesso é um sector de apoio importante para a produção dos vasos, na medida em que define o acabamento superficial do produto.

A matéria-prima utilizada é o sulfato de cálcio di-hidratado, geralmente, designado por gesso, que é misturado com água em proporções bem definidas para garantir a resistência mecânica necessária.

A qualidade do gesso, a relação gesso-água, o tempo e velocidade de agitação e a etapa de secagem influenciam directamente o seu tempo de vida útil (Pacheco, 2000). Na fábrica, os moldes podem ser reutilizados, cerca de 100 a 150 vezes.



As formas de gesso são secas em 3 estufas, com queimadores a gás natural, onde ficam cerca de 3 dias, a temperaturas no máximo de 65°C. A temperaturas superiores, pode haver calcinação de superfície, em que a superfície do molde, especialmente aqueles localizados na saída das condutas de ar quente, fica pulverulenta. Para garantir uma secagem uniforme – condição fundamental para obter boa resistência mecânica e aumento do tempo de vida útil das formas (Ceramic Industry, 2002) -, são utilizados dois ventiladores em cada estufa para efectuar a circulação de ar.



Figura 5. Sector de fabrico dos moldes de gesso.

iii. Conformação

No sector da conformação, as máquinas, designadas por “Rollers”, têm um circuito totalmente automatizado, passando pela conformação, pré-secagem e acabamento.

Actualmente, existem 4 máquinas em produção – Rollers I, IV, V e VII – adaptadas ao tamanho do vaso a produzir.

Dependendo da máquina, a pasta pode ser sujeita novamente a um processo de extrusão para formação de cilindros de tamanho adequado. Estes cilindros de barro são cortados e colocados no interior de moldes de gesso (formas), suportados por painéis, para conformação interna.

As cabeças das *rollers*, em rotação, baixam, apertando o barro contra a superfície do molde, cuja panela se encontra também em rotação. Durante a contra-moldagem, o barro excedente é retirado por um cortador, sendo as aparas recolhidas para reutilização na preparação da pasta.



Figura 6. Sector da Conformação – (a) pormenor da linha de produção da Roller I; (b) pormenor da cabeça e da panela da Roller VII.

As peças passam por um processo inicial de secagem numa estufa (em cerâmica, designado por secadores de couro - *leatherhard dryer*) de modo a secar e contrair o suficiente para facilitar a sua desmoldagem e serem manuseadas.

A seguir, seguem para o acabador, para retocar e suavizar a sua superfície.



Figura 7. Sector da Conformação – vista do acabador da Roller I, após saída dos vasos crus da pré-secagem.

Após passarem pelo acabador, as peças cerâmicas são seleccionadas. Os vasos não-conformes (cacos crus) são colocados em contentores para reciclagem interna e os vasos em cru são colocados em carrinhos ou no transportador aéreo para secagem sob as condições ambiente da fábrica.

Apenas a *Roller I* tem um secador de branco (*white dryer*), onde são colocados os vasos para secar antes de irem para o secador do forno.

Neste secador há aproveitamento dos gases de exaustão da estufa que entram em contracorrente com os gases de combustão de um queimador a gás natural, sendo distribuído por injectores.



iv. Cozedura

Antes da etapa de cozedura, propriamente dita, os vasos crus passam por uma etapa de secagem, num secador horizontal de rolos, designado por “estufa do forno”, que se encontra acoplado ao forno.

As peças cerâmicas são colocadas em placas refractárias na linha de produção, que entram na estufa sobre os rolos em rotação.

Nesta zona, é eliminada a água superficial dos vasos (evaporação na superfície) e a água presente nos poros, que chega à superfície por difusão, a temperaturas entre 100 e 200°C (EC, 2007) (Canotilho, 2003).

O calor proveniente do ar de arrefecimento do forno e dos gases de exaustão da zona de queima é aproveitado para aquecimento da estufa. Existem também queimadores, localizados lateralmente perto da saída da estufa que produzem gases quentes para a secagem, em contracorrente com o fluxo de materiais.



Figura 8. Secador horizontal de rolos (zona da estufa do forno), com vista das condutas de recuperação de calor da zona de arrefecimento.

Após secagem, os produtos cerâmicos passam para o forno nas seguintes zonas:

- zona de aquecimento, onde ocorre um aumento progressivo da temperatura;
- zona de queima, onde é alcançado o valor máximo da temperatura (geralmente definido para 1010°C);
- zona de arrefecimento rápido, onde há uma redução brusca da temperatura, através de entrada de ar forçado;
- zona de arrefecimento lento, onde há uma diminuição gradual da temperatura até à saída do forno;
- zona de arrefecimento final.

No final desta etapa, procede-se à escolha, rejeitando os produtos com defeito e encaminhando os produtos conformes para o sector da pintura.



Figura 9. Forno de rolos – saída das peças cerâmicas após cozedura.

v. Pintura

A unidade de pintura é automatizada, sendo constituída por 4 máquinas.

Os vasos são colocados na linha e passam pela cabina de pintura electrostática, onde uma pistola automática aplica a tinta em pó. Na pistola, as partículas de pó são carregadas electricamente e o ar comprimido ao passar pelo tubo de alimentação do pó, puxa-o por vácuo para a corrente até à zona de injeção.

Posteriormente, os vasos são conduzidos para uma estufa (túnel de polimerização), de modo a que a tinta passe por um processo de cura.

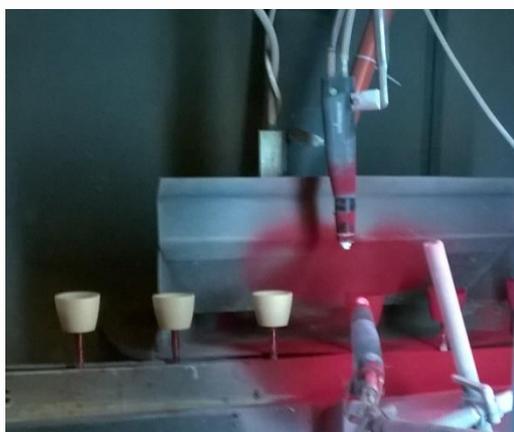
A temperatura da estufa está, em geral, entre os 180 e 220°C, dependendo da tinta a aplicar (brilhante, mate, granulada), bem como, das características geométricas do vaso, que sendo mais difícil de pintar são necessárias temperaturas superiores.

O sistema de aquecimento nas estufas é por queima indirecta, excepto na máquina 4, em que os gases de combustão são utilizados directamente.

Nas pinturas 1 e 2, cada uma com 2 queimadores a gás natural, existem grelhas à saída que recuperam ar quente, para ser reintroduzido na zona de secagem.

A pintura 3 tem apenas um queimador, havendo recuperação de calor através de um permutador rotativo.

Os vasos conformes seguem para o sector da embalagem.



(a)



(b)

Figura 10. Sector da Pintura – (a) pormenor da cabina de pintura da Máquina 3; (b) pormenor do túnel de secagem da Máquina 4



vi. Embalagem

No sector da embalagem, os vasos, após serem colocados em suportes de cartão, são envolvidos em plástico (filme retráctil) e transportados para aquecimento térmico até à câmara de encolhimento. Um ventilador, na parte superior da câmara, distribui o ar, aquecido através de resistências eléctricas, que, por sua vez, são accionadas por um controlador de temperatura. O ar quente provoca o encolhimento do filme plástico, que se molda aos produtos embalados.

Os produtos são colocados em paletes para envolvimento com filme estirável, estando prontos para expedição.



Figura 11. Sector da Embalagem – pormenor da entrada da câmara de encolhimento

vii. Sector auxiliar – Central de ar comprimido

A central de ar comprimido, localizada junto à oficina, é constituída por dois compressores, um principal, com potência nominal de 75 kW e outro de reserva, com potência nominal de 30 kW. A captação do ar é feita no interior deste espaço sendo o ar de arrefecimento dos motores aproveitada para aquecimento no edifício administrativo.

A pressão da rede está a cerca de 7,0 bar.



A seguir apresenta-se um resumo das características dos principais equipamentos

Tabela 2. Resumo das características dos principais equipamentos

Sector	Equipamento	Características	Potência Nominal [kW]	
			Eléctrica	Térmica
Preparação da Pasta	Moinho 1	Motor Eléctrico com VEV	37	-
	Moinho 2	Motor Eléctrico com VEV	45	-
	Moinho 3	Motor Eléctrico	22	-
	Bombagem 1	Bomba Hidráulica	18	-
	Bombagem 2	Bomba Hidráulica	15	-
	Bombagem 3	Bomba Hidráulica	n.d.	-
	Fieira	Motor Eléctrico	22	-
Conformação	Roller I	- vários motores eléctricos - 2 queimadores	27 ^[a]	n.d.
	Roller IV	- vários motores eléctricos - 1 queimador	14 ^[a]	n.d.
	Roller V	- vários motores eléctricos - 1 queimador	12 ^[a]	n.d.
	Roller VII	- vários motores eléctricos - 1 queimador	11 ^[a]	n.d.
Forno	Forno	- vários motores eléctricos - 27 queimadores Tecnocimica ZSP/2M	33 ^[a]	mín.: 5,81 x 27 máx.: 58,1 x 27
Pintura	Pintura 1	- vários motores eléctricos - 2 queimadores	4 ^[a]	n.d.
	Pintura 2	- vários motores eléctricos - 2 queimadores	4 ^[a]	n.d.
	Pintura 3	- vários motores eléctricos - 1 queimador	10 ^[a]	n.d.
	Pintura 4	- vários motores eléctricos - 2 queimadores Eclipse RM/075	19	250
Embalagem		- Máquina	26	-
Compressor		- Compressor de velocidade variável	75	-

^[a] Potência obtida a partir da análise eléctrica ao equipamento



2.2.3. Dados de Produção

A evolução mensal da produção bruta no ano 2014, assim como, a produção verificada até ao terceiro trimestre de 2015 são apresentadas na figura seguinte.

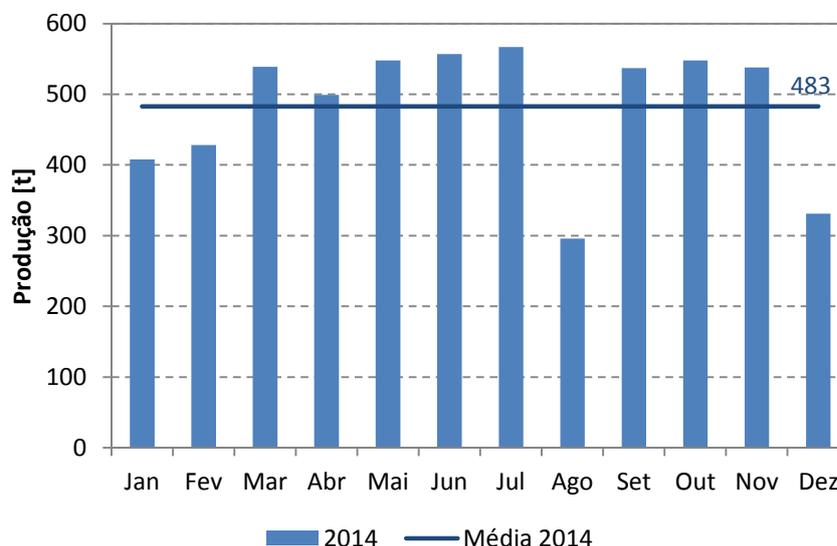


Figura 12. Evolução da produção mensal de vasos no ano de 2014 e até ao 3º trimestre de 2015, em toneladas, e respectivas médias.

A produção total em 2014 foi de 5796 t, sendo a média mensal igual 483 t. O valor máximo foi 567 t, registado em Julho e o mínimo – 296 t - ocorreu em Agosto, devido a paragem para férias e manutenção.

2.3. Caracterização Energética

2.3.1. Análise da factura de energia eléctrica

A energia eléctrica é essencialmente utilizada no accionamento de força motriz (motores, ventiladores e bombas) e na iluminação.

A figura seguinte apresenta o consumo mensal de energia activa facturado em cada período tarifário, no ano de 2014.

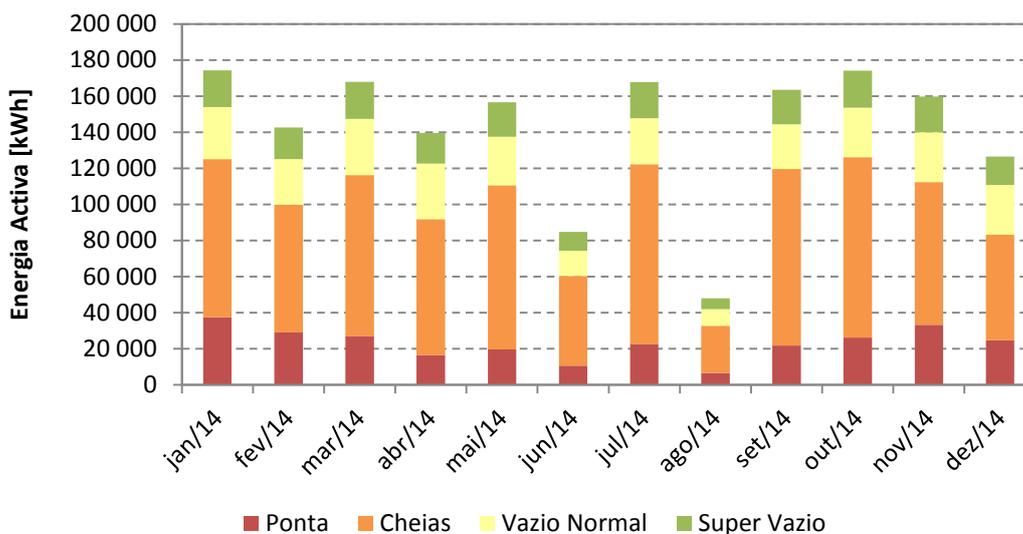


Figura 13. Consumo mensal de energia activa, por período tarifário, em 2014

O mês com maior consumo facturado de energia eléctrica foi Janeiro, com 174 353 kWh, tendo-se verificado o menor consumo em Agosto, devido ao período de paragem. Em Junho, o consumo facturado diminuiu face aos outros meses, dado que houve alteração do período de facturação, correspondendo esta factura a apenas 15 dias de consumo.

A distribuição da energia activa facturada nos diversos períodos horários é semelhante ao longo dos meses, excepto nas horas de ponta e cheias. Nos meses de Inverno, a contribuição da energia activa em horas de ponta aumenta, sendo em média 21% e a correspondente às horas de cheias diminui para cerca de 49%, devido ao período de facturação do horário de Inverno. No Verão, o consumo em horas de ponta é cerca de 13% e em horas de cheias é, aproximadamente, 57%.

A figura seguinte apresenta a distribuição média anual da energia activa, verificada em 2014, por período horário.

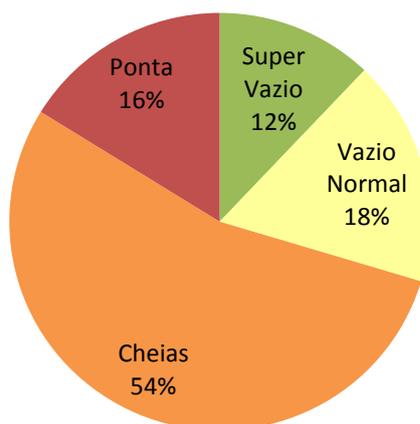


Figura 14. Distribuição do consumo de energia activa, por período tarifário, em 2014

A distribuição de energia consumida por período tarifário apresenta uma predominância do consumo de cheias, representando este período aproximadamente 54% do consumo de energia eléctrica. O consumo de electricidade associado às horas de ponta é cerca de 16%, no período de super vazio representa 12%, e os restantes 18% verificam-se no período de vazio normal.



Foram verificadas também as facturas no que diz respeito ao consumo de energia reactiva.

A Figura 15 apresenta a energia reactiva fornecida em vazio ($E_{rc,V}$) e a energia reactiva consumida fora de vazio ($E_{ri,FV}$) distribuída pelos 3 escalões de facturação.

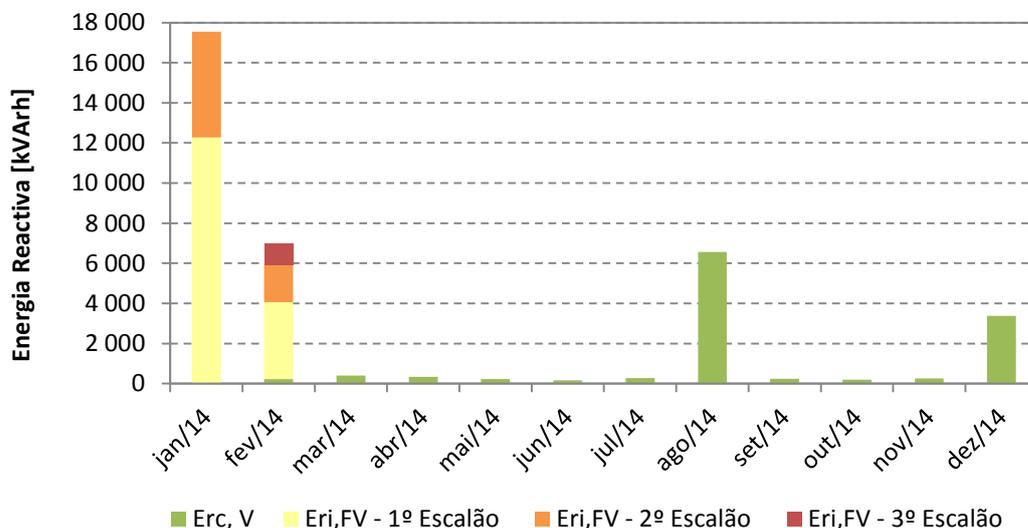


Figura 15. Evolução da energia reactiva mensal facturada em 2014

O consumo de energia reactiva fora de vazio ocorreu apenas em Janeiro e Fevereiro. Neste mês, a energia reactiva indutiva fora de vazio foi facturada nos 3 escalões de preço, o que significa que houve períodos do mês em que o consumo de energia reactiva foi 50% superior ao consumo de energia activa.

No fim de Fevereiro, foram instaladas baterias de condensadores para compensação da energia reactiva, resultando na eliminação da energia reactiva facturada. Por outro lado, em particular, nos meses de Agosto e Dezembro, quando a laboração pára, verificou-se a injeção de energia reactiva na rede, tendo havido penalizações na factura. Nos períodos de férias, uma vez que os motores eléctricos não estão a consumir energia reactiva, os condensadores deveriam ser desligados de modo a evitar o fornecimento de energia reactiva à rede. (Gaspar, 2004)



2.3.2. Análise do consumo de gás natural

A seguir apresenta-se o consumo mensal de gás natural facturado em 2014.

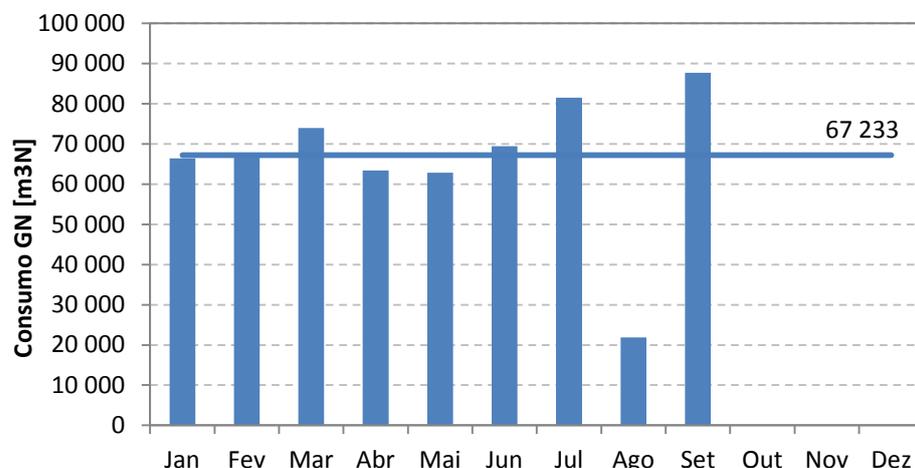


Figura 16. Consumo mensal facturado de gás natural, em m³N, em 2014

O consumo anual de gás natural em 2014 foi 806796 m³N, sendo em média cerca de 67233m³N. O maior consumo registou-se em Julho, correspondendo ao mês em que se registou maior produção. No último quadrimestre, nota-se uma redução dos consumos, coincidindo em geral com meses de maior produção, excepto no mês de dezembro em que houve paragem.

2.3.3. Análise de consumos globais de energia

A empresa consome no seu processo produtivo energia eléctrica e gás natural.

Na Tabela 3, apresenta-se os consumos energéticos e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) verificados no ano de 2014, determinados de acordo com o Despacho nº 17313/2008.

Tabela 3. Consumo de Energia e Emissões de GEE, em 2014, por tipo de energia

Tipo de Energia	Consumo		Consumo [tep]		Emissões [t CO ₂ e]	
Energia Eléctrica	1 756 728	[kWh]	378	34%	826	30%
Gás Natural	806 796	[m ³ N]	730	66%	1 960	70%
Total			1 108	100%	2 785	100%

O consumo total de energia foi de 1108 tep, das quais 66% dizem respeito a consumo de gás natural e os restantes a energia eléctrica. As emissões de carbono correspondem, em 2014, a 2785 t CO₂e.



3. Avaliação do desempenho energético – Execução do REP

A cerâmica Almas, S.A. é uma instalação consumidora intensiva de energia (CIE), em que o consumo energético no ano de referência (2010) foi superior a 1000 tep. Assim, segundo as disposições constantes no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de Abril, que regula o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), realizou Auditoria Energética e estabeleceu um Plano de Racionalização de Consumo de Energia (PREn) e o Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

3.1. Estado de implementação do ARCE

De acordo com o Despacho 17449/2008, de 27 de Junho, para avaliar o estado de implementação do ARCE, deverão ser determinados os seguintes indicadores energéticos:

- Intensidade Energética (IE), em kgep/€, definida pelo quociente entre o consumo energético total e o Valor Acrescentado Bruto (VAB) das actividades da empresa;
- Consumo Específico (CE), em kgep/unidade de produção, que representa a razão entre o consumo de energia e a produção;
- Intensidade Carbónica (IC), em kgCO_{2e}/kgep, que relaciona o valor das emissões dos gases com efeito de estufa (GEE) e o consumo total de energia.

Sendo uma instalação com consumo superior a 1000 tep/ano, as metas definidas no ARCE correspondem, no mínimo, a uma melhoria de 6% na intensidade energética e no consumo específico e à manutenção dos valores históricos da intensidade carbónica, devendo ser cumpridas num prazo de seis anos.

Na tabela seguinte são apresentados os indicadores energéticos^b da instalação obtidos no ano de referência, bem como, as metas definidas.

Tabela 4. Indicadores de referência e metas a atingir, ao fim de 6 anos na instalação.

Indicador	Valor de Referência (2010)	Meta de Redução	Meta ao fim de 6 anos
Consumo Específico (CE) [kgep/kg]	0,3840	≥ 0,005	≤ 0,3610
Intensidade Carbónica (IC) [kg CO _{2e} /kgep]	2,5475	≥ 0,000	≤ 2,5475

Para avaliar a implementação das medidas e metas estipuladas, deverão ser apresentados Relatórios de Execução e Progresso (REP) a cada dois anos do período de vigência do ARCE.

^[b] Os valores de Intensidade Energética foram ocultados por motivos de confidencialidade.



A empresa encontra-se, actualmente, no terceiro e último biénio de avaliação deste ARCE. Para o biénio anterior (2013/2014), foi elaborado o REP, que é apresentado no Anexo I.

Na tabela seguinte apresentam-se os dados de produção e consumo de energia obtidos nos anos da avaliação do ARCE, bem como a respectiva variação face ao ano de referência (Δ_{ref}).

