

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA



Estudo do Reaproveitamento Energético de Ar Quente numa Olaria

Ana Filipa Teixeira da Silva

Outubro de 2012

Orientação: Doutora Anabela Guedes e Engenheiro Henrique Barros

Agradecimentos

Escrever esta tese não foi um desafio solitário e, como não poderia deixar de ser, existem algumas pessoas a quem devo agradecer, por todo o auxílio que me prestaram.

Ao Engenheiro Henrique Barros, um agradecimento especial, por toda a paciência e disponibilidade para ensinar, pela orientação e apoio. Mesmo tendo atravessado um período de mudança, não deixou de estar presente sempre que lhe era possível.

À Doutora Anabela Guedes, um agradecimento pela preocupação, atenção e ajuda dispensadas ao longo do ano.

Por último, mas não menos importante, aos meus pais, irmãos e cunhado, por fazerem de mim o que hoje sou, pelo apoio incondicional desde o primeiro minuto e pelo incentivo que me deram em momentos menos positivos, a minha profunda gratidão. Ao meu namorado Pedro, pela confiança e calma que me transmite, por todo o apoio e paciência, um agradecimento muito especial.

À minha amiga de todas as horas Maria João, obrigada pela companhia ao longo de toda esta caminhada.

Resumo

Como o sector cerâmico é um consumidor intensivo de energia, este trabalho teve como objectivo principal a elaboração de um plano de optimização do desempenho energético da olaria número três da Fábrica Cerâmica de Valadares. Para o efeito, efectuou-se o levantamento energético desta fracção autónoma. O valor total obtido para os ganhos térmicos foi de $8,7 \times 10^7$ kJ/dia, sendo 82% desta energia obtida na combustão do gás natural. Por outro lado, as perdas energéticas rondam os $8,2 \times 10^7$ kJ/dia, sendo o ar de exaustão e a envolvente os principais responsáveis, com um peso de 42 % e 38%, respectivamente. Tendo em conta estes valores, estudaram-se várias medidas de isolamento da cobertura, pavimento, paredes e saída de ar através de fendas do edifício.

No caso do isolamento da cobertura sugeriu-se a substituição das telhas de fibrocimento e do isolamento actualmente existentes por painéis *sandwich* de cobertura. Esta acção permite uma poupança de 64.796€/ano, com um investimento de 57.029€ e o seu período de retorno de 0,9 anos. O Valor Actualizado Líquido (VAL) no 5º ano foi de 184.069€, com uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 92%.

Para isolar o pavimento, sugeriu-se a utilização de placas de poliuretano expandido (PU) de 20mm de espessura. Assim, consegue-se uma poupança de 7.442 €/ano, com um investimento de 21.708€, e um tempo de retorno 2,9 anos. No final do 5º ano de vida útil do projecto, o VAL é de 4.070€ e a TIR 7%.

Relativamente ao isolamento das paredes e pilares, sugeriu-se a utilização de placas de PU (30mm), recobertas com chapa de ferro galvanizado. O tempo de retorno do investimento é de 1,5 anos, uma vez que, o investimento é de 13.670€ e a poupança anual será de 9.183€. Esta solução apresenta no último ano um VAL de 12.835€ e uma TIR de 22%.

No isolamento das fendas do edifício, sugeriu-se a redução de 20% da sua área livre. Esta medida de optimização implica um investimento de 8.000€, revelando-se suficientemente eficaz, pois apresenta um tempo de retorno de 0,67 anos. O VAL e a TIR da solução no último ano de vida útil do projecto de investimento são de 36.835€ e 35%, respectivamente.

Por fim, sugeriu-se ainda a instalação de um sistema de controlo que visa o aproveitamento de ar quente proveniente do forno, instalado no piso inferior à olaria, para pré-aquecer o ar alimentado aos geradores de calor. Esta medida implicaria um investimento de 4.000€, com um tempo de retorno de 2,4 anos e uma poupança anual é de 1.686€. O investimento é aconselhável, já que, no 5º ano, o VAL é de 1.956€ e a TIR é de 17%.

Palavras- Chave: Cerâmica, consumo energético, optimização energética.

Abstract

As the ceramic sector is an intensive consumer of energy, this study had as main objective the development of a plan for optimizing energy performance in the number three pottery of the Fábrica Cerâmica de Valadares. For this purpose, an energetic study of this autonomous section was carried out. It was determined that the gains amount to $8,7 \times 10^7$ kJ/day, with 82% of this energy being obtained by combustion of natural gas. On the other hand, energy losses are around $8,2 \times 10^7$ kJ/day, with the exhaust air and the surroundings being the principal causes of energy loss, at 42% and 38%, respectively. Considering these values, a number of measures were studied for optimizing the insulation of the roof, floor, walls and the air leaving through cracks in the building.

In the case of the roof insulation, it was suggested that the fiber cement tiles and existing isolation should be replaced with sandwich type panels. This action allows a saving of 64.796 €/year, with an investment of 57.029€, giving a return on 0,9 years. The Net Present Value (NPV) on the fifth year was 184.069€, with an Internal Rate of Return (IRR) of 92%.

To insulate the floor the use of 20mm expanded polyurethane boards (EP) was suggested. In this way a saving of 7.442 €/year may be achieved, with an investment of 21.708 €, and a payback period of 2,9 years. At the end of the fifth year of the project's life span, the NPV is 4.070€ and the IRR is 7%.

For the insulation of walls and pillars, the use of 30mm expanded PU boards, covered with galvanized iron plates, was suggested. The return on investment time is 1,5 years, since the initial investment is 13.670€ and the annual saving will be 9.183€. In the final year this solution presents an NPV of 12.835€ and an IRR of 22%.

For insulating the cracks in the building, the suggestion was to reduce the free area by 20%. This optimization measure implies an investment of 8.000€, and proved to be sufficiently effective, because it presents a turnaround time of 0,67 years. The NPV and IRR of this solution, in the last year of life of the investment project, are 36.835€ and 35%, respectively.

Finally, it was also suggested that a control system should be installed, with the aim of using the hot air from the oven, placed below the kiln floor, to preheat the air fed to the heat generators. This would require an investment of 4.000€ with a turnaround time of 2,4 years and an annual saving of 1.686€. The investment is advisable since in the fifth year the NPV is 1.956€ and IRR is 17%.

Keywords: Ceramics, energy consumption, energy optimization.

Índice Geral

	Página
1. Introdução	1
1.1 A Indústria Cerâmica	1
1.1.1 Capacidade produtiva no país e no mundo	4
1.1.2 Os materiais cerâmicos e as novas tecnologias	6
1.2 A Fábrica Cerâmica de Valadares	9
1.2.1 O processo de fabrico	11
1.3 O Consumo de Energia na Indústria	15
1.4 Combustão do Gás Natural	20
1.5 Objectivos do Trabalho	23
2. Levantamento Energético da Olaria	25
2.1 Indicadores de Desempenho Energético	25
2.2 Estudo do Comportamento Térmico	26
2.2