Tabela 5. Produção e consumo por tipo de energia nos anos de avaliação do ARCE

Ano	Produção		Consumo de Energia					
	[t]	Δ_{ref} (%)	EE [tep]	$\Delta_{EE,ref}$ (%)	GN [tep]	$\Delta_{GN,ref}$ (%)	Total [tep]	$\Delta_{Tot,ref}$ (%)
2010	3 168		333		883		1216	
2012	4 213	33%	291	-13%	621	-30%	912	-25%
2014	5 796	83%	378	13%	730	-17%	1108	-9%

Apesar do aumento da produção, a empresa tem vindo a reduzir o seu consumo energético, quer em termos de energia eléctrica, quer de gás natural. Em 2014, a Almas aumentou a sua produção em 83%, face ao ano de referência, tendo conseguido reduzir o consumo de gás natural em 17% e o aumento da energia eléctrica foi de apenas 13%.

3.2. Evolução dos Indicadores Energéticos e objectivos alcançados

No sentido de verificar a evolução dos indicadores energéticos, apresenta-se a seguir os resultados alcançados em 2012 e 2014, comparando-os com os valores de referência.

Tabela 6. Evolução dos indicadores energéticos nos biénios de apresentação do REP

Indicador	Valor de Referência (2010)	Valor no fim de 2012	Variação 2012/2010		Valor no fim de 2014	Variação 2014/2010	
CE [kgep/kg]	0,384	0,216	-0,168	-43,8%	0,191	-0,193	-50,2%
IC [kg CO _{2e} /kgep]	2,548	2,525	-0,023	-0,9%	2,514	-0,033	-1,3%

Como se pode verificar, a instalação tem superado as metas definidas, em todos os indicadores energéticos. Em particular, o consumo específico tem diminuído significativamente, chegando mesmo a uma redução de 50,2% em 2014, comparativamente ao ano de referência.

A empresa já implementou todas as medidas acordadas, continuando a investir no sentido de reduzir os seus consumos energéticos.

Dada a evolução dos indicadores, a empresa não terá de tomar acções adicionais de economia de energia no próximo biénio.



4. Elaboração de simuladores de energia

Foram desenvolvidas duas ferramentas, em MS Excel, de auxílio à gestão da energia - uma para simulação da factura da energia e outra que permite a avaliação de indicadores de desempenho energético da instalação mensais e anuais.

4.1. Simulador de opção tarifária

Foi criada uma ferramenta informática simples, desenvolvida em MS Excel, para verificação da opção tarifária e comparação de propostas de energia eléctrica e de gás natural. As variáveis de entrada são o preço unitário da energia e os dados de consumo de energia mensal ou anual, havendo a possibilidade de utilizar os valores históricos obtidos em 2014.

O simulador permite obter uma estimativa dos custos mensais ou anuais da energia, atendendo às propostas dos comercializadores e a respectiva variação face à opção tarifária em vigor.

Não foram incluídas as Tarifas de Acesso às Redes, uma vez que estas são independentes do comercializador de energia.

Esta ferramenta é constituída por 3 folhas de cálculo: Resumo, Energia Eléctrica e Gás Natural.

São utilizados códigos de cores, que facilitam a visualização dos resultados e a escolha da tarifa mais vantajosa.

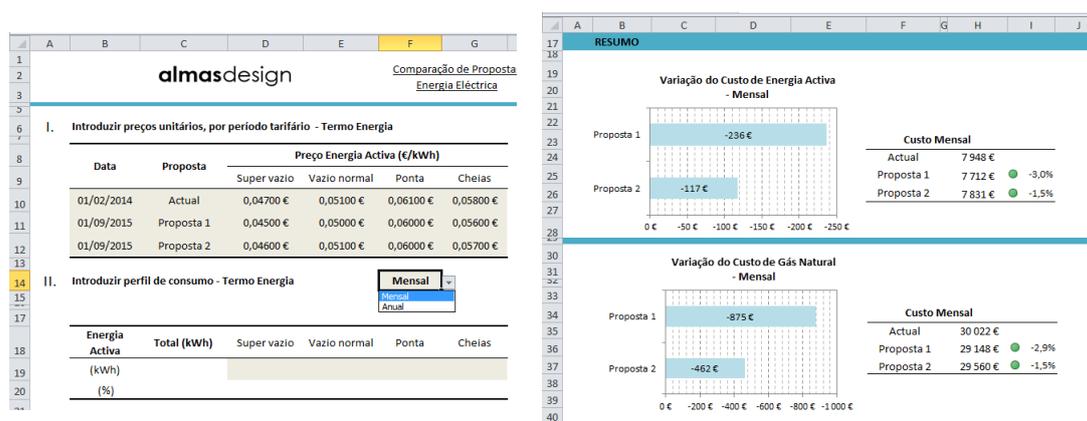


Figura 17. Pormenor das folhas de cálculo do simulador de opção tarifária

4.2. Simulador de desempenho energético da instalação

No sentido de avaliar o desempenho energético global da instalação foi criado um simulador.

A partir dos dados de produção e dos consumos e custos mensais, são calculados indicadores globais—produção, consumos, custos e emissões— e indicadores específicos. A avaliação é mensal ou anual, sendo possível a comparação com valores históricos.

É possível avaliar os meses com melhor ou pior desempenho energético, tendo em conta o critério escolhido pelo utilizador, como por exemplo, produção ou custo específico, e é efectuada a comparação com o mês anterior e homólogo. Nos indicadores anuais, é efectuada uma estimativa da produção e custos previstos para o ano actual e respectiva comparação com ano anterior.



A partir desta ferramenta, o impacto das medidas de eficiência energética e de racionalização de consumos implementadas poderá ser monitorizado, podendo ser avaliado globalmente os desvios face aos objectivos.

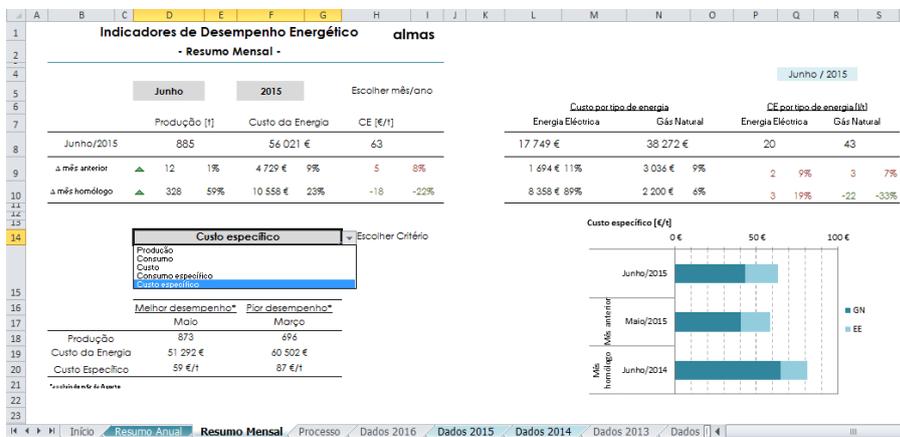


Figura 18. Pormenor de folha de cálculo do simulador de avaliação de desempenho energético



5. Exame Energético à instalação

5.1. Consumo de Energia Eléctrica

Os motores eléctricos são uma das principais fontes de consumo de electricidade, sendo os responsáveis por 70% do consumo na indústria europeia. O custo da utilização de um motor eléctrico é de 95% em energia, 3% na compra e 2% em manutenção. As aplicações em que ocorre movimentação de fluidos – ventiladores, compressores e sistemas de bombagem – representam mais de 60% do consumo eléctrico total dos motores industriais (Magueijo, et al., 2010).

Os motores eléctricos permitem transformar energia eléctrica em energia mecânica, que podem ser alimentados com corrente contínua ou corrente alternada, sendo estes últimos os mais utilizados.

Um motor consome potência activa, que depois é convertida em trabalho mecânico e calor (perdas), mas também potência reactiva, necessária para magnetização, mas que não produz trabalho.

A potência activa (P) pode relacionar-se com a potência reactiva (Q), através da potência aparente (S), tal que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Eq. 5.1}$$

A potência aparente representa a potência que efectivamente é entregue ao sistema de produção e transporte de energia eléctrica, sendo a potência activa, a componente útil e a potência reactiva, a necessária para que a componente activa possa produzir trabalho. Contudo, a potência reactiva (Q) deve ser limitada, dado que gera maiores perdas energéticas na forma de calor por efeito de Joule e obriga a sobredimensionar de modo desnecessário a rede eléctrica (CTCV, 2012).

Uma forma de verificar a eficiência energética de uma instalação eléctrica de corrente alternada é através do factor de potência ($\cos \phi$):

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \text{Eq. 5.2}$$

Para baixos factores de potência, a energia reactiva é elevada e poderá trazer problemas à instalação eléctrica, nomeadamente, o aumento das perdas na rede, diminuição do período de vida útil dos equipamentos e penalizações tarifárias.

Uma das soluções para compensar a energia reactiva é através da instalação de materiais de condensadores, que evitam a circulação de energia reactiva pelas redes eléctricas, reduzindo as perdas e aumentando a capacidade para transportar energia activa.

De modo a minimizar o consumo de energia em motores eléctricos deve-se ter em conta o seu rendimento, o seu correcto dimensionamento e a regulação de velocidade.

A instalação de variadores de velocidade é especialmente indicada para motores sobredimensionados, quando há muita variação da carga exigida ao motor ou em motores com tempos de funcionamento elevados.

Os Variadores Electrónicos de Velocidade (VEV) são dispositivos que permitem variar a velocidade e binário de um motor, através do controlo electrónico da voltagem e frequência.



A instalação de VEVs permite a adaptação da velocidade dos motores de forma a responder às necessidades reais do processo, em regime de funcionamento normal e quando há variação de cargas, e permite arranques e paragens progressivas, evitando picos de tensão.

A sua instalação poderá resultar em poupanças de 25% no consumo de energia eléctrica do motor. Além disto, a variação de velocidade resulta num aumento do tempo de vida útil dos motores, devido à redução dos picos de energia e choques mecânicos com impacto no desgaste dos motores e na optimização do seu funcionamento, diminuindo as necessidades de manutenção e permitindo um maior controlo do processo (Gaspar, 2004).

5.1.1. Análise de consumos eléctricos por equipamento

De forma a estimar o consumo eléctrico por equipamento e por sector produtivo, foi utilizado um analisador da qualidade de energia. Estes equipamentos são constituídos por três pinças amperimétricas e quatro cabos medidores de tensão. O analisador usado foi o *HT Vega 76*, com três pinças amperimétricas até 1000A. Na análise do ventilador do forno, foram usadas três pinças amperimétricas até 100A.

Embora estes equipamentos tenham a possibilidade de medir vários parâmetros, nomeadamente, as distorções provocadas pelas harmónicas e tensão eficaz, apenas foram analisadas as componentes das potências activa (P_t), reactiva (Q_t) e aparente (S_t) e, respectivo, factor de potência ($\cos \phi$).

Pretende-se também comparar estes valores com os obtidos na Auditoria Energética de 2010. Embora esta comparação tenha limitações, no sentido em que se desconhece as condições de carga no período da auditoria, o objectivo é verificar a evolução do funcionamento dos equipamentos e, sempre que relevante, identificar as alterações mais significativas como causa provável. Os valores da potência reactiva dos equipamentos, obtidos em 2010, foram estimados mediante leitura de gráficos.

i. Sector da Pasta

A seguir, apresentam-se as análises da consumo eléctrico no sector da pasta .



Figura 19. Sector da pasta –(a)Pormenor do quadro eléctrico parcial dos Moinhos, durante medição (b) Vista do moinho, aquando carga.



Nas figuras seguintes, apresentam-se os diagramas de carga dos Moinhos 1, 2 e 3.

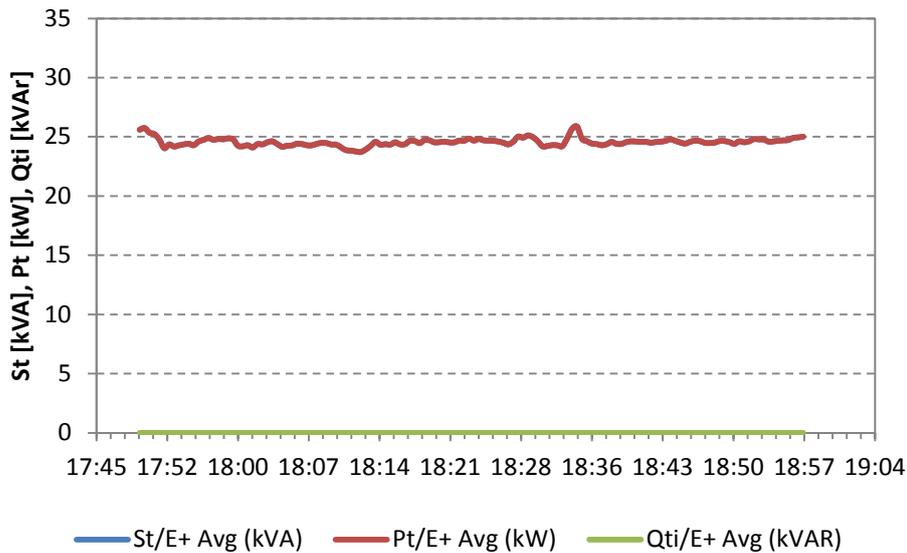


Figura 20. Diagrama de carga do Moinho 1 (moinho do Canto), com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

A potência activa do motor do Moinho 1, no período de medição, é praticamente constante e a média igual a 24,6 kW, sendo a potência reactiva nula. Actualmente, o motor do Moinho 1 tem variador de velocidade.

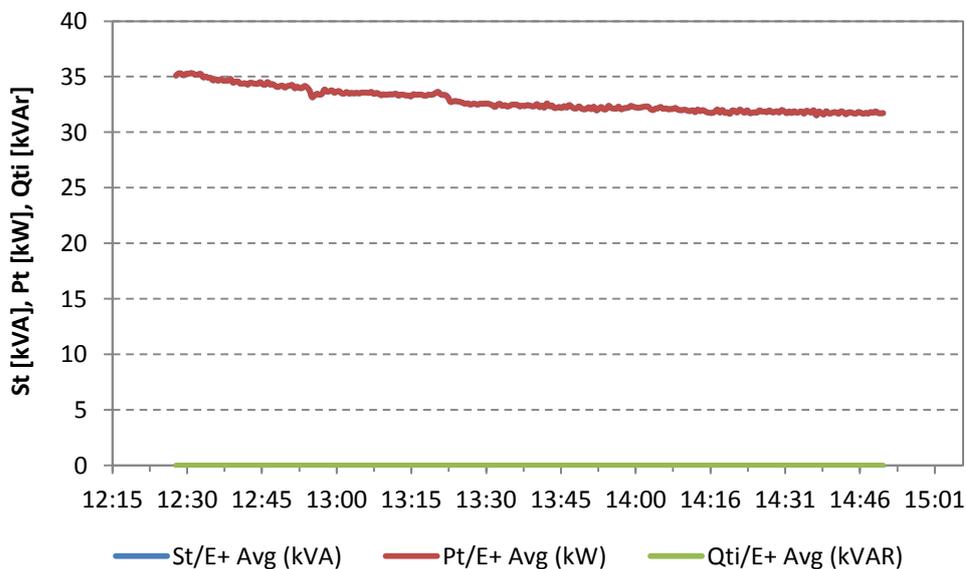


Figura 21. Diagrama de carga do Moinho 2 (moinho do meio), com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

Analisando a figura, verifica-se que a potência activa vai diminuindo ao longo da medição, parecendo estabilizar no final. Isto deve-se ao facto da análise ter sido efectuada no período de arranque do moinho, i.e., quando se começa a promover a diluição das matérias-primas na água, exigindo um maior esforço das hélices.



A potência activa média, no período de análise, foi de 32,8 kW, não havendo registo de potência reactiva.

Neste moinho também foi instalado um variador de velocidade.

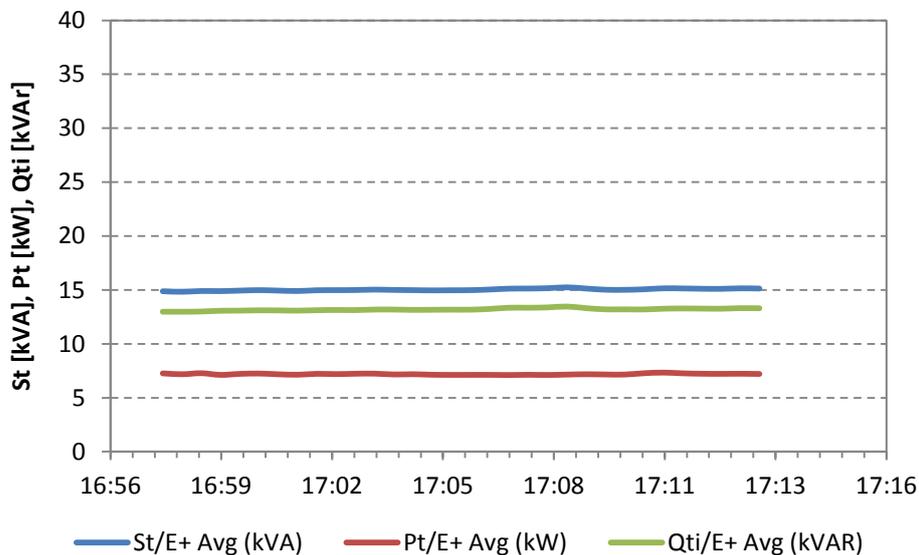


Figura 22. Diagrama de carga do Moinho 3, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

A potência activa média foi de 7,2 kW e verifica-se que a potência reactiva indutiva é significativa (13,2 kVAR), resultando num factor de potência ($\cos \phi$) de 0,48.

Esta medição ocorreu num período em que o moinho já estava a funcionar há cerca de 3 horas, estando, portanto, a trabalhar com pasta bastante diluída. Assim, se por um lado, a potência activa média actual poderá estar ligeiramente subavaliada, não contemplando o arranque e o esforço inicial pedido ao motor, por outro, verifica-se a sobreavaliação da potência reactiva indutiva, devido ao baixo factor de carga no período da medição.



A seguir, apresenta-se os diagramas de carga da Feira e Bomba de vácuo em conjunto e da Bomba de vácuo isoladamente.

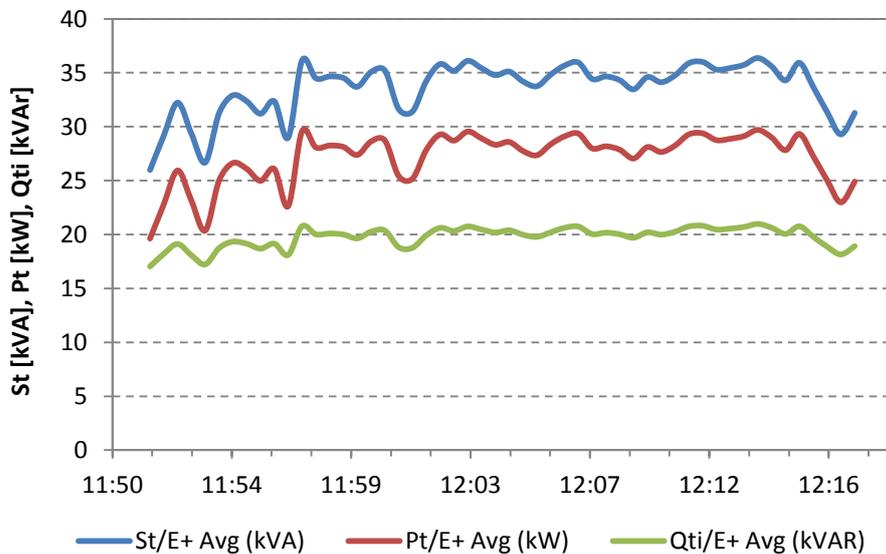


Figura 23. Diagrama de carga da Feira e da Bomba de vácuo, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

Observando a Figura 23, verifica-se que o perfil de consumo de electricidade do conjunto feira/bomba de vácuo apresenta oscilações na fase inicial de arranque, quando o barro começa a ser introduzido na extrusora. À medida que o material entra, estas oscilações tendem a diminuir.

A potência activa média dos dois motores situa-se nos 27,2 kW.

Verifica-se consumo de energia reactiva, sendo a potência média igual a 19,8 kVAR e o factor de potência igual a 0,81.

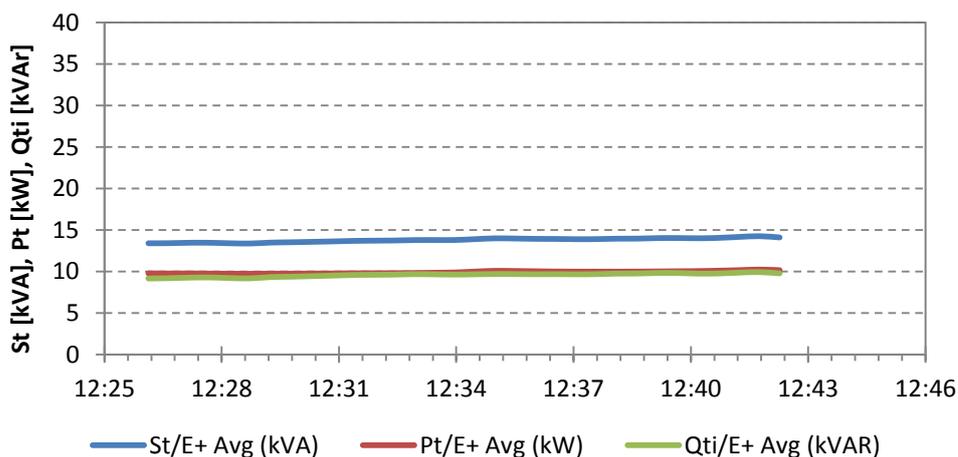


Figura 24. Diagrama de carga da Bomba de vácuo, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

No caso da bomba de vácuo (Figura 24), o período de medição correspondeu a um período de arranque, sendo as potências praticamente constantes. Por leitura na pressão da bomba de vácuo, verifica-se que esta se mantém praticamente constante, independentemente da



quantidade de material processado, logo é de esperar que a potência activa seja também aproximadamente constante.

A potência activa média foi de 9,9 kW e a potência indutiva 9,6 kVAr, resultando num factor de potência igual a 0,72.

Tabela 7. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da pasta, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação

Equipamento	2015			AE2010			Δ	
	Pt (kW)	Qti (kVAr)	cos φ	Pt (kW)	Qti (kVAr)	cos φ	Pt (kW)	Qti (kVAr)
Moinho 1	24,6	0,0	1,00	30,0	27	0,74	-5,4	-27,0
Moinho 2	32,8	0,0	1,00	32,1	28	0,75	0,7	-28,0
Moinho 3	7,2	13,2	0,48	9,2	12	0,61	-2,0	1,2
Bomba vácuo	9,9	9,6	0,72	-	-	-	-	-
Fieira+Bomba de vácuo	27,2	19,8	0,81	-	-	-	-	-
Fieira	17,2	-	-	13,0	6	0,91	4,2	-

No caso dos moinhos 1 e 2, a instalação de variadores de velocidade nos seus motores permitiu eliminar o consumo de energia reactiva. Enquanto no Moinho 1 houve uma redução da potência activa de 5,4 kW face aos valores obtidos em 2010, o Moinho 2 apresenta uma ligeira subida de 0,8 kW.

Relativamente ao Moinho 3, verificou-se uma redução da potência activa de 0,8 kW, face a 2010, e um aumento da potência reactiva de 1,2 kVAr, resultando numa redução do factor de potência de 0,60 para 0,48. No entanto, a potência activa poderá estar ligeiramente subavaliada e a potência reactiva sobreavaliada, devido ao baixo factor de carga no período da medição.

Relativamente à bomba de vácuo, uma vez que a variação da potência activa do motor ao longo da medição é baixa, admitiu-se que a potência activa da fieira seria dada pela diferença entre as potências úteis médias do conjunto fieira/bomba de vácuo e da bomba de vácuo. Assim, a potência activa da fieira é cerca de 17,2 kW, aproximadamente, 4,2 kW superior ao valor de 2010. A potência reactiva passou de cerca de 6 kVAr, em 2010, para 10,2 kVAr, sendo que actualmente este equipamento não tem variador de frequência.

O consumo de energia reactiva (indutiva) nos motores pode ter origem no seu sobredimensionamento e na variabilidade da carga. A instalação de VEV permite uma adaptação da potência exigida ao motor à carga, reduzindo o consumo de energia reactiva.

A instalação de variador de velocidade na fieira não só poderia trazer benefícios ao nível do consumo de energia eléctrica, mas também ao nível da qualidade da pasta cerâmica, na medida em que a adaptação da velocidade à quantidade de material processada, promoveria uma mistura mais homogénea e a optimização da extracção do ar presente na pasta. Caso a eliminação de ar não seja suficiente, as peças cerâmicas podem apresentar mais poros, e, na fase de cozedura, conduzir a maiores defeitos e quebras.

Embora não se tenha realizado a medição de alguns equipamentos do sector da pasta, nomeadamente, o carga-moinhos, os peneiros e agitadores e a bombagem, para efeitos de conatibilização energética, são apresentados os valores obtidos em 2010.



A seguir, apresenta-se uma estimativa do consumo de energia eléctrica no sector das pasta.

Tabela 8. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da pasta

Equipamento	Pt [kW]	$t_{func,anual}$ [h]	Consumo anual estimado	
			[kWh]	[%]
Moinho 1	24,6	2 256	55 412	19%
Moinho 2	32,8	2 256	74 060	26%
Moinho 3	7,2	1 880	13 519	5%
Fieira	17,2	2 867	49 441	17%
Bomba vácuo	9,9	2 867	28 425	10%
Carga moinhos	2,4	494	1 184	0%
Peneiros+Agitadores	2,0	7 896	15 792	5%
Bombagem 1	3,9	4 136	16 130	6%
Bombagem 2	3,4	4 136	14 062	5%
Bombagem 3	5,0	4 136	20 680	7%
Total			288 707	100%

ii. Sector da Conformação

No sector da conformação, existem actualmente 4 máquinas em produção, designadas por *Rollers* I, IV, V e VII.

A seguir, apresentam-se os diagramas de carga destas máquinas.

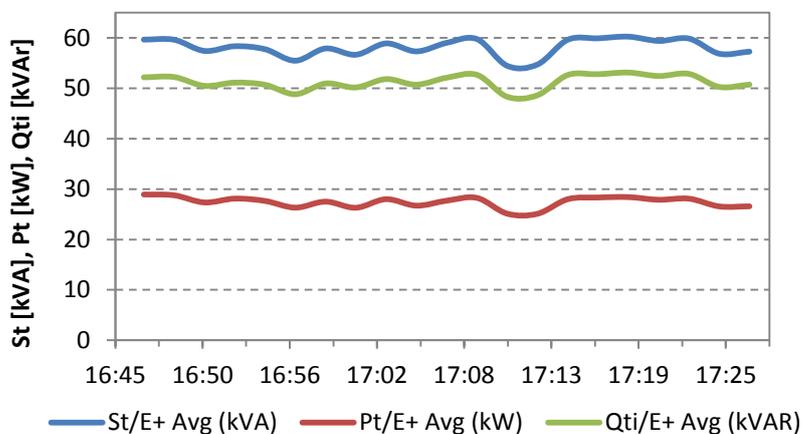


Figura 25. Diagrama de carga da *Roller* I, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

Observando a figura, verifica-se um elevado consumo de energia reactiva. A potência activa média foi de 27,4 kW e a potência reactiva de 51,2 kVAR, obtendo-se um factor de potência baixo (0,47).

Esta máquina tem um variador de frequência no motor para rotação das painelas de suporte das formas de gesso.



O diagrama de carga da Roller IV apresenta-se a seguir.

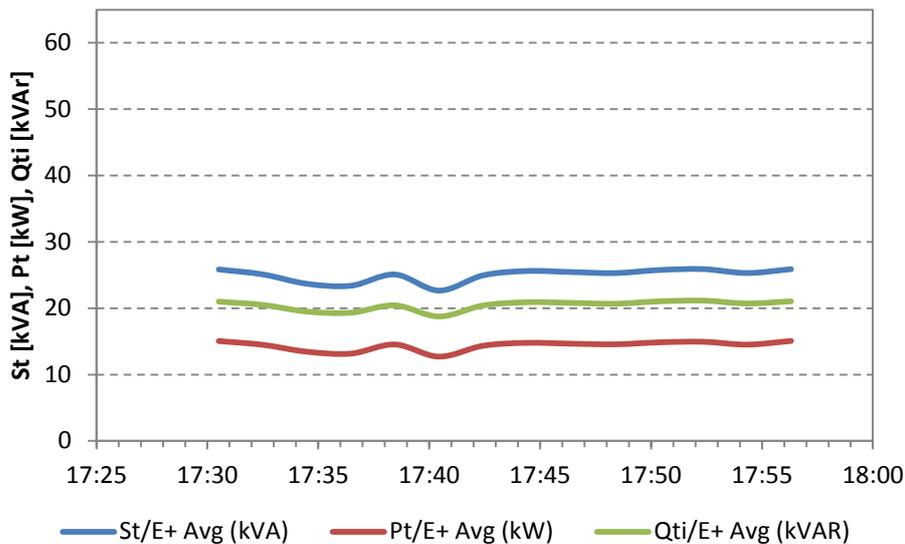


Figura 26. Diagrama de carga da Roller IV, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

O motor da Roller IV obteve 14,4 kW e 20,5 kVAR para as potências médias activa e reactiva, respectivamente, e o factor de potência igual a 0,57.

Este equipamento possui alguns variadores de velocidade, nomeadamente, nos motores de rotação das painéis e das cabeças.

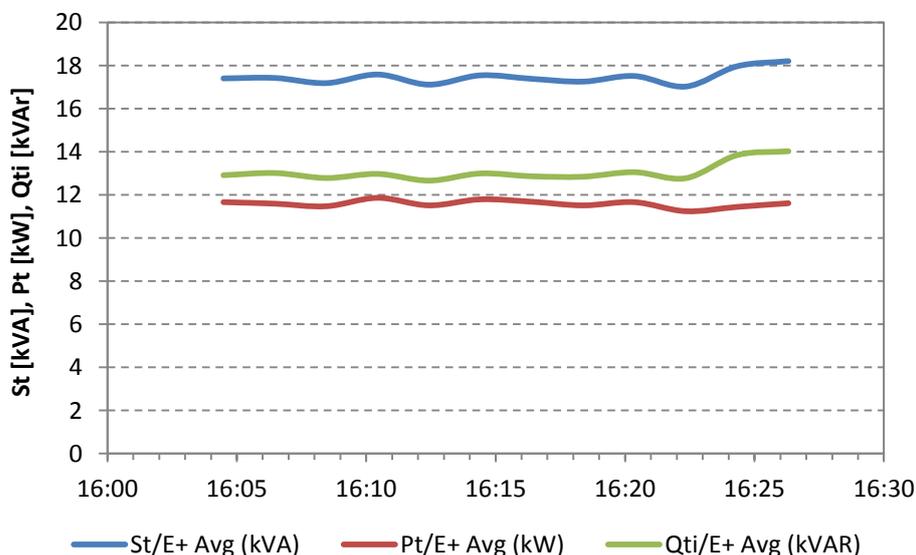


Figura 27. Diagrama de carga da Roller V, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

No caso da Roller V, as potências médias activa e reactiva determinadas são, respectivamente, 11,6 kW e 13,1 kVAR. O factor de potência determinado foi de 0,66.



A análise da Roller VII incidiu sobre os motores de elevação das cabeças (designado por Roller VII – elevação) e nos motores do secador (elevador), rotação das painelas e cabeças e transporte para estufa (denominado Roller VII – secador), cujos diagramas de carga se apresentam a seguir.

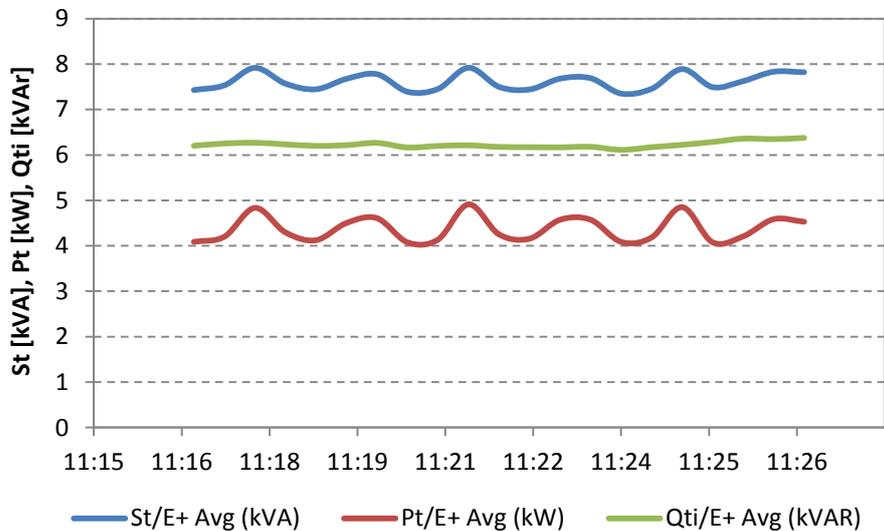


Figura 28. Diagrama de carga da Roller VII - elevação, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

Relativamente à Roller VII – elevação, a potência activa foi de 4,4 kW e a potência reactiva 6,3 kVAR. O factor de potência foi de 0,57.

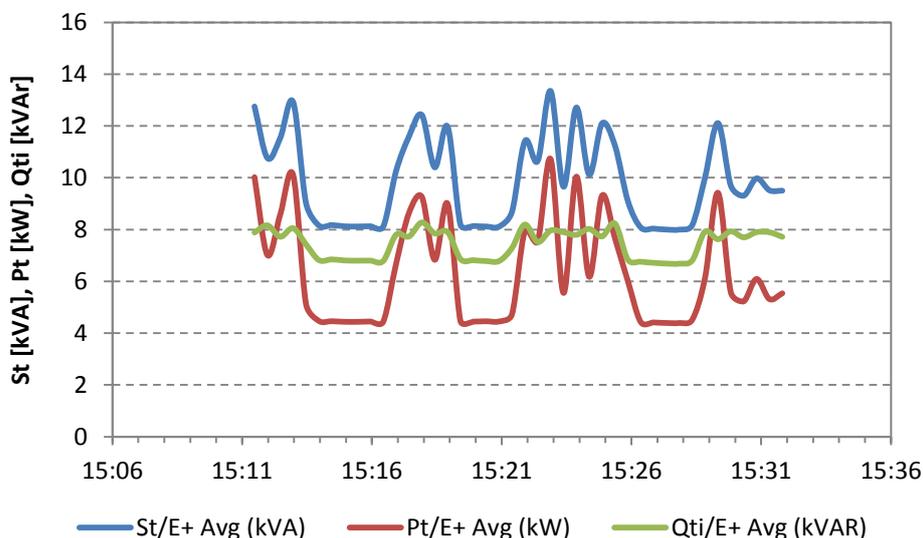


Figura 29. Diagrama de carga da Roller VII - secador, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

A Roller VII – secador tem potência activa média de 6,4 kW e a reactiva 7,4 kVAR, resultando no factor de potência igual a 0,65.

É importante referir que, durante o período de medição do secador, a máquina teve de parar várias vezes devido a problemas com as formas, nomeadamente cerca das 15:14, 15:20 e 15:26.



Observando a figura verifica-se que, nestes períodos, há uma redução da potência activa, mantendo-se a potência reactiva praticamente constante. Desta forma, admite-se que a potência activa poderá estar subavaliada.

Durante os períodos de funcionamento normal, verifica-se oscilações no seu consumo. Esta máquina não tem variadores de velocidade em nenhum motor.

No cálculo do consumo total de energia activa da Roller VII, considerou-se a soma das potências médias úteis da elevação e do secador.

Tabela 9. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da conformação, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação

Equipamento	2015			AE2010			Δ	
	Pt (kW)	Qti(kVAr)	cos φ	Pt (kW)	Qti(kVAr)	cos φ	Pt (kW)	Qti(kVAr)
Roller I	27,4	51,2	0,47	26,4	42	0,53	1,0	9,2
Roller IV	14,4	20,5	0,57	17,7	16	0,74	-3,3	4,5
Roller V	11,6	13,1	0,66	11,0	11	0,71	0,6	2,1
R. VII elevação	4,4	6,3	0,57	-	-	-	-	-
R. VII secador	6,4	7,4	0,65	-	-	-	-	-
Roller VII	10,8	-	-	7,9	7	0,75	2,9	-

De um modo geral, estas máquinas apresentam elevado consumo de energia reactiva, traduzindo-se em factores de potência baixos.

Embora não tenha sido possível demonstrar através dos diagramas de carga, estes motores estão sujeitos a muitas paragens e arranques sucessivos devido às diferentes etapas da conformação, resultando em muitas variações na potência activa.

Ainda que alguns motores tenham variadores de velocidade, existem outros que, devido a variabilidade do factor de carga, poderiam beneficiar de variadores de velocidade ou de arrancadores suaves. Em particular, a Roller I, que apresenta a maior potência activa do sector.

Por comparação com a Auditoria Energética, verifica-se que, em geral, houve um aumento das potências activa e reactiva, excepto no caso da Roller IV, que diminuiu a potência activa.

As estimativas de consumo de energia eléctrica são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da conformação

Equipamento	Pt [kW]	t _{func,anual} [h]	Consumo anual estimado	
			[kWh]	[%]
Roller I	27,4	6 392	175 226	43%
Roller IV	14,4	6 392	91 844	22%
Roller V	11,6	6 392	74 051	18%
Roller VII	10,8	6 392	68 805	17%
Total			409 926	100%

A máquina I é a que apresenta maior consumo – 185 533 kWh anuais -, contribuindo em 43% para o consumo total do sector da conformação. De salientar que, este contributo poderá ainda ser maior uma vez que não foi analisado o secador e transportador desta máquina.



iii. Forno

O sector do forno será analisado a seguir.

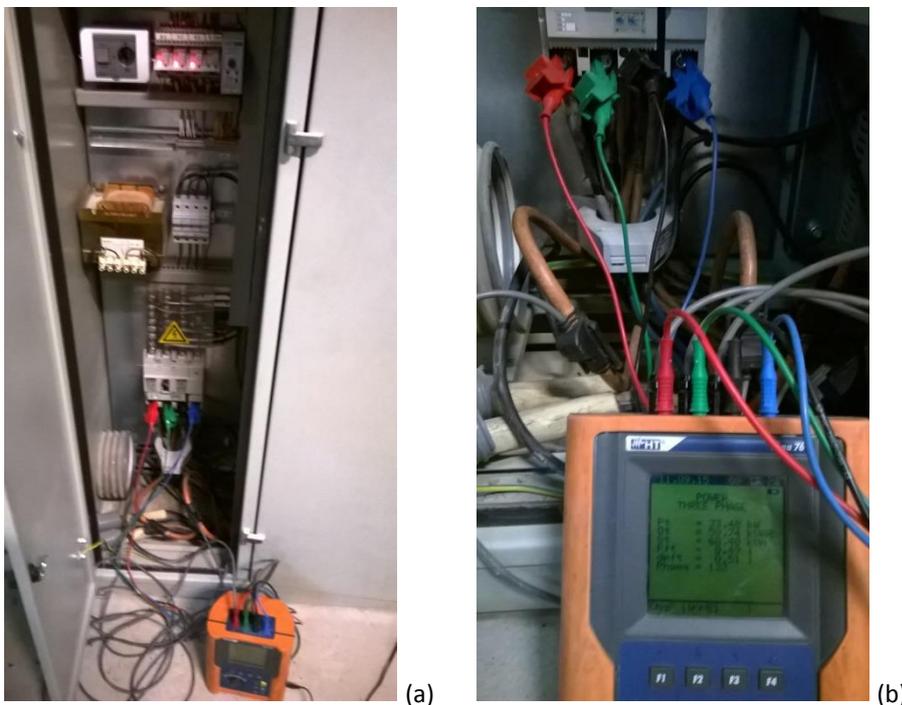


Figura 30. Forno – (a) Pormenor do quadro eléctrico parcial, durante medição; (b) Analisador de energia eléctrica

O diagrama de carga do forno é apresentado na figura seguinte.

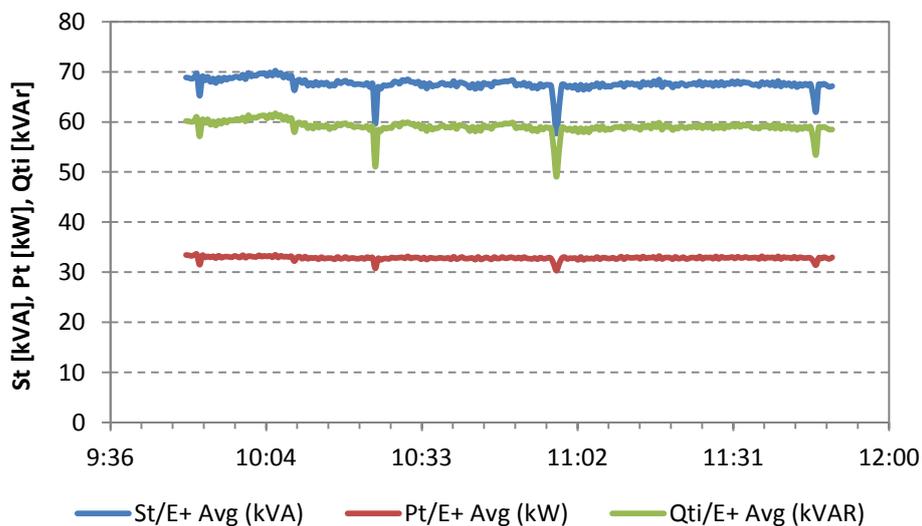


Figura 31. Diagrama de carga do Forno, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

A potência activa média obtida na análise do forno foi de 32,9 kW, enquanto que a reactiva foi de 59,8 kVAR. O factor de potência obtido foi 0,48.



Tabela 11. Comparação das potências activa e reactiva do forno, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação

Equipamento	2015			AE2010			Δ	
	Pt (kW)	Qti(kVAr)	cos ϕ	Pt (kW)	Qti(kVAr)	cos ϕ	Pt (kW)	Qti(kVAr)
Forno	32,9	59,8	0,48	33,8	55	0,52	-0,9	4,8

Quando se compara com os valores obtidos em 2010, verifica-se uma redução da potência activa de 0,9 kW, tendo, contudo, a potência reactiva aumentado em cerca de 4,8 kVAr.

Considerando um período de funcionamento de 6768 horas anuais, i.e., 24 horas por dia durante 6 dias por semana e 47 semanas de trabalho por ano, verifica-se que o consumo é de 222820 kWh.

iv. Sector da Pintura

Na avaliação do perfil de funcionamento das máquinas do sector da pintura, analisaram-se as máquinas 1, 3 e 4 e o sistema de aspiração comum às máquinas 1 e 2. Uma vez que as máquinas 1 e 2 são semelhantes, admitiu-se que os seus consumos seriam também idênticos.

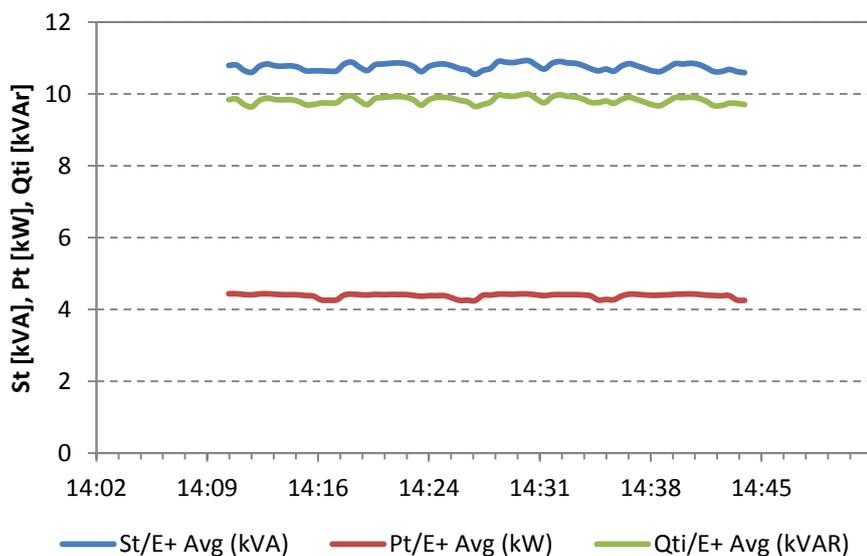


Figura 32. Diagrama de carga da Pintura 1, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAr)

A potência média obtida na Pintura 1 corresponde a 4,4 kW de potência activa e 9,8 kVAr de potência reactiva, sendo o factor de potência baixo e igual a 0,41.



O diagrama de carga do sistema de aspiração das máquinas de pintura 1 e 2 é apresentado na figura seguinte.

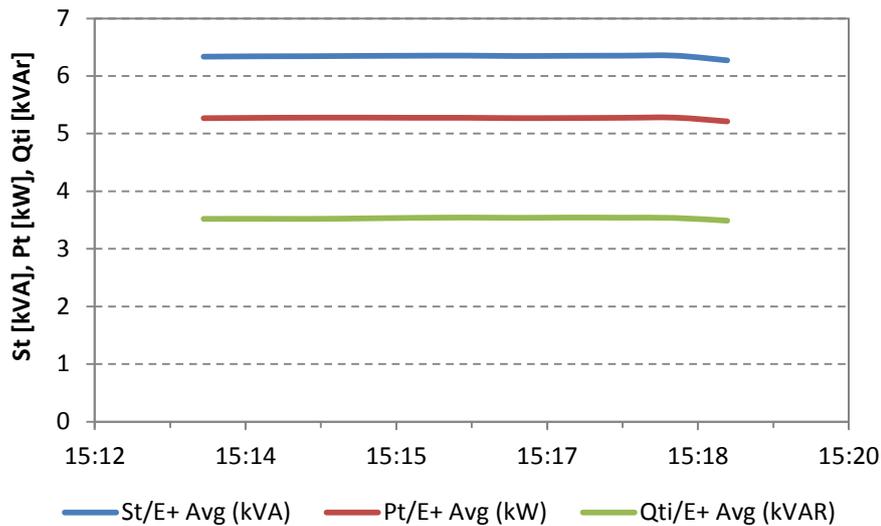


Figura 33. Diagrama de carga do sistema de aspiração das Pinturas 1 e 2, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

A análise do sistema de aspiração permitiu verificar que as potências mantêm-se praticamente constantes, sendo os valores médios cerca de 5,3 kW, no caso da potência activa e 3,5 kVAR, no caso da reactiva. O factor de potência é de 0,83.

O perfil de funcionamento da máquina 3 da pintura é apresentado a seguir.

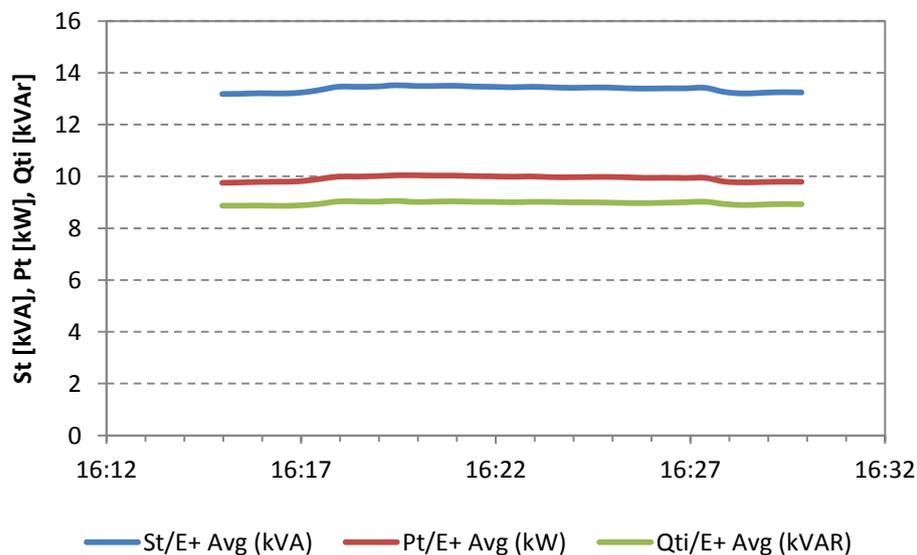


Figura 34. Diagrama de carga da Pintura 3, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

O consumo de energia activa e reactiva na Pintura 3 é praticamente constante. A potência activa média verificada foi de 9,9 kW e a reactiva 9,0 kVAR. O factor de potência calculado é 0,74.



O diagrama de carga da pintura 4 é apresentado na Figura 35.

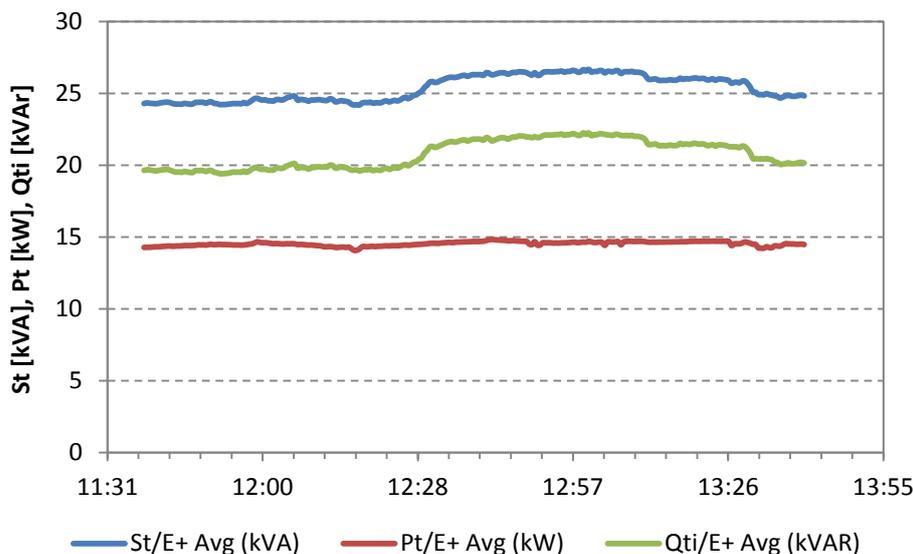


Figura 35. Diagrama de carga da Pintura 4, com potências aparente (em kVA), activa (em kW) e reactiva indutiva (em kVAR)

Relativamente à máquina 4, verifica-se que a potência activa se manteve constante, sendo em média 14,5 kW. Mesmo parando a linha – i.e., transportador e cabina de pintura – cerca das 12:30, o consumo mantém-se, uma vez que os ventiladores do ar de combustão, do túnel de arrefecimento e do sistema de aspiração de pó ficam ligados. Nesse momento, verificou-se um ligeiro aumento da energia reactiva, mantendo-se, mesmo após reinício da produção cerca 12:40. A potência reactiva média foi 20,8 kVAR e o factor de potência foi 0,57.

Tabela 12. Comparação das potências activa e reactiva dos equipamentos no sector da pintura, nos anos 2015 e 2010, e respectiva variação

Equipamento	2015			AE2010			Δ	
	Pt (kW)	Qti (kVAR)	cos ϕ	Pt (kW)	Qti (kVAR)	cos ϕ	Pt (kW)	Qti(kVAR)
Pintura 1	4,4	9,8	0,41	5,9	7	0,64	-1,5	2,8
Pinturas 1 e 2 - aspiração	5,3	3,5	0,83	-	-	-	-	-
Pintura 3	9,9	9,0	0,74	9,2	9	0,71	0,7	0,0
Pintura 4	14,5	20,8	0,57	15,1	17	0,66	-0,6	3,8

Na Pintura 1, verificou-se a maior redução da potência útil (1,5kW), tendo, no entanto, havido um aumento da energia reactiva de 2, 8 kVAR. Este equipamento é o que revela menor factor de potência. A pintura 3 manteve a potência reactiva indutiva face ao ano de 2010 e verificou um aumento da potência útil de 9,2 kW para 9,9 kW.

A estimativa de consumo de energia eléctrica dos equipamentos do sector da pintura constam na Tabela 13.



Tabela 13. Estimativa de consumo eléctrico por equipamento, no sector da pintura

Equipamento	Pt [kW]	$t_{func,a}$ [h]	Consumo anual estimado	
			[kWh]	[%]
Pintura 1	4,4	3 948	17 307	11%
Pintura 2	4,4	3 948	17 307	11%
Pinturas 1 e 2 - aspiração	5,3	3 948	20 799	14%
Pintura 3	9,9	3 948	39 161	26%
Pintura 4	14,5	3 948	57 379	38%
Total			151 953	100%

A pintura 4 é a que contribui para o maior consumo de electricidade no sector da pintura, com 38%, o que corresponde a cerca de 57MWh anuais, seguido da Pintura 3.

v. Sector da Embalagem

O perfil de funcionamento da enfardadora do sector da embalagem é apresentado a seguir.

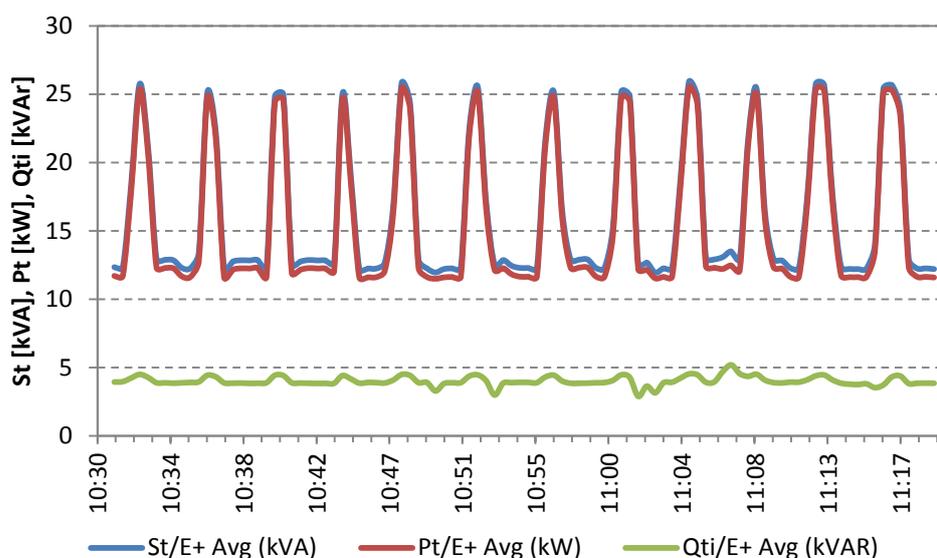


Figura 36. Diagrama de carga do sector da embalagem

Observando a figura, verifica-se que há picos de consumo na máquina da embalagem. A cada 3 minutos, a potência activa passa de cerca de 12,6 kW para 24,1 kW, durante 1 minuto. Isto verifica-se sempre que a máquina entra em aquecimento.

A potência activa média foi de 15,4 kW, sendo o factor de potência de 0,97.



vi. Sectores Auxiliares – Ar Comprimido

A análise ao consumo eléctrico do compressor é analisada a seguir.



Figura 37. Compressor - Pormenor do quadro eléctrico parcial

No caso do compressor, foi avaliado o seu perfil de funcionamento durante o dia e à noite.

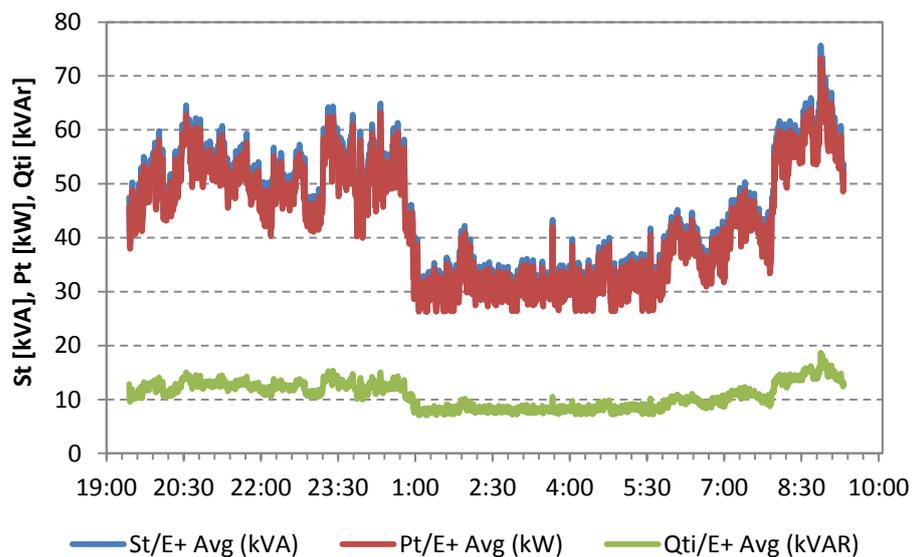


Figura 38. Diagrama de carga do compressor.

Durante a noite, entre a 1:00 e 6:00, a potência activa média do compressor é de 31,3 kW. Neste horário, estão em funcionamento as Rollers e o Forno. Cerca das 6:00, começa a verificar-se um aumento da potência devido ao início de laboração de outros sectores. A potência média durante o dia é cerca de 49,0 kW.



A potência média global no período de medição foi de 43,1 kW e factor de potência igual a 0,97.

5.1.2. Desagregação de consumos eléctricos

A partir das monitorizações efectuadas, determinou-se a contribuição de cada sector para o consumo de energia eléctrica. No caso da iluminação, transportador aéreo e sector do gesso, não tendo havido alterações significativas desde 2010, considerou-se distribuição igual à obtida na auditoria.

Tabela 14. Resumo da desagregação de consumos eléctricos por sector produtivo

Sector	Consumo anual estimado			Emissões	Custo
	[kWh]	[tep]	[%]	[t CO ₂]	[€]
Pasta	292 536	63	17%	137	31 353 €
Conformação	409 926	88	23%	193	43 935 €
Forno	222 820	48	13%	105	23 881 €
Pintura	151 953	33	9%	71	16 286 €
Compressor	291 713	63	17%	137	31 265 €
Embalagem	60 900	13	3%	29	6 527 €
Iluminação	65 256	14	4%	31	6 994 €
Transportador Aéreo	19 577	4	1%	9	2 098 €
Gesso	7 069	2	0%	3	758 €
Outros	234 978	51	13%	110	25 184 €
	1 756 728	378	100%	826	188 281 €

O sector da Conformação é o que apresenta maior consumo de energia eléctrica, aproximadamente 410 MWh, representando cerca de 23% do consumo total. Os sectores do ar comprimido e da pasta, são os segundos maiores consumidores, com 17% cada um de consumo de electricidade da instalação, seguido pelo forno com 13%.

É importante referir que uma parte significativa dos consumos, - cerca de 235 MWh – e que contribui em 13% para o consumo total, não foi analisada.



Na figura seguinte, apresenta-se o gráfico da estimativa de consumo eléctrico por equipamento analisado.

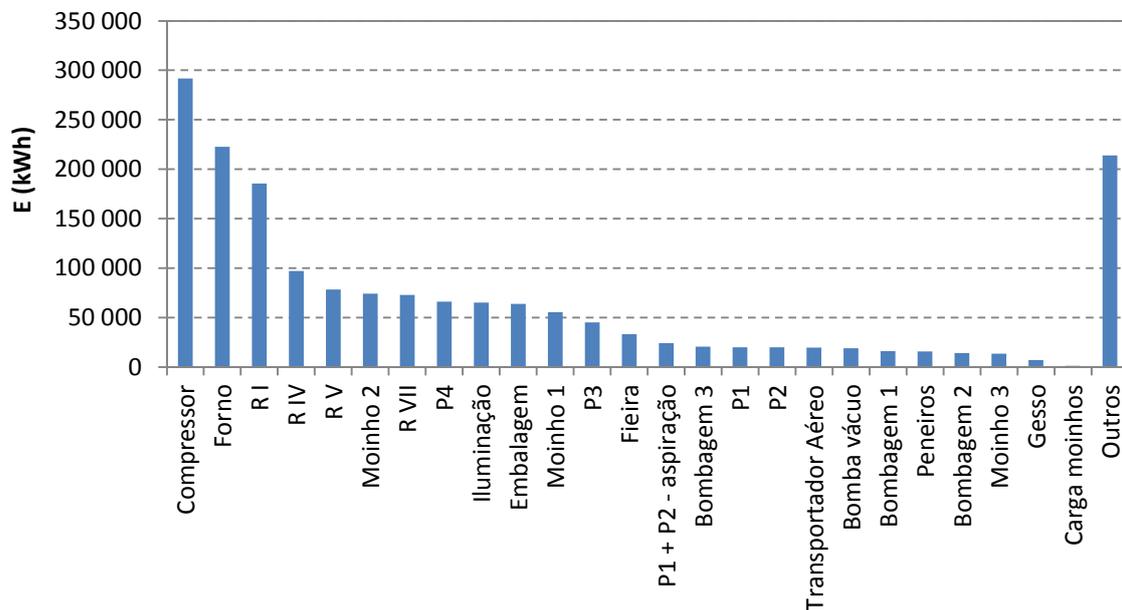


Figura 39. Distribuição de consumos eléctricos por equipamento

5.2. Desagregação de consumos térmicos

A empresa utiliza, como combustível no seu processo produtivo, gás natural. O gás natural é utilizado nos sectores da conformação, cozedura, pintura e gesso.

Para contabilizar os consumos de gás, apenas existe o contador geral a montante da instalação.

De forma a desagregar os consumos de energia térmica por sector, foram efectuadas leituras do volume de gás, corrigido para condições PTN (1,01325 bar e 0 °C), analisando os períodos em que alguns sectores não estavam em funcionamento e, assim, obter a desagregação por diferença.

Uma vez que a empresa verifica diariamente o consumo de gás natural, também foram utilizados estes registos.

De referir que o consumo de gás natural depende de muitos factores. No sector da conformação, dependendo das características geométricas dos vasos, a temperatura programada pode variar, bem como, o número de queimadores ligados, no caso da Roller I. No forno, a quantidade, dimensão e teor de humidade da carga enfiada afectam o consumo de gás natural.

No sector da pintura, o set-point da temperatura depende da tinta (brilhante ou mate) a aplicar no artigo.

Alguns queimadores, como os das pinturas 1, 2 e 3 e do gesso, ligam e desligam consoante se encontram abaixo ou acima da temperatura pré-definida.



Dadas estas limitações, tentou-se sempre que possível ter períodos longos entre leituras, de modo a que os consumos fossem o mais representativos da produção, não tendo sido possível em alguns casos.

Os valores dos caudais de gás natural em cada sector foram determinados de acordo as leituras efectuadas, excepto no sector da pintura, em que o consumo horário foi obtido por diferença, tendo em conta o consumo anual verificado em 2014.

Relativamente às estimativas de consumo do sector do gesso, este além das 3 estufas de secagem, também inclui o secador da roller I.

A seguir, apresenta-se o caudal de gás natural estimado para cada sector, bem como, os respectivos consumos diários (considerando apenas dias úteis, para posterior comparação) e anuais.

Tabela 15. Desagregação de consumos de gás natural por sector produtivo

Sector	\dot{V} [m ³ N/h]	Consumo		
		diário [m ³ N]	anual [m ³ N]	[%]
Conformação	19	463	123 311	15%
Forno	69	1 660	468 120	58%
Pintura	50	800	197 317	24%
Gesso	4	96	18 048	2%
Total		3 019	806 796	100%

O valor estimado do consumo do forno teve em conta leituras efectuadas ao fim de semana, em que a produção pode ser menor, logo o valor poderá estar subestimado.

Segundo estes resultados, o forno apresenta o maior consumo de gás natural, com 1160 m³N/dia e 468 120 m³N por ano, representando 58% do consumo total. A pintura corresponde a 25%, seguido do sector da conformação com 15% dos consumos.

Comparando o consumo diário calculado (3 019 m³N) com os valores diários registados na empresa (considerando apenas os dias úteis, de Abril a Setembro de 2015), cuja média é 3396m³N, verifica-se uma diferença de -377 m³N por dia (desvio de -13%).

Uma vez que não foi possível desagregar consumos por máquina em cada sector, e dado que as medidas implementadas a nível de redução de consumo de gás natural desde 2010, incidiram sobretudo no forno, nomeadamente, ao nível do isolamento térmico, redução de perdas de calor pela chaminé e afinação de queimadores, pressupõe-se que a distribuição de consumo por máquina verificada na auditoria energética, é semelhante à actual e, assim, determinou-se o consumo por equipamento.



Tabela 16. Resumo da desagregação de consumos eléctricos por sector produtivo

Equipamento	\dot{V} [m ³ N/h]	Consumo anual estimado			Emissões	Custo
		[m ³ N]	[tep]	[%]	[t CO ₂]	[€]
R1	6	35 595	32	4%	86	19 064 €
R4	6	36 230	33	4%	88	19 404 €
R5	3	20 976	19	3%	51	11 234 €
R7	5	30 510	28	4%	74	16 340 €
Forno	69	468 120	424	58%	1137	250 712 €
P1	16	64 856	59	8%	158	34 735 €
P2	15	61 009	55	8%	148	32 675 €
P3	11	45 070	41	6%	109	24 138 €
P4	7	26 382	24	3%	64	14 130 €
Gesso	4	18 048	16	2%	44	9 666 €
Total		806 796	730	100%	1 960	432 097 €

A pintura 1 e 2 são as segundas maiores consumidoras de gás natural da fábrica, a seguir ao forno. No sector da conformação, as Rollers I e IV têm o maior consumo de sector.



5.3. Desagregação de consumos

A seguir apresenta-se a desagregação de consumos por sector fabril em termos de consumos em tep e respectivos consumos específicos em 2014

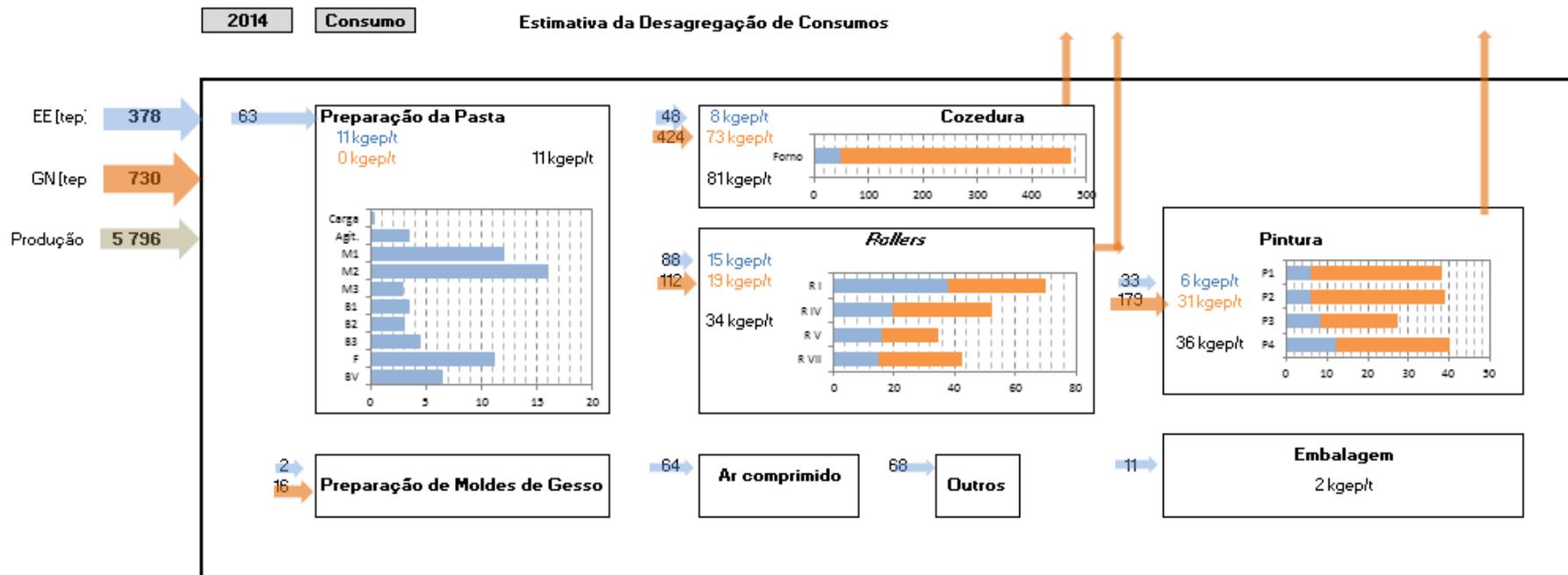


Figura 40. Resumo da desagregação de consumos de energia eléctrica (azul) e térmica (laranja) por sector



6. Oportunidades de melhoria na utilização de energia térmica

A eficiência térmica global de um sistema de combustão é dada pela relação entre a energia útil do processo e a energia total introduzida no sistema, podendo ser definida como:

$$\eta = \frac{\text{Energia introduzida no sistema} - \text{Energia perdida pelo sistema}}{\text{Energia introduzida no sistema}}$$

$$= 1 - \frac{\text{Energia dos gases de exaustão} + \text{Energia perdida pelas paredes exteriores}}{\text{Energia introduzida no sistema}}$$

Eq. 6.1

Para aumentar a eficiência energética numa instalação de combustão deve-se actuar no sentido de reduzir o calor perdido pelos gases de exaustão, nomeadamente através da diminuição do caudal mássico (regulando o excesso de ar) e da temperatura de saída, e de modo a minimizar as perdas térmicas através das paredes exteriores, substituindo isolamentos térmicos danificados ou instalando outros mais eficazes. (Magueijo, et al., 2010) (EC, 2008)

Nas fornalhas industriais, em que a envolvente externa tem temperatura inferior a 80°C, a energia perdida não deve exceder 2% da energia introduzida. (Matos, 2010)

6.1. Análise dos gases de exaustão

A análise da composição dos produtos gasosos à saída do equipamento de combustão permite avaliar as suas condições de operação e o seu desempenho energético, nomeadamente no que diz respeito à relação ar de combustão/combustível.

Se a relação ar/combustível for muito elevada, há um maior arrefecimento da câmara de combustão e a necessidade de aquecimento de um maior volume de ar, resultando no aumento do custo operacional e em mais perdas nos gases de exaustão.

Por outro lado, se a quantidade de ar for muito baixa, o combustível não é totalmente queimado, originando inqueimados, como o monóxido de carbono (CO) e hidrogénio (H₂), que não libertam a sua energia e se acabam por perder na forma de calor latente no efluente. (Gaspar, 2004).

Para cada combustível, existe um ponto óptimo da regulação da combustão que corresponde a um compromisso entre estes dois factores. Assim, e de forma a compensar as limitações ao nível da transferência de massa entre o combustível e comburente, garantindo que a reacção é próxima da combustão completa, todas as fornalhas trabalham com excesso de ar, relativamente à estequiometria. (Matos, 2010) Dependendo do tipo de instalação, os níveis de excesso de ar podem variar entre 5% e 50% (Gaspar, 2004) (Monfort, et al., 2013) (UNIDO; ECC, 1994).

A partir dos dados da Auditoria Ambiental de 2013, apresentados na Tabela 17, foram determinados o excesso de ar e a energia perdida através dos gases de exaustão nos equipamentos de combustão das Rollers, Forno e Pintura.

Tabela 17. Dados de caracterização dos efluentes gasosos para cada sector



Parâmetro ^[c]	Rollers	Forno	Pintura
$y_{O_2,gd}$ [%]	20,04%	16,92%	11,69%
$y_{CO_2,gd}$ [%]	0,32%	2,63%	5,70%
$y_{N_2,gd}$ [%]	79,64%	80,45%	82,61%
$y_{CO,gd}$ [ppm _s]	32	67	1
$y_{H_2O,g}$ [%]	1,18%	4,68%	3,44%
$P_{abs,g}$ [kPa]	102,01	102,27	102,11
T_g [°C]	78,1	148,9	266,5
T_a [°C]	27,0	36,0	25,0
\dot{m}_g [kg/h]	2 586	813	372

6.1.1. Excesso de Ar

A aplicação do princípio de conservação de massa a um equipamento de combustão, assumindo estado estacionário, é uma forma prática e suficientemente rigorosa para estimar as necessidades de ar de combustão para um dado combustível (Matos, 2010).

Para efectuar o balanço mássico aos equipamentos de combustão, admitiu-se que o gás natural tem a composição molar apresentada na Tabela 18 (Matos, 2010) e que o ar de combustão é seco, sendo constituído por 21% de oxigénio e 79% de azoto.

Tabela 18. Composição, massa e coeficientes molares do gás natural seco distribuído em Portugal

Componente i	y_{iF} (mol i/mol F)	M_i (g/mol)	Coeficiente molar ν_{ji} [mol j/mol i]			
			C	H	O	N
CH ₄	0,837	16,0	1	4	0	0
C ₂ H ₆	0,076	30,1	2	6	0	0
C ₃ H ₈	0,019	44,1	3	8	0	0
C ₄ H ₁₀	0,010	58,1	4	10	0	0
N ₂	0,056	28,0	0	0	0	2
CO ₂	0,002	44,0	1	0	2	0
	1,000	18,8				

O excesso de ar, z , que relaciona a quantidade de oxigénio efectivamente alimentado ao processo e a quantidade estequiométrica (necessária para a combustão completa do combustível), é dado por:

^[c] Na composição do gás de exaustão, considerou-se que cada um dos produtos gasosos, às mesmas condições de pressão e temperatura, se comporta como gás perfeito e, como tal, a fracção volúmica de cada componente é igual à sua fracção molar.

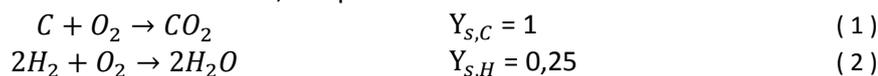


$$z [\%] = 100 \left(\frac{n_{O_2a}}{n_{O_2s}} - 1 \right) \quad \text{Eq. 6.2}$$

As necessidades estequiométricas de oxigénio, n_{O_2s} , calculam-se a partir da Eq. 6.3:

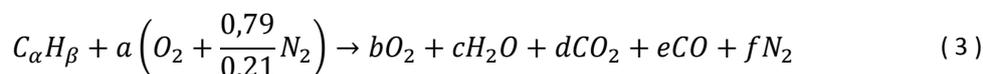
$$n_{O_2s} = \Sigma(v_{ji}y_{iF}n_{Fd}Y_{s,j}) - v_{Oi}y_{iF}n_{Fd} \quad \text{Eq. 6.3}$$

e onde $Y_{s,j}$ é definido pelas necessidades de O_2 necessário para oxidação completa dos elementos químicos presentes no combustível, tal que:



Para efeitos de balanço mássico, considera-se que a quantidade de óxidos de azoto (NO_x), produzidos pela oxidação do azoto presente no combustível e no ar de combustão, é desprezável.

A reacção de combustão da mistura de hidrocarbonetos do gás natural com o ar seco pode ser representada por:



Apesar de ter um contributo pequeno, o monóxido de carbono (CO) também foi considerado na reacção, dado que este aparece nos produtos de combustão de cada sector.

Uma vez que o analisador de gases de combustão, determina a fracção volúmica de dióxido de carbono a partir da leitura do oxigénio e de parâmetros pré-definidos relativos ao combustível e que a fracção volúmica de azoto é obtida por diferença, na determinação da quantidade de oxigénio efectivamente alimentado ao processo, n_{O_2a} , (representada por a na reacção química), optou-se por efectuar o balanço mássico a cada elemento que entra na constituição dos reagentes (C, H, O e N), tendo como base de cálculo 1 mole de gás natural e utilizando apenas os dados de fracção molar de oxigénio e de monóxido de carbono. Os resultados baseados na composição molar de todos os componentes dos gases de exaustão obtida pelo aparelho são semelhantes aos obtidos por este método.

Assim, o balanço material será dado por:

$$C: \quad \Sigma(v_{Ci}y_{iF}n_F) = d + e \quad \text{Eq. 6.4}$$

$$H: \quad \Sigma(v_{Hi}y_{iF}n_F) = 2c \quad \text{Eq. 6.5}$$

$$O: \quad \Sigma(v_{Oi}y_{iF}n_F) + 2a = 2b + c + 2d + e \quad \text{Eq. 6.6}$$

$$N: \quad \Sigma(v_{Ni}y_{iF}n_F) + 2a \times 3,76 = 2f \quad \text{Eq. 6.7}$$

$$n_{gd} = b + d + e + f \quad \text{Eq. 6.8}$$

Resolvendo o sistema de equações, determina-se o coeficiente a , que corresponde à quantidade de oxigénio actual ($a = n_{O_2a}$).



Os resultados obtidos na determinação do excesso de ar das *Rollers*, Forno e sector da Pintura são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 19. Excesso de ar nos equipamentos de combustão de cada sector

Parâmetro	Rollers	Forno	Pintura
n_{O_2s} [mol O ₂ esteq.]	2,1	2,1	2,1
n_{O_2a} [mol O ₂ actual]	41,7	10,0	4,5
z	1888%	375%	114%

Assim, as *Rollers* são aquelas que trabalham com maior excesso de ar, registando 1888%.

O excesso de ar no forno é cerca 375% e, na Pintura, 114%. No caso das *rollers*, uma vez que o efluente gasoso é constituído essencialmente por ar (20,04% de oxigénio e 79,64% de azoto), proveniente da zona de pré-secagem das peças após conformação, os resultados não parecem válidos para avaliar o desempenho energético da instalação de combustão.

No caso do forno e da pintura, verifica-se que os valores encontrados são elevados para sistemas de combustão a gás natural, pelo que seria aconselhável a redução da quantidade de ar alimentada.

No capítulo 7 deste relatório, será avaliada a viabilidade técnica e económica da instalação de variadores de velocidade nos ventiladores do forno, como forma de regular o caudal de ar de combustão alimentado.

No caso da pintura, em particular na pintura 4, em que o sistema é de chama directa, deverá ser verificado se a redução da quantidade de ar não tem impacto ao nível da qualidade do produto, nomeadamente, devido a alterações de cor (Mezquita, et al., 2014) (FIMEL, 2010).

A partir destes dados, o consumo estimado de gás natural nestes sectores, conhecido o caudal dos gases de combustão, \dot{m}_g , é determinado através da equação:

$$\dot{V}_{GN} = \frac{\dot{m}_g}{\rho_{GN}(W_{AF} + 1)} \quad \text{Eq. 6.9}$$

em que

$$W_{AF} = \frac{n_{O_2a} M_{ar\ seco}}{\sum(y_{iF} n_F M_i)} \quad [\text{kg ar actual/ kg F}] \quad \text{Eq. 6.10}$$

sendo a quantidade molar de oxigénio actual igual à quantidade molar de ar actual.

O consumo estimado de gás natural, corrigido para condições PTN, nas *rollers*, forno e pintura foi respectivamente de 37 m³N/h, 39 m³N/h e 29 m³N/h.

Quando se compara estes valores com os obtidos na estimativa de desagregação de consumos efectuada anteriormente a partir da leitura do contador de gás, em que se obteve, 19 m³N/h, 69 m³N/h e 50 m³N/h, verificam-se desvios de +92%, -44% e -43%.



6.1.2. Perdas térmicas pelos gases de exaustão

De forma a avaliar as perdas de calor associadas aos gases de exaustão, sabe-se que a potência térmica perdida pelos gases de exaustão (Matos, 2010) é dada por:

$$\dot{Q}_g = \sum (y_{ig} \dot{m}_g \overline{C_{p,i}}) (T_g - T_a) + y_{COg} \dot{m}_g PCI_{CO} \quad \text{Eq. 6.11}$$

com

$i \in \text{O}_2, \text{CO}_2, \text{CO}, \text{N}_2 \text{ e } \text{H}_2\text{O};$

$PCI_{CO @ 298K} = 10,12 \text{ MJ/kg}$ (poder calorífico inferior do monóxido de carbono).

Na tabela seguinte é apresentada a potência térmica calculada para cada sector, bem como, a energia perdida anualmente através dos gases de exaustão e respectivo peso no consumo anual de gás natural (E_{GN}).

Tabela 20. Perdas térmicas pelos gases de exaustão

Parâmetro	Rollers	Forno	Pintura	Total
\dot{Q}_g [kW]	37,5	26,5	26,6	
t_{func} [h/ano]	6392	6768	3948	
$Q_{g,anual}$ [kWh]	239 601	179 340	104 946	523 888
E_{GN} [kWh]	1 433 296	5 441 167	2 293 506	9 377 749
$Q_{g,anual}$ [%]	17%	3%	5%	6%

A perda de calor pelos gases de combustão é maior nas Rollers, sendo anualmente cerca de 239 MWh, o que representa 17% da factura do gás. Isto deve-se essencialmente ao caudal de efluente elevado (2586 kg/h), uma vez que a temperatura é relativamente baixa (78,1°C).

Por outro lado, na pintura, apesar do caudal de efluente ser baixo (372 kg/h), a temperatura com que os gases de exaustão saem da câmara de combustão é elevada (266,5°C), e por isso, a potência térmica é semelhante à do forno, i.e., aproximadamente, 26 kW.

As perdas de calor pelos gases de exaustão em toda a instalação correspondem anualmente a 523 MWh, o que representa 6% do consumo total de gás.

6.1.3. Recuperação de calor dos gases de exaustão

Na recuperação de calor de baixa temperatura devem ser analisados os pontos do processo onde essa energia poderá ser utilizada, bem como, a proximidade entre os locais de geração de excesso de calor e o da sua utilização, de forma a minimizar as perdas térmicas. (EC, 2007)

Após determinação da potência térmica dos gases de exaustão, pretende-se estudar a possibilidade de aproveitamento do calor perdido através dos gases de exaustão do forno e das rollers para secagem dos vasos crus antes da sua entrada no forno.

De um modo geral, os vasos antes de serem enfiados são colocados no transportador aéreo ou em carrinhos para secar, sendo sujeitos a ventilação forçada. No caso da Roller I, a secagem é efectuada num secador com queima de gás natural e com aproveitamento parcial de calor dos gases de exaustão da estufa desta roller.



Para verificar as necessidades de secagem, foi determinado o teor de humidade dos vasos nas diferentes etapas de conformação. Esta análise foi efectuada nos vasos da Roller I, devido à sua proximidade com uma das chaminés de exaustão do forno e da chaminé da roller e, no sentido de eliminar o consumo de gás natural no secador.

i. Determinação do teor de humidade dos vasos

O teor de humidade de um vaso, na fase de conformação, depende essencialmente das características do barro utilizado, nomeadamente, das quantidades de matéria-prima e água adicionadas, prensagem, extrusão e tempo de exposição às condições ambiente da fábrica. Posteriormente, o tempo no interior da estufa e secador e a localização no secador também influenciam o teor de humidade final.

Para determinar a quantidade de água presente nas peças de cerâmica foram recolhidas amostras, determinou-se a sua massa inicial e colocou-se numa mufla a 110°C, até a sua massa ser constante (diferença entre pesagens inferior a 1% da humidade perdida).

De referir que uma amostra, de uma mesma referência de vaso, pode apresentar alguma variabilidade na sua massa, devido a variações no próprio teor de humidade ou, de um modo menos frequente, à quantidade de barro utilizado para o vaso (relacionado com a afinação das cabeças das *Rollers* para efectuar a conformação).

Como exemplo, pode dizer-se que uma das amostras tinha uma variação de 5% na sua massa relativamente às outras.

Apesar desta variabilidade, pretende-se estimar a quantidade de água que se quer retirar dos vasos para estarem suficientemente secos para entrada no forno, pelo que os resultados servirão como referência para esta estimativa.

A etapa A corresponde a vasos que foram retirados da máquina, após conformação pelas cabeças, antes da sua entrada na estufa.

A etapa B corresponde a vasos retirados, após a estufa e antes da entrada no secador e a etapa C, retirados na saída do secador.

As amostras 1, 2 e 3 dizem respeito à mesma linha de vasos, de altura 19,0 cm e diâmetro 14,0 cm. As amostras 4 e 5 tinham altura 13,5 cm e diâmetro 17,0 cm, enquanto que a amostra 6 correspondeu a uma taça de altura 8,0 cm e diâmetro 17,0.

Na tabela seguinte, apresentam-se os resultados obtidos, sendo X_w e X_d , os teores de humidade em base tal e qual e em base seca, respectivamente.



Tabela 21. Massa das amostras e teor de água presente

Etapa	Amostra	m_{vc} (g)	$m_{vc,d}$ (g)	$m_{H_2O,v}$ (g)	X_w (%)	X_{wd} (%)
A (entrada Roller)	1	1124	896	228	20,3%	25,4%
	2	1140	910	230	20,2%	25,3%
	3	1117	895	222	19,9%	24,8%
	4	990	783	207	20,9%	26,4%
	5	986	786	200	20,3%	25,4%
	6	698	556	142	20,3%	25,5%
B (entrada secador)	1	1080	907	173	16,0%	19,1%
	2	1026	863	163	15,9%	18,9%
	3	1029	864	165	16,0%	19,1%
	4	935	769	166	17,8%	21,6%
	5	929	761	168	18,1%	22,1%
	6	653	564	89	13,6%	15,8%
C (saída secador)	1	927	895	32	3,5%	3,6%
	2	951	898	53	5,6%	5,9%
	3	933	898	35	3,8%	3,9%
	4	774	762	12	1,6%	1,6%
	5	773	762	11	1,4%	1,4%
	6	566	535	31	5,5%	5,8%

No que diz respeito à etapa A, o teor de humidade em base seca varia entre 24,8% e 26,4%, sendo em média 25,5%. Embora algumas das amostras tenham sido retiradas em dias diferentes, correspondendo a paletes distintas, o teor de humidade inicial é semelhante.

À saída da estufa e antes da entrada no secador, os teores de humidade nos vasos variam entre 15,8% e 22,1%, registando em média 19,4%. Embora, na estufa, estejam ligados, em geral, dois queimadores, há determinados vasos que pelas suas características geométricas podem ter temperaturas menores, e isto, terá influência no teor de humidade final.

À saída do secador, a variabilidade é maior oscilando entre 1,4% e 5,9%, sendo em média 3,7%. Esta variação pode dever-se, quer à especificidade do vaso, nomeadamente forma, espessura, tamanho, quer ao tempo e localização no interior do secador.

ii. Necessidades de ar de secagem

Considerando uma situação genérica de secagem contínua em contra-corrente, em estado estacionário (Alves, 1991), pretende-se reduzir o teor de humidade dos sólidos de $X_{wd,0}$ para $X_{wd,f}$ utilizando os gases de exaustão quentes. Para efeitos desta análise, considera-se que as propriedades físicas dos gases de exaustão são semelhantes às do ar atmosférico.

O caudal mássico de água a evaporar para reduzir a humidade dos vasos de $X_{wd,0} = 19\%$ para $X_{wd,f} = 4\%$, é dada por:

$$\dot{m}_{H_2O,v} = \dot{m}_{vc,d}(X_{wd,0} - X_{wd,f}) \quad \text{Eq. 6.12}$$



Por outro lado, deve-se ter em consideração a quantidade de água que o ar consegue suportar, i.e., o limite de saturação do ar. Assim, o máximo de humidade que é possível remover dos vasos para os gases de exaustão é determinada por:

$$\dot{m}_{H_2O,máx} = \dot{m}_{sec}(W_{VA}^{sat} - W_{VA}) \quad \text{Eq. 6.13}$$

em que W_{VA}^{sat} é a humidade absoluta nas condições de saturação, à temperatura dos gases de exaustão, lida no Diagrama Psicrométrico para temperaturas elevadas (Anexo III).

A humidade, W_{VA} , nos gases de exaustão é determinada a partir da fracção molar de vapor de água, tal que:

$$W_{VA} = \frac{y_{H_2O,g}}{1 - y_{H_2O,g}} \frac{M_{H_2O}}{M_{ar\ seco}} \quad \text{Eq. 6.14}$$

Assumindo como base de cálculo $\dot{m}_{vc,d} = 1000$ kg/h de vasos, em base seca, igualando a Eq. 6.12 e Eq. 6.13, obtém o caudal de ar necessário para a secagem, \dot{m}_{sec} .

Tabela 22. Necessidade de gases de combustão para secagem

Parâmetro	Rollers	Forno
$y_{H_2O,g}$ [%]	1,18%	4,68%
T_g [°C]	78,1	148,9
W_{VA} [kg água/kg ar seco]	0,008	0,031
W_{VA}^{sat} [kg água/kg ar seco]	0,028	0,073
\dot{m}_{sec} [kg/h]	7 488	3 546
\dot{m}_{gd} [kg/h]	2 567	789
$\dot{m}_{gd,adicional}$ [kg/h]	4 921	2 757

Da análise efectuada verifica-se que o caudal dos gases de exaustão das rollers e do forno, i.e., 2567 e 789 kg/h (em base seca) não é suficiente para suprir as necessidades de secagem, sendo necessário caudais de ar adicionais de 4921 e 2757 kg/h, respectivamente.

Uma vez que seria necessário a instalação de mais ventiladores para compensar o caudal em falta, resultando em custos adicionais de energia, esta medida não tem interesse prático.



6.2. Estimativa das perdas térmicas nas paredes laterais do forno

Na determinação das perdas de calor através das paredes do forno, apenas foi possível avaliar as perdas térmicas pelas paredes laterais consideradas as paredes laterais, devido a limitações de acesso às superfícies horizontais do forno.

6.2.1. Mecanismos de transferência de calor

O transporte de calor pode-se dar pelos mecanismos de condução, convecção e radiação.

Para estimar as perdas térmicas pelas paredes laterais do forno, considerou-se que a transferência de calor para o exterior se dá apenas por convecção e radiação, em estado estacionário, i.e., não havendo variação das propriedades do sistema com o tempo.

Admitiu-se ainda que o ar nas zonas envolventes do forno estaria sujeito apenas a convecção natural, desprezando-se o movimento do ar devido à existência de ventiladores nas proximidades.

a. Convecção Natural

A convecção é um mecanismo de transferência de calor típico de fluidos, não ocorrendo em sólidos ou no vácuo. No caso da convecção natural, verifica-se o movimento de partes do fluido devido a diferenças de densidade, causadas pela existência de diferenças de temperatura.

A potência térmica do ar junto à superfície é dado pela Lei de Newton da convecção, tal que:

$$\dot{Q}_{conv} = h_c A (T_s - T_a) \quad \text{Eq. 6.15}$$

Assim, admite-se que a temperatura do ar na zona de contacto com a superfície é igual à temperatura da superfície.

No sentido de determinar o coeficiente convectivo existem várias correlações empíricas para diferentes geometrias e regimes de fluxo.

No caso de placas planas, considera-se a dimensão linear característica (L) do espaço onde circula o fluido, o comprimento da placa, sendo o coeficiente de convecção obtido através do número de Nusselt.

O número de Nusselt relaciona o fluxo de calor por convecção com o fluxo de calor por condução no fluido.

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad \text{Eq. 6.16}$$

Para determinação deste número adimensional, no caso de escoamento vertical em placas planas, pode-se ser aplicada a seguinte correlação, válida para todos os regimes de fluxo (Çengel, 2007):



$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (Pr \cdot Gr)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad \text{Eq. 6.17}$$

O número de Prandtl relaciona a velocidade de transporte de quantidade de movimento e a velocidade de transferência de calor nas respectivas camadas-limite.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad \text{Eq. 6.18}$$

O número de Grashof, usado em convecção natural, relaciona as forças de impulsão com as forças viscosas.

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad \text{Eq. 6.19}$$

Em que o coeficiente de dilatação térmica, β , em $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1} , representa a taxa de variação de volume do fluido por unidade de variação de temperatura. Nos gases, este coeficiente é mais elevado do que nos líquidos devido à sua maior capacidade de dilatação.

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad \text{Eq. 6.20}$$

Como aproximação, assume-se o ar com comportamento de gás ideal e a pressão constante, obtendo-se:

$$\beta = \frac{1}{T} \quad \text{Eq. 6.21}$$

As propriedades físicas do fluido são determinadas à temperatura média do filme, que é o valor médio entre as temperaturas da superfície e do fluido:

$$\bar{T}_{filme} = \frac{T_s + T_f}{2} \quad \text{Eq. 6.22}$$

b. Radiação

A transferência de calor por radiação ocorre devido a variações na configuração electrónica dos átomos e moléculas de uma substância, fazendo com que esta emita radiação sob a forma de ondas electromagnéticas. Todas as substâncias com temperaturas superiores a 0 K emitem radiação térmica.



O balanço de radiação na superfície externa é dado por uma equação empírica do tipo de Stefan-Boltzmann, em que a potência térmica máxima que a superfície pode emitir é:

$$\dot{Q}_{emit,m\acute{a}x} = \sigma AT_s^4 \quad \text{Eq. 6.23}$$

No caso da radiação emitida por superfícies reais dever-se-á ter em conta a sua emissividade, ε .

A transferência de calor por radiação numa interface gás/sólido envolve a emissão de radiação a partir da superfície e pode também envolver a absorção da radiação incidente da envolvente.

Dever-se-á ainda considerar as trocas de energia entre duas ou mais superfícies em presença.

No caso especial de uma superfície exposta a uma envolvente de grandes dimensões com temperatura uniforme, a potência térmica será dado por:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_a^4) \quad \text{Eq. 6.24}$$

Uma vez que as propriedades do ar são determinadas tendo em conta a temperatura média do filme, na determinação dos números adimensionais, e conseqüentemente, do coeficiente convectivo, optou-se por calcular valores máximos e mínimos tendo em conta a temperatura média do filme máxima e mínima.

6.2.2. Metodologia

Para a identificação das zonas do forno com maiores perdas de calor, foram medidas as temperaturas das paredes laterais do forno, não tendo sido considerada a zona da estufa.

Foi também considerada a zona de arrefecimento lento, uma vez que, nesta zona, há recuperação de calor para a zona alta do forno.

Tendo em conta a estrutura, dividiu-se o forno em 34 módulos, de 0,91 m de largura cada um, em que:

Tabela 23. Características dos módulos para determinação das perdas térmicas

Módulos	Zona	Sector	Altura da secção/módulo (m)
1 – 4	Pré-aquecimento	I	0,660
5 – 8	Pré-aquecimento	II	0,765
9 – 18	Queima (zona alta)	III	0,995
19 – 20	Arrefecimento Rápido	II	0,765
21 – 34	Arrefecimento Lento	I	0,660

Em cada módulo, para a medição da temperatura, definiram-se três pontos médios na horizontal e três – para os sectores I e II - ou cinco – na sector III - pontos na vertical, consoante a altura da secção.

Nalgumas das secções definidas, não foi possível medir a temperatura devido à existência de estruturas que impossibilitavam o acesso, como queimadores e condutas.

A medição da temperatura das paredes do forno foi efectuada com um multímetro digital Fluke 179, usando um termopar tipo K.



O calor perdido por convecção natural e radiação foi determinado através da Eq. 6.15 e Eq. 6.24, tendo em conta o tempo de funcionamento anual do forno.

Admitiu-se que a temperatura ambiente seria 28 °C, i.e., 301 K e a emissividade da superfície igual a 0,8 (equivalente a aço pintado) (Gaspar, 2004).

O coeficiente convectivo, h , foi determinado a partir das correlações referidas, considerando escoamento em placas verticais.

6.2.3. Resultados

a. Temperatura média das paredes laterais

Os resultados detalhados das medições de temperatura para cada uma das secções definidas encontram-se no Anexo II.

Na medição, teve-se o cuidado de verificar as temperaturas nos pontos adjacentes ao ponto de medição, de modo a que a temperatura medida fosse o mais representativa possível da secção definida. De notar, no entanto, que se verificou muita variação de temperatura, quer num mesmo ponto, quer em pontos adjacentes, devido à variabilidade da carga no forno (tamanho, quantidade e disposição dos vasos) e a possíveis danos estruturais. Dada a variabilidade das condições, as temperaturas devem ser consideradas indicativas da zona em questão, servindo para identificar as zonas às quais se deve dar prioridade no isolamento térmico e reparação da estrutura e, como ferramenta, para estimar as perdas de calor.

Dada a variabilidade de temperaturas em cada um dos módulos, e mesmo em cada uma das secções definidas, para um maior rigor dos resultados, determinou-se as perdas de calor por convecção e radiação para cada secção definida admitindo que a temperatura da superfície seria a temperatura lida.

Na Tabela 24, apresentam-se os resultados médios das leituras da temperatura em cada zona do forno, nos lados esquerdo e direito.

Tabela 24. Temperaturas médias obtidas por zona do do forno, nos lados esquerdo e direito.

T (°C)	Pré-aquecimento				Zona de Queima (Alta)		Arref. Rápido		Arref. Lento	
	Sector I		Sector II		Sector III		Sector II		Sector I	
	esq.	dir.	esq.	dir.	esq.	dir.	esq.	dir.	esq.	dir.
Sup. alta					79	76				
Superior	59	44	50	47	58	56	77	80	42	48
Meio	52	46	48	44	65	69	48	63	40	44
Inferior	44	39	50	39	65	59	44	41	38	33
Inf. alta					54	47				

De um modo geral, as temperaturas médias no lado direito do forno são inferiores às verificadas no lado esquerdo, excepto nas zonas de arrefecimento. Uma vez que no lado direito existem vários ventiladores – localizados próximos das zonas de pré-aquecimento e de queima -, estes poderão estar a promover o arrefecimento das paredes, pelo que é de esperar que as



temperaturas e, conseqüentemente, as perdas térmicas neste lado do forno sejam superiores às obtidas.

Além disto, foi no lado direito do forno que se verificaram mais zonas (pequenas secções, geralmente, localizadas nas extremidades das placas) com temperaturas superiores a 100°C e nalguns casos superiores a 120°C.

As zonas superiores dos módulos apresentam os piores resultados, tendo as secções abaixo dos rolos, em geral, as menores temperaturas.

Este estudo permitiu identificar as zonas do forno com piores condições de isolamento e as que deverão ser alvo de uma avaliação mais profunda da estrutura, para uma eventual reparação dos danos.

b. Energia perdida pelas paredes laterais e custos associados

O coeficiente de convecção determinado varia entre 1,91 e 7,04 W/m².K, calculado a partir das propriedades do ar às temperaturas máxima e mínima obtidas e das características da superfície (temperatura e altura).

A seguir, apresenta-se a estimativa da potência térmica total (convecção e radiação) perdida pelas paredes laterais do forno, por zona.

Tabela 25. Estimativa da potência térmica perdida pelas paredes laterais do forno, por zona e por lado.

Q̇ [W]	Pré-aquecimento		Zona Alta (Queima)	Arref. Rápido	Arref. Lento	Total por lado	
	Secção I	Secção II	Secção III	Secção II	Secção I		%
esq.	586	571	3465	370	865	5856	52%
dir.	325	378	3103	467	1081	5354	48%
Total por zona	911	948	6567	837	1946	11 210	
%	8%	8%	59%	7%	17%		

Os resultados demonstram que a energia perdida pelas paredes laterais do forno, considerando 6768 horas de trabalho anuais, equivalem ao consumo de 7 206 m³N (75 870 kWh) de gás natural, com um custo de 3860€ por ano. Estes valores correspondem a quase 10% da factura energética mensal para este combustível.

A zona de queima representa 59% do total de energia perdida, seguido da zona de arrefecimento lento, com 17%, correspondendo a, respectivamente, 3833 m³N e 1136 m³N de gás natural.

O lado esquerdo apresenta as maiores perdas térmicas, i.e., o equivalente ao consumo de 3765 m³N de gás natural e 52% do energia total perdida.

Como já referido na análise das temperaturas, as perdas térmicas nas paredes laterais poderão ser maiores, em particular, do lado direito do forno nas zonas próximas aos ventiladores da fábrica.

De salientar que as perdas pelas paredes do forno poderão ser mais significativas, uma vez que a análise incidiu apenas nas paredes laterais, que representam cerca de 28% da área total do forno (incluindo a zona de arrefecimento lento).

As perdas de calor pelas paredes do forno resultam numa menor eficiência energética, com conseqüências ao nível do aumento do consumo de gás natural e, conseqüente, aumento da factura energética, mas também no que diz respeito à qualidade do produto, dado que haverá



maior instabilidade nas pressões e temperaturas no interior do forno, havendo maior dificuldade em assegurar as temperaturas da curva de cozedura.

Na tabela seguinte, apresenta-se um resumo das perdas de calor por sector produtivo.

Tabela 26. Resumo das perdas térmicas pelas paredes e pelos efluentes gasosos

Sector	Perdas	Consumo [m ³ N]	Custo [€]	Perdas [%]
Forno	Perdas, através das paredes, por convecção	1 631	888 €	0,2%
	Perdas, através das paredes, por radiação	1 972	1 074 €	0,2%
Rollers	Perdas nos gases de exaustão	16 554	9 014 €	2,1%
	Perdas nos gases de exaustão	22 508	12 256 €	2,8%
Pintura	Perdas nos gases de exaustão	9 451	5 146 €	1,2%
Total		52 117	28 378 €	6,5%

As perdas de calor pelos gases de combustão e através das paredes do forno representam 6,5% do gás natural consumido em 2014, correspondendo a 52 117 m³N e 28 378€.

Os efluentes gasosos no sector da conformação são os que contribuem mais para as perdas na instalação – 2,8% do consumo total, i.e., o equivalente a 22 508 m³N de gás natural por ano.

6.3. Estratégias de operação do forno

Uma vez que o forno pára de laborar ao fim de semana, pretendeu-se estimar o impacto no consumo específico de gás natural associado processo de cozedura, caso se mantivesse o forno em funcionamento contínuo.

6.3.1. Cenário de referência

Para efeitos de comparação anual dos custos energéticos, tem-se como referência o ano de 2014, considerando que o forno trabalha 24 h por dia, durante 6 dias por semana.

Da desagregação de consumo de energia térmica efectuada, sabe-se que o consumo de gás natural do forno corresponde a 58% do consumo facturado em 2014. Na tabela seguinte, apresentam-se os consumos de gás natural do forno – global e específico – e a produção bruta no ano de referência.

Tabela 27. Dados de produção e consumo de gás natural no forno no ano de referência

	Produção bruta [t]	E _{GN,Coz} [tep]	CE _{GN,Coz} [kgep/t]	C _{GN,Coz} [€]
Total anual	5 796	424	73,1	250 712 €
Média mensal	483	35		36 008 €

O consumo específico do processo de cozedura correspondeu a 73,1 kgep/t no ano de referência. A energia gasta devido à queima de gás natural foi de 424 tep, sendo a média mensal 35 tep. O custo anual correspondeu a 250 712€ e a média mensal cerca de 36 000€.



Quando não há laboração, o forno é mantido em mínimo e apenas ficam ligados os queimadores da zona alta, sendo a temperatura regulada para cerca de 600 °C (*setpoint*).

Nestas condições e de acordo com as leituras efectuadas no contador geral de gás, entre os períodos de paragem e arranque, o consumo médio de gás natural é cerca de 14 m³N/h. Considerando o período de 24 horas em que não há produção, verifica-se um consumo fixo mensal de cerca 1300 m³ de gás natural (1,2 tep), correspondendo a 3,4% do consumo/custo total (fixo + produtivo).

No ano de 2014, o custo de manter o forno em mínimo, durante 1 dia por semana, sem haver produção - considerando apenas o consumo de gás natural - foi aproximadamente 8500€.

6.3.2. Cenário proposto

O funcionamento contínuo dos fornos, evitando o seu arrefecimento e eventuais choques térmicos, tem vantagens ao nível do tempo de vida útil da estrutura e componentes do forno, nomeadamente placas e rolos refractários, reduzindo os custos de manutenção.

Além disso, existem custos de operação – como analisado anteriormente - associados aos consumos fixos, necessários para manter o forno em aquecimento.

A seguir, pretende-se avaliar qual o impacto no desempenho energético do forno e na factura anual de gás, resultante de manter o forno em regime de laboração contínua.

Caso se mantenha o forno em funcionamento mais 1 dia por semana - supondo que os níveis de produção diária durante a semana são semelhantes aos do fim de semana - resulta num aumento da produção de cerca de 17%.

Assim, pretendeu-se verificar qual a variação relativa do consumo específico, CE, induzida por uma variação na produção.

A partir dos dados de consumos mensais de gás natural obtidos nos meses de 2014 (excepto Agosto^[d]) e até Julho de 2015, determinou-se o consumo específico de gás natural no forno em cada mês e analisou-se a sua relação com a produção bruta. A seguir encontra-se representada esta relação e a respectiva curva de aproximação quadrática.

^[d] O mês de Agosto foi excluído da análise de dados, uma vez que não é representativo dos consumos e produções mensais, devido a paragem para manutenção e férias.

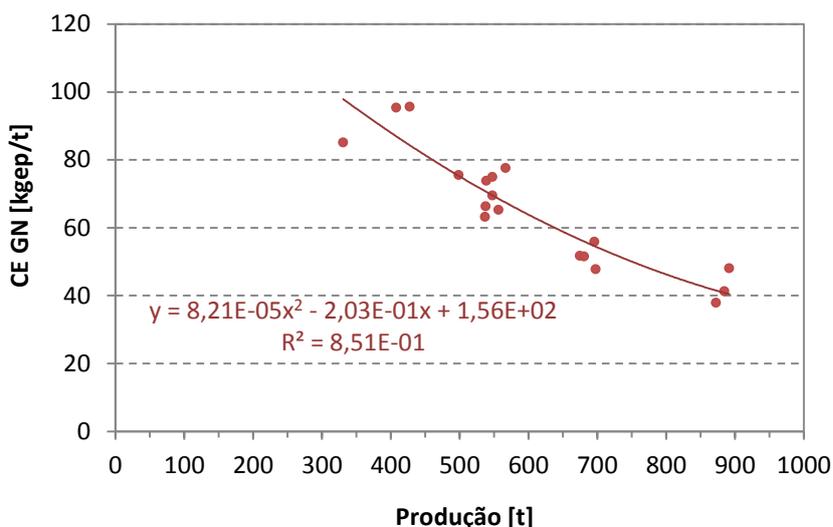


Figura 41. Consumo específico de gás natural no forno em função da produção bruta

Como se pode verificar, o consumo específico diminui com o aumento da produção. Quando se aumenta a produção, o consumo específico tende a diminuir, uma vez que o contributo dos consumos fixos, como por exemplo, as perdas térmicas pelas paredes, é menor (Calisto, et al., 2009).

A relação entre as variáveis, através de uma função quadrática, é razoável, apresentando um coeficiente de correlação, r^2 , igual a 0,851.

A partir da curva, calculou-se a variação do consumo específico face a uma variação da produção de 17%, relativamente à média mensal obtida em 2014. Os resultados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Redução do consumo específico de gás natural do forno face ao aumento da produção

Cenário	Produção mensal	Produção anual		CE _{GN,Coz}		E _{GN,Coz} anual		C _{GN,Coz} anual	
	[t]	[t]	[%]	[kgep/t]	[%]	[tep]	[€]	[%]	
Referência	483	5796		73		424	250 712 €		
Proposto	565	6781		64		434	256 846 €		
Δ_{ref}	82	985	17,0%	-9	-12,4%	10	6 135 €	2,4%	

De acordo, com os dados obtidos, manter o forno em funcionamento durante o fim de semana, provocaria uma redução do consumo específico associado ao processo de cozedura de 12,4% relativamente ao obtido em 2014, ficando em 64 kgep/t (em termos de volume de gás consumido, corresponde a uma redução de 81 m³N para 71 m³N por tonelada de produto fabricada).

O aumento da produção anual de 5796 t para 6781 t, resultaria num aumento de 2% dos consumos/custos anuais - 10 tep no consumo e 6135€ na factura do gás (aos quais se teria de subtrair os consumos/custos fixos evitados - 14 tep e 8500€).

Assim, enquanto no cenário de referência, o consumo fixo (não produtivo) de gás natural devido a paragem do forno ao fim de semana corresponde a 3,4% dos custos anuais, caso o forno operasse em modo contínuo, este custo seria evitado e aumentando em 17,0% a produção, o custo anual subiria apenas 2,4%.



Como já referido, o cenário proposto tem vantagens ao nível dos custos de manutenção, uma vez que se elimina as variações térmicas a que a estrutura estaria sujeita. Verificam-se também benefícios ao nível da eficiência energética e na redução dos custos da energia. No âmbito da gestão da produção, embora as *Rollers* tenham capacidade produtiva para assegurar o aumento da produção do forno, sem comprometer a qualidade do produto final, - havendo eventuais restrições relativas às especificidades das encomendas –, no sector da pintura, poderia haver mais dificuldade em assegurar o fluxo produtivo, causando excesso de stock e sendo necessário garantir espaço de armazenagem.

Deste modo, além dos gastos associados à mão de obra, para a operação do forno em contínuo, será necessário garantir que há stock suficiente a montante do forno e que a produção gerada não provoca estrangimentos a jusante.



7. Medidas para redução de consumos e custos de energia

7.1. Eliminação de Fugas de Ar Comprimido

O ar comprimido é uma forma de energia importante na empresa, representando cerca de 17% do consumo total de energia eléctrica.

Uma rede de distribuição de ar comprimido com fugas provoca uma perda de capacidade do ar que é compensada com a maior utilização do compressor (Iberdrola, 2008).

Embora, em geral, o compressor seja desligado, quando todas as máquinas param de trabalhar, verificaram-se fugas importantes em alguns equipamentos, quando estes não estavam em laboração.

Foram detectadas fugas elevadas, designadamente:

- no sector da pasta, junto ao tanque de aproveitamento de águas residuais;
- no sector da conformação, nas Rollers I, IV, V e VII.
- no sector da pintura, junto ao sistema de aspiração da máquina 2 e no sistema de distribuição de ar comprimido, junto à pintura 1.

Foram detectadas fugas menores, nas máquinas 3 e 4 da pintura.

Apesar da pressão de serviço do compressor ser, actualmente, 7,0 bar, como referência, apresenta-se na Tabela 29, a potência necessária para alimentar as fugas de ar comprimido para uma pressão de serviço de 6 bar, tendo em conta o seu diâmetro (Gaspar, 2004).

Tabela 29. Potência do compressor necessária para alimentar fugas de ar, consoante diâmetro do furo

Diâmetro do furo [mm]	Caudal de ar a 6 bar [m ³ /min]	Potência necessária para compressão [kW]
1	0,06	0,3
3	0,6	3,1
5	1,62	8,3
10	6,3	33

Assumindo que o diâmetro do furo nas fugas maiores é de 1 mm, apresenta-se uma estimativa da poupança anual prevista para a reparação de 80% das fugas. Admite-se que o compressor trabalha 24 horas por dia, durante 5 dias por semana e 24 horas ao fim de semana, durante 47 semanas.



Tabela 30. Estimativa de poupança anual, devido a reparação de fugas de ar comprimido

Local	Consumo anual estimado [kWh]	Reparação de fugas [%]	Poupança prevista			
			[kWh]	[tep]	[t CO ₂]	[€]
Rollers I, IV, V e VII; Pinturas 1 e 2; Tanque	14 213	80%	11 370	2,4	5,3	1 251 €

7.2. Minimização de perdas de calor no sector da embalagem

No sector da embalagem, os vasos, após serem colocados em suportes de cartão, são envolvidos em plástico (filme retráctil) e transportados para aquecimento térmico até à câmara de encolhimento. Um ventilador, na parte superior da câmara, distribui o ar, aquecido através de resistências eléctricas, que, por sua vez, são accionadas por um controlador de temperatura. O ar quente provoca o encolhimento do filme plástico, que se molda aos produtos embalados.

Verificou-se, na análise do diagrama de cargas do sector da embalagem, que de 3 em 3 minutos, as resistências eléctricas eram accionadas durante 1 minuto de forma a atingir a temperatura programada.

De referir que estas condições podem variar consoante o tamanho dos vasos a serem embalados.

Uma vez que se verificou que as cortinas existentes se encontram danificadas, provocando maiores perdas de ar quente, seria aconselhável a sua substituição. Sugere-se ainda a instalação de uma estrutura, com placas laterais e superior, na saída, de forma a minimizar as perdas de calor.

Supondo que, com estas medidas, se aumentava o intervalo entre períodos de aquecimento, i.e., se as resistências eléctricas entrassem em funcionamento, por exemplo, de 4 em 4 minutos, no total das 16 horas de trabalho diárias, a embalagem estaria a funcionar com potência máxima de 24,1kW durante 3,2 horas em vez de 4 horas (situação actual). No restante período, a potência média é de 12,6 kW.

Na tabela seguinte apresentam-se os consumos e custos anuais na situação actual e na prevista e respectivas economias.

Tabela 31. Consumos e custos anuais actuais e previstos no sector da embalagem

Situação	P (kW)	t _{func} (h/d)	E (kWh)	Custo anual (€)
Actual	24,1	4	23 784	2 549 €
(aquecimento de 3 em 3 min)	12,6	12	37 347	4 003 €
		16	61 131	6 552 €
Prevista	24,1	3,2	19 027	2 039 €
(aquecimento de 4 em 4 min)	12,6	12,8	39 837	4 270 €
		16	58 864	6 309 €
Poupança prevista			2 267	243 €

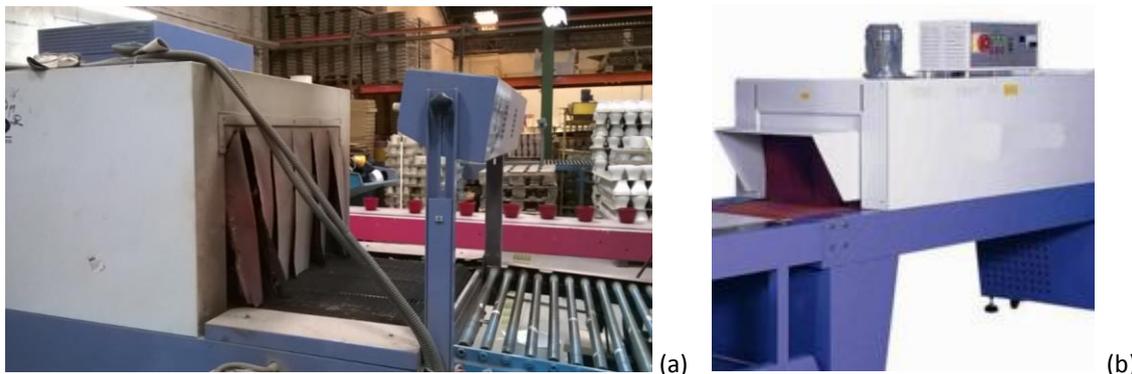


Figura 42. (a) Pormenor da câmara de encolhimento no sector da embalagem; (b) Exemplo de estrutura para retenção de calor na câmara de encolhimento (retirado de <http://www.fhopepack.com>)

De notar, no entanto, que a retenção em excesso do calor na câmara de encolhimento pode danificar ao plástico utilizado na embalagem, pelo que poderá ter de ser reduzida a temperatura programada.

7.3. Isolamento térmico das paredes laterais do forno

O caudal térmico perdido pelas paredes laterais do forno foi de 11,2 kW, correspondendo a perdas anuais de 3 504€ em gás natural.

Na prática, não é possível isolar completamente as paredes do forno. Assim, supondo uma redução da temperatura média das paredes laterais exteriores de 5°C, a potência térmica perdida corresponderia a 9,2 kW, o que resultaria numa poupança anual em gás natural de 1183 m³N e 618€.

7.4. Instalação de Sistema de Gestão de Energia

Devido à falta de meios de medição e à simultaneidade de operação dos vários equipamentos na fábrica, não foi possível a desagregação de consumos de todas as máquinas. De forma a controlar, monitorizar e identificar medidas de eficiência energética seria importante a implementação de um sistema de monitorização de consumos de energia que permitisse essa desagregação.

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) permite, de um modo geral, verificar o estado de funcionamento de toda a instalação e, simultaneamente, permite a actuação sobre diversas cargas em tempo real.

A monitorização e gestão de energia tem como vantagens:

- a desagregação de consumos e detecção de anomalias;
- auxílio aos serviços de manutenção;
- optimização dos custos operacionais da instalação e de equipamentos.

De uma forma geral, a implementação deste tipo de sistemas de gestão de energia, permite economias típicas de 3% nos consumos eléctricos e 5% para as restantes formas de energia,



decorrentes exclusivamente do processo da constante monitorização e controlo dos consumos de energia. (Gaspar, 2004)

7.4.1. Levantamento dos locais de instalação

Devido ao seu maior contributo para o consumo total, efectuou-se um levantamento dos equipamentos que poderiam beneficiar da instalação de contadores parciais de energia.

No caso da energia eléctrica, considerou-se a instalação de 12 contadores para os principais equipamentos consumidores.

Na tabela seguinte, apresenta-se os principais equipamentos e respectivos custos e emissões.

Tabela 32. Levantamento dos equipamentos para instalação de contadores de electricidade e respectivo contributo para consumo, custos e emissões

Contador nº	Equipamento	Consumo [kWh]	Custo [€]	Consumo [tep]	Emissões [t CO ₂]
EE 1	Compressor	291 713	31 265 €	63	137
EE 2	Moinhos	142 992	15 325 €	31	67
EE 3	R1	185 533	19 885 €	40	87
EE 4	R7	72 852	7 808 €	16	34
EE 5	R5	78 407	8 403 €	17	37
EE 6	R4	97 246	10 423 €	21	46
EE 7	Forno	222 820	23 881 €	48	105
EE 8	P1	19 985	2 142 €	4	9
EE 9	P2	19 985	2 142 €	4	9
EE 10	P3	45 222	4 847 €	10	21
EE 11	P4	66 259	7 101 €	14	31
EE 12	Embalagem	63 800	6 838 €	14	30
Total		1 306 815	140 061 €	281	614

O total dos equipamentos considerados contribui em 72% para o consumo total de energia eléctrica que, em 2014, foi de 1 756 728 kWh.

No caso do gás natural, foi feito um levantamento das redes de tubagem e dos sectores que serviam, tendo sido verificadas duas hipóteses. Na Hipótese I – com um total de 5 contadores de gás natural -, o sector da conformação, que inclui todas as Rollers, e o sector do gesso ficam associados a apenas 1 contador. Na Hipótese II – com um total de 8 contadores - será possível a monitorização do consumo de gás em todas as Rollers e não foi considerada a supervisão de consumos na zona da estufa do forno, nem no sector de gesso, uma vez que este deverá representar apenas 3% do consumo de gás natural.

Tabela 33. Contadores de gás natural a instalar na Hipótese I

Contador nº	Sector	V máx. (m ³ /h)	DN
V 1	Forno+estufa	100	DN65
V 2	P3	10	DN40
V 3	P1 + P2	30	DN40
V 4	P4 + Incinerador	10	DN40
V 5	Rollers + Gesso	40	DN50



Tabela 34. Contadores de gás natural a instalar na Hipótese II

Contador nº	Sector	V máx. (m ³ /h)	DN
V 1	Forno	100	DN50
V 2	P3	10	DN40
V 3	P1 + P2	30	DN40
V 4	P4 + Incinerador	10	DN40
V 5	R1	10	DN40
V 6	R4	5	DN20
V 7	R5	5	DN20
V 8	R7	10	DN40

Para avaliação do investimento e uma vez que as duas hipóteses abrangem os maiores consumidores do gás natural da fábrica, considerou-se que estes corresponderiam ao total do consumo verificado em 2014 (806 796 m³N).

7.4.2. Análise preliminar do Investimento

Admitindo valores de poupança mais conservadores do que os mencionados anteriormente, designadamente uma redução de 1% no consumo eléctrico e 2% no consumo de gás natural, estimaram-se as poupanças obtidas e fez-se uma avaliação preliminar do investimento.

Tabela 35. Avaliação preliminar do investimento associado ao sistema de monitorização de consumos

Tipo de Energia	Consumo anual [tep]	Redução estimada	Poupança Estimada		Investimento [€]	Payback simples
			[tep]	[t CO ₂ e]		
Energia Eléctrica	271	1,0%	3	6	1 350 €	
Gás Natural	730	2,0%	15	39	8 786 €	
Total	1 001		17	45	10 136 €	2,0

Com esta redução, estima-se uma poupança anual de 10 136€ nos custos de energia e uma diminuição de 17 tep no consumo e 45 toneladas nas emissões de GEE. O valor do investimento é cerca 20 510 €, sendo o período de retorno de cerca de 2 anos.

O valor do investimento contempla os custos de aquisição e instalação de contadores de energia eléctrica e outros equipamentos (transformadores de intensidade, concentradores, quadro eléctrico e cabos), o custo de fornecimento de contadores de gás natural e o custo, durante 2 anos, do serviço associado ao software de Gestão de Energia.



7.5. Instalação de VEV nos ventiladores do forno

O forno está equipado com múltiplos queimadores que têm um ventilador comum.

Cada zona auto-regulada tem um servomotor para regulação do caudal de gás natural introduzido no queimador e está associada a um ventilador de ar de combustão comum. Os ventiladores do ar de combustão não têm controlo de velocidade.

Actualmente, a alimentação do gás natural aos queimadores do forno é controlada pela temperatura lida em cada zona denominada “auto-regulada”. Os ventiladores centrífugos de alimentação do ar de combustão estão sempre a debitar o caudal máximo. Assim, o caudal de ar é sempre máximo independentemente das necessidades de ar de combustão para o caudal de gás natural que é introduzido.

Na tabela seguinte, apresenta-se o número de queimadores associado a cada ventilador na zona de queima.

Tabela 36. Número de queimadores associado a cada ventilador e zona auto-regulada

Zona	Ventilador nº	nº queimadores
AR1	1	2
AR2	2	4
AR3	3	4
AR4	4	8
AR5	5	9
Total		27

Na análise dos gases de combustão, verificou-se que o excesso de ar é de 375%. De qualquer modo, embora o excesso de ar seja necessário para garantir combustão completa, os valores estimados são excessivos para o gás natural, cujos valores recomendados são de 10%.

Além disto, na prática, está a ser introduzido ar à temperatura ambiente, em particular, na zona de queima do forno, aumentando o excesso de ar e promovendo o arrefecimento daquelas zonas.

Reduzindo o excesso de ar, diminui-se o caudal do ar de exaustão e, como tal, as perdas térmicas na forma de calor sensível pelo efluente e aumenta-se a eficiência do processo de combustão. Uma vez que dois dos ventiladores, alimentam 8 e 9 queimadores, dever-se-á ter especial cuidado na redução do caudal de ar de combustão, de modo a garantir a combustão completa em todos os queimadores e a segurança do sistema de combustão.

Uma redução de 2% no caudal de ar de combustão, poderá resultar numa redução de consumo de gás natural de 5%. (Monfort, et al., 2013)



Relativamente ao consumo de energia eléctrica, efectuou-se a análise a um dos motores dos ventiladores – ventilador 4 -, cujo diagrama de carga se apresenta a seguir.

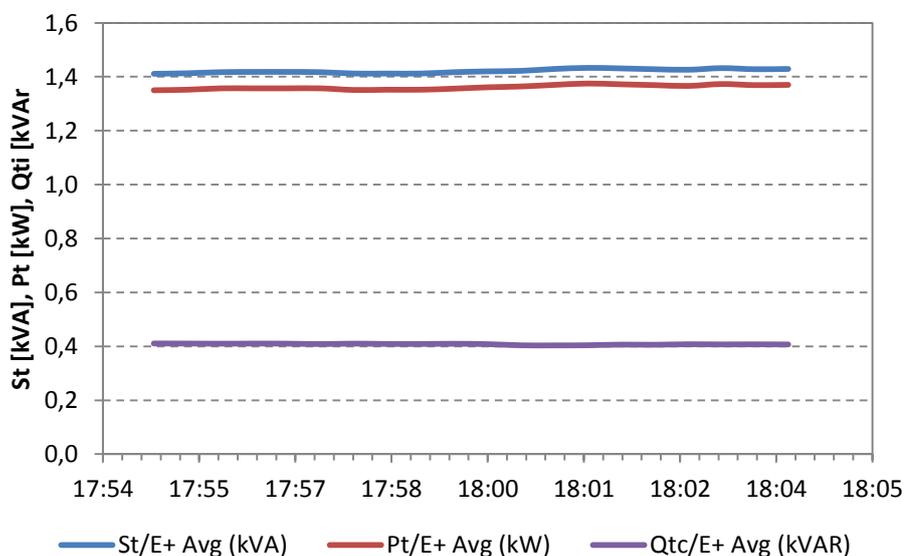


Figura 43. Diagrama de carga do ventilador do ar de combustão da zona autoregulada 4 (AR4)

Como se pode verificar a potência activa é praticamente constante ao longo da medição. A média obtida é cerca de 1,4 kW, muito próximo da potência nominal de 1,5 kW.

Assim, tendo em conta os valores anuais estimados de consumo de gás natural no forno e de energia eléctrica, determinou-se a economia prevista com a instalação de 5 ventiladores.

O valor anual estimado de consumo de gás natural no forno, contempla o consumo dos queimadores do secador, pelo que a poupança poderá estar sobreavaliada.

Foram consideradas reduções previstas mais conservadoras que as referidas anteriormente, nomeadamente, 15% de poupança na electricidade e 1% no gás natural.

Tabela 37. Avaliação preliminar do investimento associado à instalação de VEV nos ventiladores

Tipo de Energia	Consumo anual [tep]	Redução estimada	Poupança Estimada			Investimento [€]	Payback simples [anos]
			[tep]	[t CO ₂ e]	[€]		
Energia Eléctrica	2,0	15%	0,3	0,6	148 €		
Gás Natural	422,7	1%	4,2	11,3	2 543 €		
Total	424,7		4,5	12,0	2 691 €	1 724 €	0,64

A instalação de variadores de velocidade nos ventiladores do ar de combustão do forno resultaria numa redução de 4,5 tep e 12 t CO₂e. O investimento, que considera a aquisição de 5 ventiladores e acessórios, é de 1724€ e a economia anual seria de 2691€, pelo que haveria retorno do investimento em menos de 8 meses.

O gás natural contribui maioritariamente para a redução de consumo (93%).

Mais uma vez, convém salientar que os ventiladores alimentam vários queimadores, logo dever-se-á verificar se o ar alimentado será suficiente para todos os queimadores e,



consequentemente, se todos os ventiladores beneficiariam da instalação de um variador de velocidade. Dever-se-ia ainda confirmar o valor de excesso de ar obtido e, se possível, determinar o excesso de ar, há medida que se reduz o caudal de ar de combustão.

A redução do caudal de ar de combustão alimentado resultará num aumento da temperatura dos gases de exaustão. Uma vez que parte destes é aproveitado para secagem na estufa, dever-se-á ter cuidado com o seu impacto na qualidade dos produtos.



8. Conclusões

A cerâmica é uma instalação consumidora intensiva de energia, estando abrangida pelo SGCIE. Neste trabalho, foi elaborado o 2º Relatório de Execução e Progresso (REP). No ano de referência de 2010, a empresa apresentou consumos superiores a 1000 tep, sendo o consumo específico igual a 0,3840 kgep/kg e a intensidade carbónica 2,5475 kg CO_{2e}/kgep. No ano de 2014, o consumo específico e a intensidade carbónica, passaram para 0,191 kgep/kg e 2,154 kg CO_{2e}/kgep, o que corresponde a uma redução de 50,2% e 1,3%. As medidas de redução de consumos definidas no Acordo de Racionalização de Consumos de Energia (ARCE) já foram todas implementadas e as metas têm sido superadas.

No sentido de caracterizar o consumo energético da empresa, efectuou-se a análise da energia eléctrica dos principais equipamentos e estimaram-se os seus consumos térmicos.

Relativamente ao consumo de electricidade, verifica-se que, o sector da conformação, é o que apresenta maior consumo - aproximadamente 410 MWh, representando cerca de 23% do consumo total da instalação observado em 2014. Verificou-se que a instalação de variadores de frequência em alguns motores, nomeadamente na fieira, poderia trazer benefícios ao nível da redução de consumo de energia eléctrica, mas também ao nível da qualidade da pasta cerâmica, na medida em que a adaptação da velocidade à quantidade de material processada, promoveria uma mistura mais homogénea e a optimização da extracção do ar presente na pasta, reduzindo os poros presentes no sólido e prevenindo o número de defeitos e quebras, na fase de cozedura.

Embora a instalação tenha bateria de condensadores para compensação de factor de potência, verificou-se em muitas máquinas – principalmente no sector da conformação, em que o factor de potência ficou sempre abaixo dos 0,66 -, consumos elevados de energia reactiva. Um factor de potência baixo reduz o tempo de vida útil e o rendimento dos motores, conduzindo a maiores perdas nas linhas de distribuição da corrente eléctrica e obrigando a uma maior compensação das baterias de condensadores.

A desagregação de consumos térmicos por sector foi efectuada através das leituras do contador de gás natural em períodos em que determinados sectores não estavam em laboração, tendo sido usada a distribuição de consumos obtida na auditoria para efectuar a caracterização térmica por equipamento. O forno, que gasta em média 69 m³N/h, representa o maior consumo estimado com 58% do total, i.e., 468 120 m³N por ano, o equivalente a 424 tep e 1137 tCO_{2e}. A pintura contribui com 24%, seguido das máquinas Rollers com 15%.

Estas estimativas não levam em consideração a variação de consumo devido às características da produção.

Verificou-se que os equipamentos de combustão trabalham com elevados níveis de excesso de ar, face aos valores recomendados para instalações a gás natural. Foram avaliadas as perdas de calor através dos gases de exaustão dos sectores da conformação, forno e pintura e das paredes laterais do forno. Estas representam 6% do gás natural facturado em 2014. Em particular, os efluentes do sector da conformação são os que contribuem mais para as perdas na instalação – 3% do consumo total. Embora a potência térmica seja elevada, para recuperar o calor perdido seria necessário um caudal adicional de ar de secagem e, como tal, maiores custos para aquisição de ventiladores e de operação.

No que diz respeito às perdas pela envolvente do forno, estas correspondem a 0,4% do consumo térmico anual, sendo que a análise permitiu identificar as zonas do forno com piores condições de isolamento térmico e aquelas que deverão ser alvo de uma avaliação mais profunda da estrutura, para uma eventual reparação dos danos. Uma vez que há recuperação de calor do forno para a estufa do forno (secador), dever-se-ia também proceder ao isolamento dessas condutas.



Foram identificadas medidas de rentabilização da energia térmica do forno, nomeadamente, a alteração do seu regime de funcionamento para contínuo.

No cenário proposto, um aumento da produção de 17%, corresponderia a uma redução do consumo específico de gás natural do processo de cozedura de cerca de 12,4%, resultando numa redução do consumo anual de gás natural de cerca de 2,4%. Esta medida resultaria no aumento da eficiência energética do forno, trazendo poupanças nos custos de operação e manutenção. Nesta situação, deverão ser considerados ainda os custos de mão de obra adicionais, bem como, garantir a existência de stock suficiente a montante do forno e verificar eventuais constrangimentos no fluxo produtivo a jusante.

Por fim, foram avaliadas algumas medidas de redução de consumo. Verificou-se que a reparação de fugas de ar comprimido, poderia resultar em poupanças anuais de 11370 kWh e cerca de 1250€. O isolamento térmico do forno, de forma a reduzir em 5°C a temperatura média das paredes, tem um potencial de poupança de 1183 m³ de gás natural e 618€ por ano.

Foi efectuada a análise de investimento para a instalação de um sistema de monitorização de energia e aquisição de variadores de velocidade nos ventiladores do ar combustão do forno. No primeiro caso, o investimento é de 20510€ e admitindo poupanças de 1% no consumo de energia eléctrica e 2% no gás natural, haveria retorno do investimento em 2 anos, com redução de 19 tep no consumo e 49 tCO_{2e} nas emissões.

Supondo poupanças de 15% no consumo eléctrico e 1% no consumo de gás natural, devido à instalação de variadores de velocidade nos ventiladores de alimentação do ar de combustão, a redução de consumo e de emissões previstas são, respectivamente, de 4,5 tep e 12 tCO_{2e}. O total do investimento é de 1724€, sendo o período de retorno inferior a 8 meses.

Uma vez que um dado ventilador alimenta vários queimadores, será necessário garantir que a redução do caudal de ar de combustão não afecta os queimadores mais distantes, nomeadamente, desligando-os ou trabalhando com caudais insuficientes para garantir a combustão completa do gás natural.



9. Referências Bibliográficas

- Alves, L. A. 1991. *Tecnologia Química: numa perspectiva industrial de gastar dinheiro sem perder dinheiro*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1991. ISBN 972-31-0540-3.
- Calisto, H. e Martins, N. 2009. *Ferramentas Analíticas de Apoio ao Estudo de Sistemas Energéticos*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2009. Apontamentos da disciplina de Gestão de Energia.
- Canotilho, M. H. 2003. *Processos de cozedura em cerâmica*. Bragança : Instituto Politécnico de Bragança, 2003. ISBN 972-745-072-5.
- Çengel, Y. 2007. *Heat and mass transfer: a practical approach*. 3ª ed. Boston : McGraw-Hill, 2007. ISBN 978-0-07-312930-3.
- Ceramic Industry. 2002. *Ceramic Industry Magazine*. [Online] Março de 2002. [Acedido em Julho de 2015.] <http://www.ceramicindustry.com/articles/83803-drying-plaster-molds>.
- CTCV. 2012. *Plano sectorial de melhoria da eficiência energética em PME - Sector da cerâmica e do vidro*. CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro. s.l. : IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação, 2012. ISBN: 978-989-8644-01-5.
- EC. 2008. Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for Energy Efficiency. *European Commission*. [Online] 2008. [Acedido em Julho de 2015.] <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.
- EC. 2007. Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Ceramic Manufacturing Industry. *European Commission*. [Online] 2007. [Acedido em Julho de 2015.] <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.
- FIMEL. 2010. Fimel - Soluções de Pintura. [Online] Setembro de 2010. [Acedido em Setembro de 2015.] <http://www.fimel.pt/node/506>.
- Gaspar, C. 2004. *Eficiência Energética na Indústria*. s.l. : ADENE, 2004.
- IAPMEI, LNEG, Carboneutral, ADENE. 2012. *Estratégia de eficiência energética em PME*. s.l. : IAPMEI– Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação, 2012. ISBN 978-989-8644-00-8.
- Iberdrola. 2008. *Manual de Boas Práticas Energéticas*. s.l. : Iberdrola, 2008.
- Magueijo, V., et al. 2010. *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico sucinto*. s.l. : ADENE - Agência para a Energia, 2010. ISBN 978-972-8646-18-9.
- Matos, A. 2010. *Combustão de Combustíveis*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2010. Apontamentos da disciplina de Conversão de Energias Convencionais.
- Mezquita, A., et al. 2014. Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery. *Applied Thermal Engineering*. 2014, Vol. 65, pp. 102-110.
- Monfort, E., et al. 2013. Estudo da Combustão em Fornos Industriais de Fabricação de Placas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial*. 2013, Vol. 18, 2.
- Pacheco, A. P. 2000. *Técnicas de Modelação Industrial*. Caldas da Rainha : CENCAL - Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica, 2000.
- Quinteiro, P., et al. 2012. Allocation of energy consumption and greenhouse gas emissions in the production of earthenware ceramic pieces. *Journal of Cleaner Production*. 2012, Vol. 31, pp. 14-21.
- UNIDO; ECC. 1994. *Handy Manual on Ceramic Industry*. s.l. : UNIDO - United Nations Industrial Development Organization; MITI- Ministry of International Trade and Industry (Japan); ECC- Energy Conservation Center (Japan), 1994.



Anexo I

Relatório de Execução e Progresso (REP) do biénio 2013 -2014

almas

ALMAS, S.A.

Junho 2015



ÍNDICE

1. Dados da Empresa.....	84
1.1. Identificação da Empresa	84
1.2. Localização da Empresa.....	85
2. Introdução.....	85
2.1. Enquadramento SGCIE da empresa	86
3. Produção e Consumo Energético	87
3.1. Dados de Produção	87
3.2. Valor Acrescentado Bruto (VAB)	88
3.3. Caracterização dos Consumos Energéticos	88
3.3.1. Factores de conversão e de emissão	88
3.3.2. Consumos e Emissões anuais por tipo de energia.....	89
3.3.3. Consumos de energia mensais	90
3.3.4. Indicadores Energéticos.....	91
3.3.4.1. Consumo específico	91
3.3.4.2. Intensidade Carbónica.....	92
3.4. Relação entre o consumo energético e a produção	93
4. Medidas de Economia de Energia implementadas.....	94
5. Avaliação da evolução dos indicadores IE, CE e IC.....	94
6. Conclusão	95



Índice de Tabelas

Tabela 1. Metas a atingir, ao fim de 6 anos, por instalações CIE, com consumo superior a 1000 tep/ano.....	86
Tabela 2. Indicadores de referência e metas a atingir, ao fim de 6 anos nas instalações da Almas, S.A.....	87
Tabela 3. Evolução da produção mensal de vasos no ano 2014, em toneladas.	87
Tabela 4. Factores de conversão e de emissão por tipo de energia	88
Tabela 5. Consumo Energético e Emissões de GEE por tipo de energia, em 2014.....	89
Tabela 6. Consumo mensal de energia eléctrica facturado e efectivo.	91
Tabela 7. Medidas de redução de consumo de energia implementadas no biénio 2013/2014. 94	
Tabela 8. Resumo dos indicadores energéticos	94

Índice de Figuras

Figura 1. Localização das instalações da empresa cerâmica ALMAS S.A.	85
Figura 2. Evolução mensal da produção de vasos, em toneladas, em 2014.....	88
Figura 3. Consumos de energia eléctrica e gás natural em 2010 e 2014, em tep.	89
Figura 4. Evolução mensal do consumo de energia, em 2014, em tep.	90
Figura 5. Evolução mensal do Consumo Específico, em 2014, em kgep/kg.	92
Figura 6. Evolução mensal da Intensidade Carbónica, em 2014, em kgCO ₂ /kgep.....	92
Figura 7. Consumo mensal de energia, em tep, em função da produção, em toneladas, em 2014.....	93



1. Dados da Empresa

1.1. Identificação da Empresa

Nome da Empresa: ALMAS, S.A.

Logótipo:

almas

Endereço:

ALMAS SA.

3750-043 Aguada de Cima

Portugal

Lat.: N 40°30'30''

Lon.: 0 8°25'54''

Contactos:

Direcção de Produção: Ricardo Abrantes;

Telefone: +351 234666157

Fax: +351 234666633

E-mail: info@almas-design.com

Sede:

ALMAS, S.A.

3750-043 Aguada de Cima

Portugal

Ramo da Indústria em que a empresa está classificada:

CAE: 23412

NIPC 500548820



1.2. Localização da Empresa

A cerâmica ALMAS, S.A. está localizada em Aguada de Cima, Águeda.



Figura 1. Localização das instalações da empresa cerâmica ALMAS S.A. (retirado do *Google maps*)

2. Introdução

As Auditorias Energéticas, Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn) e o Relatório de Execução e Progresso (REP) em empresas industriais são efectuadas de acordo com as normas e disposições aplicáveis constantes no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de Abril, que regula o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

Segundo o Despacho nº 17449/2008, de 27 de Junho, para a avaliação do estado de implementação do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE), o Relatório de Execução e Progresso (REP) deverá apresentar informação sobre a eficiência energética da instalação com recurso aos indicadores definidos no Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn), determinados de acordo com as seguintes equações:

Intensidade Energética – IE

A Intensidade Energética é dada pelo quociente entre o consumo total de energia (C), avaliado em toneladas equivalentes de petróleo (tep), e o Valor Acrescentado Bruto (VAB) das actividades empresariais directamente ligadas à instalação industrial, em euros.

$$IE = \frac{C}{VAB} [kgep/€] \quad (4)$$



Consumo Específico – CE

O Consumo Específico resulta do quociente entre o consumo total de energia (C) e o volume de produção (P), neste caso, medido em quilogramas de produto.

$$CE = \frac{C}{P} [kgep/kg] \quad (5)$$

Intensidade Carbónica – IC

A Intensidade Carbónica (IC) é determinada pelo quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo, avaliado em quilogramas de dióxido de carbono equivalente, e o respectivo consumo total de energia (C).

$$IC = \frac{E}{C} [kg CO_2e/tep] \quad (6)$$

2.1. Enquadramento SGCIE da empresa

A cerâmica Almas, S.A. é uma instalação consumidora intensiva de energia (CIE) cujo consumo energético, no ano de referência, foi superior a 1000 tep. Assim, de acordo com o regulamento do SGCIE está sujeita a metas relativas à intensidade energética^[e], consumo específico e intensidade carbónica, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Metas a atingir, ao fim de 6 anos, por instalações CIE, com consumo superior a 1000 tep/ano.

Indicador	Fórmula	Meta de Redução
Intensidade Energética (IE)	$IE = \frac{C}{VAB} [kgep/€]$	6%
Consumo Específico (CE)	$CE = \frac{C}{P} [kgep/kg]$	6%
Intensidade Carbónica (IC)	$IC = \frac{E}{C} [kg CO_2e/kgep]$	Manter no mínimo

^[e] Valores ocultados por motivos de confidencialidade



Na tabela seguinte, apresentam-se os indicadores energéticos determinados no ARCE no ano de referência (2010), bem como, as metas a cumprir ao fim de 6 anos.

Tabela 2. Indicadores de referência e metas a atingir, ao fim de 6 anos nas instalações da Almas, S.A..

Indicador	Valor de Referência (2010)	Meta de Redução	Meta ao fim de 6 anos
Consumo Específico (CE) [kgep/kg]	0,3840	≥ 0,005	≤ 0,3610
Intensidade Carbónica (IC) [kg CO ₂ /kgep]	2,5475	≥ 0,000	≤ 2,5475

3. Produção e Consumo Energético

3.1. Dados de Produção

A Almas produz vasos, cujo volume de produção é medido em toneladas de material. A produção mensal, apresentada na Tabela , corresponde ao ano de 2014.

Tabela 3. Evolução da produção mensal de vasos no ano 2014, em toneladas.

2014	Produção (t)
Jan	408
Fev	428
Mar	539
Abr	499
Mai	548
Jun	557
Jul	567
Ago	296
Set	537
Out	548
Nov	538
Dez	331
Total	5 796
Média	483

Em 2014, a produção média mensal foi de 483 toneladas e a produção total foi de 5 796 toneladas, correspondendo a um aumento de 83,0% face ao ano de referência (2010), em que foram produzidas 3 167 toneladas.



A evolução do volume de produção mensal do ano de 2014 é apresentada na Figura .

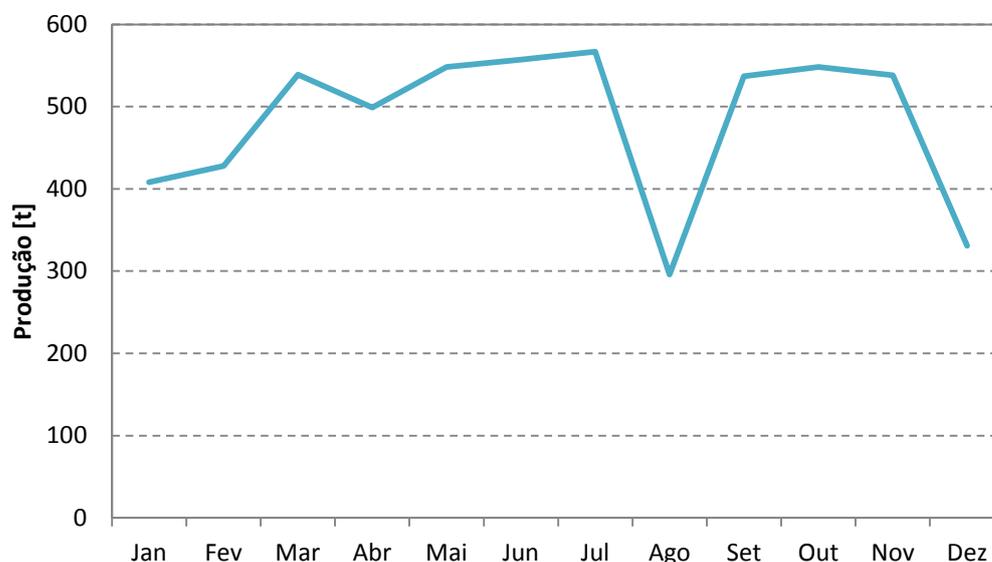


Figura 2. Evolução mensal da produção de vasos, em toneladas, em 2014.

3.2. Valor Acrescentado Bruto (VAB)

O Valor Acrescentado Bruto (VAB) a preços correntes do ano 2014, foi corrigido para preços constantes do ano de referência, tendo em conta o deflator correspondente a 1,00318.

3.3. Caracterização dos Consumos Energéticos

3.3.1. Factores de conversão e de emissão

De acordo com o Despacho nº 17313/2008, para efeitos de cálculo dos consumos energéticos e das emissões de gases com efeitos de estufa, foram considerados o factor de conversão (FC) de energia eléctrica, o poder calorífico inferior (PCI) do gás natural e os factores de emissão (FE) constantes na Tabela .

Tabela 4. Factores de conversão e de emissão por tipo de energia

Tipo de Energia	Factor	Unidade	FE [kg CO ₂ e/tep]
Energia Eléctrica	FC	0,000215 tep/kWh	2186,0
Gás Natural	PCI	1,077 tep/t	2683,7

Considerou-se ainda a massa volúmica do Gás Natural igual a 0,8404 kg/m³N.



3.3.2. Consumos e Emissões anuais por tipo de energia

A empresa consome para o processo produtivo Energia Eléctrica e Gás Natural.

Na tabela seguinte, apresenta-se o consumo energético em 2014, bem como, as respectivas emissões de gases com efeitos de estufa (GEE) por tipo de energia.

Tabela 5. Consumo Energético e Emissões de GEE por tipo de energia, em 2014.

Tipo de Energia	Consumo		Consumo [tep]	Emissões [t CO ₂ e]
Energia Eléctrica	1 756 728	[kWh]	378	826
Gás Natural	806 796	[m ³ N]	730	1 960
Total			1 108	2 785

O consumo total de energia foi de 1108 tep, em 2014, dos quais 66% correspondem a consumo de gás natural e os restantes a energia eléctrica. Comparativamente ao ano de 2010, em que se verificou um consumo total de 1216 tep, houve uma redução global de 8,9%.

As emissões de gases com efeito de estufa, em 2014, sofreram também uma redução global de 10,1% relativamente ao ano de referência (3 097 t CO₂e).

A figura seguinte compara os consumos de energia, no ano de referência e em 2014, por tipo de energia.

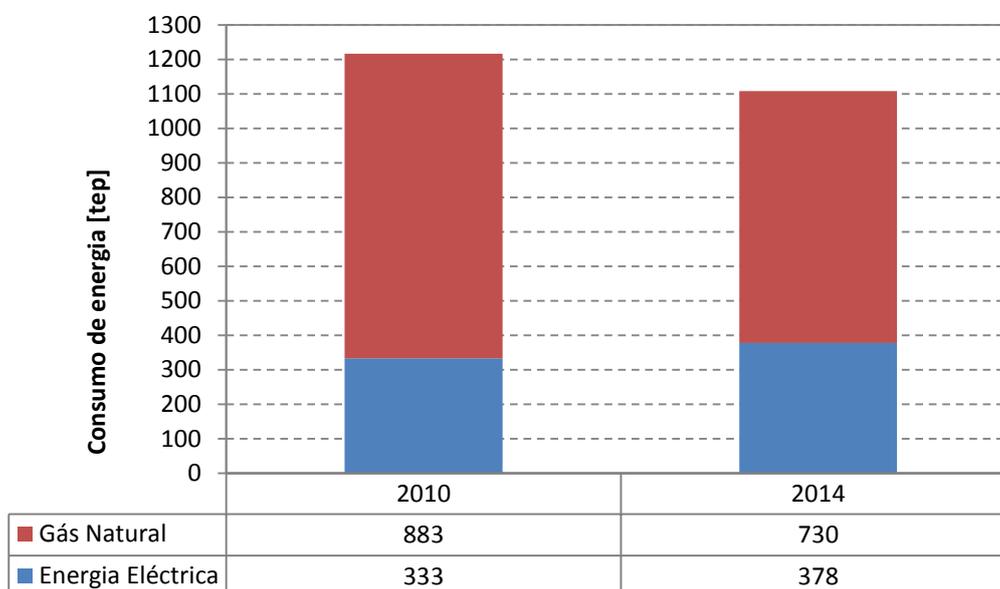


Figura 3. Consumos de energia eléctrica e gás natural em 2010 e 2014, em tep,.

Observando a figura verifica-se que, de 2010 para 2014, houve uma redução considerável do consumo de gás natural de 17,3%, passando de 883 tep para 730 tep. Quanto à energia eléctrica, houve um aumento do consumo de 13,3%, sendo 378 tep, em 2014.



De salientar que, estes resultados correspondem a um aumento na produção de 83,0% face ao ano de referência.

3.3.3. Consumos de energia mensais

Na Figura , apresentam-se os consumos energéticos mensais acumulados em 2014, por tipo de energia.

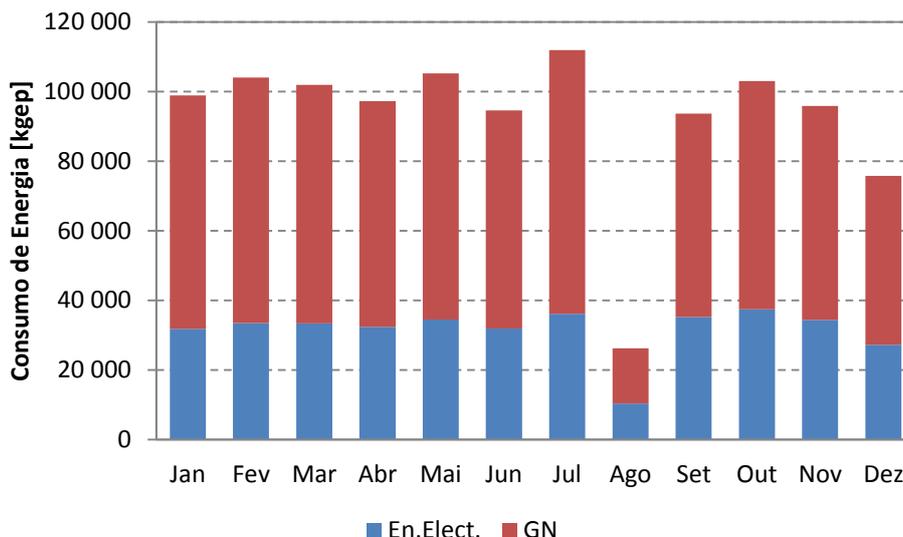


Figura 3. Evolução mensal do consumo de energia, em 2014, em tep.

O consumo mensal de energia médio foi de 97 737 kgep, representando uma diminuição relativamente ao valor de 101 375 kgep, em 2010.

De referir que, o consumo de energia eléctrica foi determinado a partir dos valores diários de potência activa obtidos na página do fornecedor de energia. Em Junho de 2014, houve uma alteração do período de facturação, correspondendo esta factura a um período de apenas 15 dias. Assim, para um maior rigor na apresentação dos resultados, quer neste mês, quer nos restantes, os consumos relativos à electricidade foram obtidos a partir do consumo efectivo (consumo com início, no 1º dia e fim, no último dia do mês) e não do consumo facturado.



Na tabela seguinte, apresenta-se o valor da factura e o valor consumido efectivamente em cada mês.

Tabela 6. Consumo mensal de energia eléctrica facturado e efectivo.

2014	Consumo facturado [kWh]	Consumo efectivo [kWh]
Jan	174 353	147 714
Fev	142 628	155 385
Mar	167 966	155 093
Abr	139 543	150 287
Mai	156 569	160 188
Jun	84 782	148 294
Jul	167 670	167 770
Ago	48 006	48 100
Set	163 463	163 561
Out	174 142	173 939
Nov	159 704	159 789
Dez	126 509	126 608
Total	1 705 335	1 756 728

3.3.4. Indicadores Energéticos

A seguir, faz-se uma análise dos dois indicadores energéticos numa base mensal, comparando-os com o valor anual para o ano de referência e com o valor objectivo em 2016.

3.3.4.1. Consumo específico

O Consumo Específico (CE) mensal, em 2014, calculado através da Eq.5, é apresentado na figura seguinte.

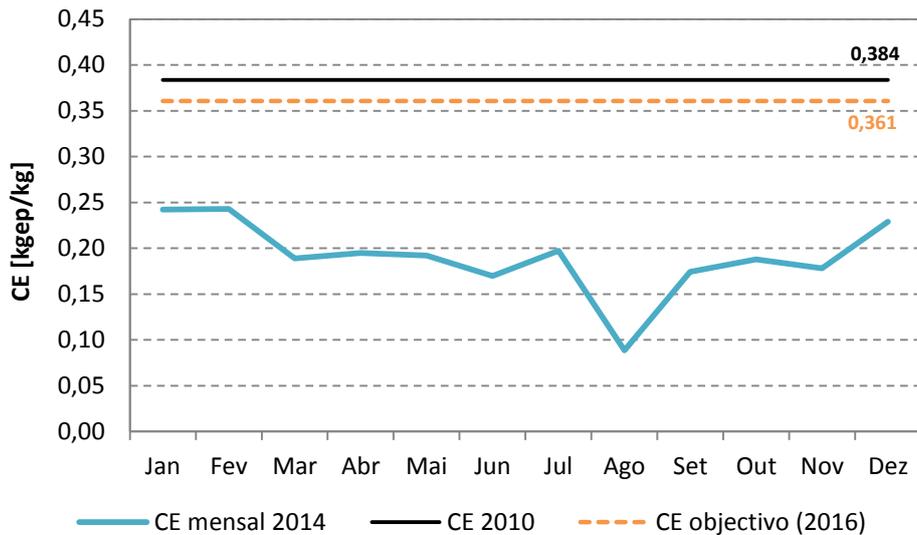


Figura 5. Evolução mensal do Consumo Específico, em 2014, em kgep/kg.

Como se pode verificar, o consumo específico mensal em 2014 manteve-se significativamente inferior ao valor obtido para 2010, bem como, ao valor objectivo definido para 2016. Comparativamente a 2010, o Consumo Específico diminuiu 50,2%, passando de 0,384 kgep/kg para 0,191 kgep/kg.

3.3.4.2. Intensidade Carbónica

A Intensidade Carbónica (IC) mensal no ano 2014 é apresentada na Figura , calculada de acordo com a Eq. 6.

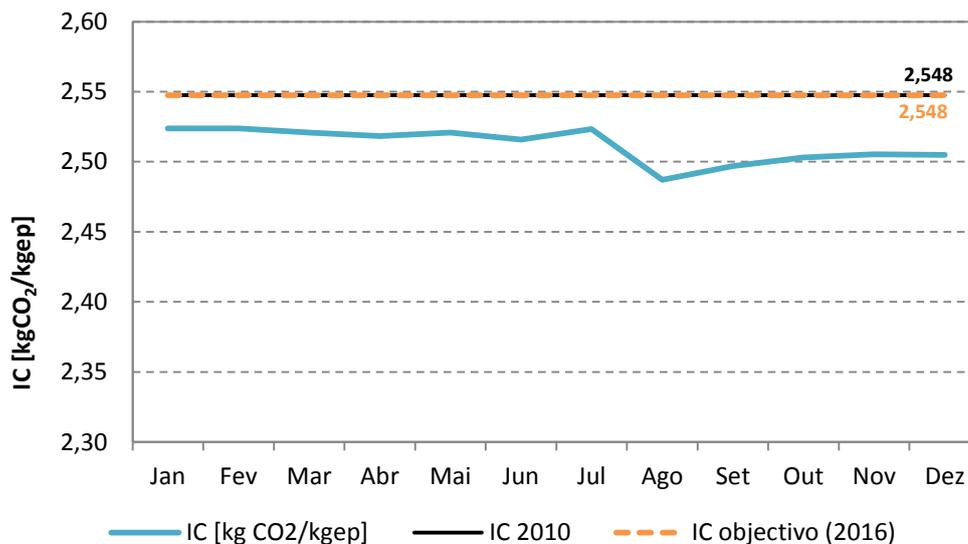


Figura 6. Evolução mensal da Intensidade Carbónica, em 2014, em kgCO₂/kgep.



Analisando o gráfico verifica-se que a intensidade carbónica mensal se manteve sempre abaixo da intensidade carbónica anual obtida em 2010.

O valor da IC em 2014 foi de 2,514 kgCO₂/kgep, tendo havido uma diminuição de 1,3% face a 2010, em que se obteve 2,548 kgCO₂/kgep.

3.4. Relação entre o consumo energético e a produção

A relação entre o consumo de energia e a produção pode ser aproximada, com maior ou menor fiabilidade, por uma função linear do tipo:

$$E = E_0 + c.P \quad (7)$$

Em que:

E – energia total consumida [kgep];

E₀ – energia consumida quando a produção é nula [kgep];

c – coeficiente de afectação da energia à produção [kgep/t];

P – produção [t].

Na Figura , apresenta-se o consumo mensal de energia em função da produção mensal, em 2014, bem como, a recta de regressão linear obtida através do Método dos Mínimos Quadrados. Uma vez que a correlação obtida em 2010 foi muito fraca ($r^2=0,0746$), em alternativa, apresentam-se os dados obtidos no REP de 2012 para comparação da evolução.

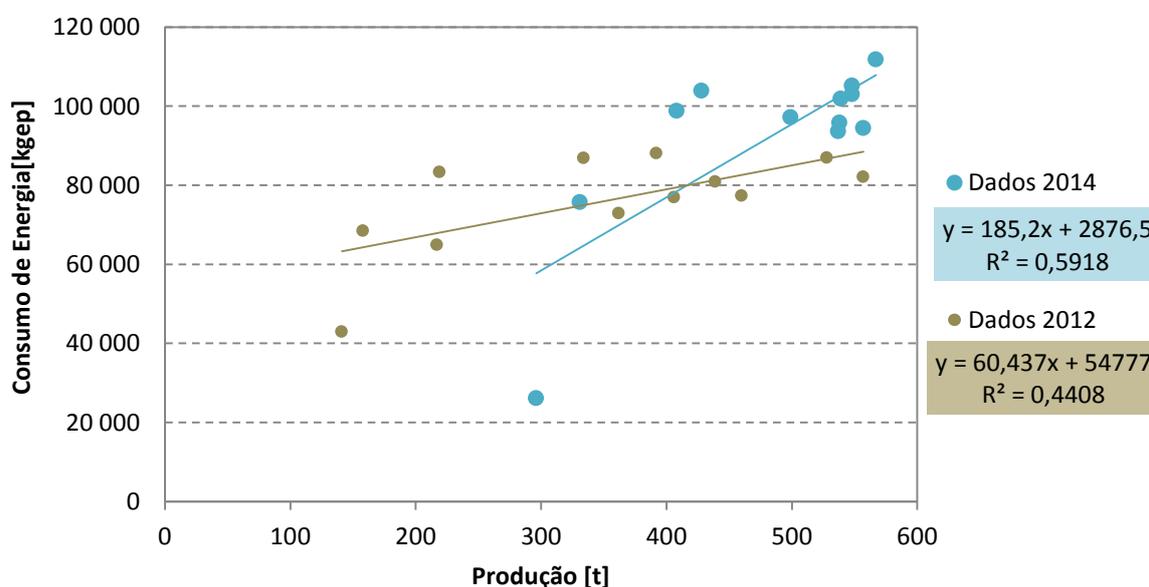


Figura 7. Consumo mensal de energia, em tep, em função da produção, em toneladas, em 2014.

Da análise do gráfico, verifica-se que relação entre o consumo de energia mensal (electricidade e gás natural) e a produção em 2014 é razoável (coeficiente de correlação,



$r^2=0,5918$), tendo em conta a variabilidade das características das peças produzidas e dos processos envolvidos.

Comparativamente a 2012, verifica-se um aumento do consumo específico de 60,4 kgep/t para 185,2 kgep/t, tendo, no entanto, os consumos energéticos fixos reduzido substancialmente de 54 777 kgep para 2 877 kgep, sugerindo um melhor aproveitamento do consumo de energia para a produção.

4. Medidas de Economia de Energia implementadas

As medidas de redução de consumo energético definidas no ARCE foram todas implementadas no biénio anterior, resultando na redução do consumo de energia global já referido.

Contudo, a empresa continuou a investir no sentido de reduzir o seu consumo energético.

Na tabela seguinte, apresentam-se as acções implementadas no biénio do presente REP.

Tabela 7. Medidas de redução de consumo de energia implementadas no biénio 2013/2014

#	Acções de redução de consumo energético	Data de implementação
1	Instalação de bateria de condensadores	Fev-2014
2	Instalação de inversor de frequência	Mai-2014
3	Instalação de inversor de frequência	Jul-2014

De referir que, a instalação da bateria de condensadores teve efeitos imediatos, tendo havido uma redução evidente da energia reactiva consumida fora de vazio, verificada nas facturas a partir de Março de 2014.

5. Avaliação da evolução dos indicadores IE, CE e IC

Os indicadores Intensidade de Energética (IE), Consumo Específico (CE) e Intensidade Carbónica (IC) tiveram todos uma redução face ao ano de referência, conforme se pode verificar na tabela seguinte.

Tabela 8. Resumo dos indicadores energéticos

Indicador	Valor de Referência (PREn 2010)	Meta ao fim de 6 anos	Valor no fim de 2014	Variação 2014/2010	
Consumo Específico (CE) [kgep/kg]	0,384	0,361	0,191	-0,193	-50,2%
Intensidade Carbónica (IC) [kg CO _{2e} /kgep]	2,548	2,548	2,514	-0,033	-1,3%



O consumo específico, em 2014, foi igual a 0,191 kgep/kg, superando significativamente as metas definidas no ARCE e registando uma diminuição de 50,2% comparativamente ao obtido em 2010 (0,384 kgep/kg). Para esta redução, contribuíram as medidas implementadas, quer neste biénio, quer no biénio anterior, que resultaram numa diminuição do consumo de gás natural de 17,3% e num aumento do consumo de energia eléctrica de apenas 13,3%, apesar do aumento da produção de 83,0%, relativamente ao ano de referência.

Quanto à intensidade carbónica houve uma redução de 1,3%, situando-se em 2,514 kg CO_{2e}/kgep e, por isso, abaixo do valor obtido em 2010 (2,548 kg CO_{2e}/kgep), cumprindo, assim, as metas acordadas.

6. Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que houve uma redução dos indicadores energéticos, superando as metas acordadas.

A implementação das medidas definidas no ARCE tiveram resultados significativos e, além disto, a empresa continuou a investir no sentido de reduzir os seus consumos de energia.

Assim, tendo em conta a evolução dos indicadores, não é necessário implementar medidas adicionais, no próximo biénio.



Anexo II. Temperaturas médias medidas nas paredes laterais do forno
 - Lado Direito -

Pré-Aquecimento

1 2 3 4 5 6 7 8

	58	43	40	40	43	40	43	43	42	45	42	39	40	41	42	44	47	43	46	50	52	57	65
56	50	42	42	42	46	43	46	47	47	46	46	38	38	39	39	41	41	43	45	47	50	54	54
34	34	36	36	36	38	42	44	46		42	43	37	37	37	36	36	36	38	40	44		55	⊗

Zona Alta (Queima)

9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

64	58	62	83	89	75	58	63	66	79	76	75	78	83	83	85	83	82	88	80	70	80	73	80	97	78	73	72	70	67
51	50	49	⊗	57	49	⊗	58	57	61	60	56	58	54	53	⊗	63	58	⊗	57	63	⊗	60	64	⊗	59	52	57	51	55
53	57	57	58	50	52	56	51	66	69	80	73	75	66	66	74	74	75	94	78	80	86	75	78	75	70	73	72	65	60
49	46	46	43	46	⊗	60	57	54		65	⊗	73	89	⊗	54	55	⊗	54	72	⊗		60	⊗	60	90	⊗	47	48	69
41	38	38	36	33	37	45	47	47		40	46	59	74	80	41	39	46	42	44	53		43	54	48	54	85	38	38	37



Arrefecimento Rápido	
19	20

73	64	65	68	90	120
63	53	57	64	68	77
42	41	42		40	39

Legenda

-  Queimadores
-  Conduas e outras estruturas

Arrefecimento Lento													
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34

79	47	51	87	78	68	49	46	42	48	44	43	51	44	50	47	44	48	65	57	53	64	40	40	58	39	40	46	41	40	39	40	35	36	37	35	38	45	37		
66	56	49	83	74	59	48	47	42	46	44	42	51	48	63	46	39	54	47	41	36	43	37	38	36	35	34	35	33	33	32	32	32	32	33	33	34	35	34		
51	60	42	41	40	37	34	36	38		37	37	36	34	33	32	30	31	29	30	30		31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	30	30		





Lado Esquerdo do Forno

Pré-Aquecimento																							
8			7			6			5			4			3			2			1		
50	52	54	50	47	49	54	49	49	48	46	47	51	50	49	45	44	44	55	67	60	56	93	92
50	57	57	46	46	47	48	46	46	45	44	44	53	53	47	46	44	44	50	54	52	51	66	68
69	56	56	51	53	⊗	45	44	44	43	43	43	52	48	43	43	44	43	41	42	42	46		



Zona Alta (Queima)																													
18			17			16			15			14			13			12			11			10			9		
65	70	73	70	80	80	95	82	77	66	76	87	88	108	98	114	105	79	63	84	79	80	76	75	71	70	70	70	65	65
50	50	53	⊗	56	61	⊗	63	57	⊗	56	62	⊗	67	63	68	60	60	⊗	79	68	⊗	58	57	56	48	50	54	51	50
53	54	58	65	61	65	91	73	61	70	63	68	81	72	70	63	60	55	77	98	72	73	56	62	59	57	55	52	50	48
62	60	57	54	70	⊗	190	170	⊗	65	65	⊗	75	74	56	60	64	⊗	99	73	60	56	58	⊗	56	62	⊗	51	49	55
47	50	49	47	58	67	90	75	51	47	48	70	48	48	60	50	52	74	62	53	49	50	52	55	47	49	52	45	47	44



Arrefecimento Rápido	
20	19

93	84	76	69	67	71
47	49	50	47	46	52
50	43	42	43	43	43

Arrefecimento Lento													
34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21

		34	36	35	36	37	36	36	39	39	37	38	42	41	39	42	39	45	58	47	42	46	41	40	42	41	36	33	41	38	35	45	47	47	47	46	51	49	50	55
←		33	33	34	34	34	35	34	34	36	35	37	36	37	37	38	41	41	45	40	40	43	41	40	42	41	36	33	37	35	35	45	45	45	48	49	52	50	53	60
		33	32	33	33	34	34	33	33	33	34	32	33	35	34	35	35	35	35	36	36	36	37	38	39	39	41	42	38	38	38	41	43	45	45	43	44	45	50	50



Anexo III. Diagrama Psicrométrico para temperaturas elevadas

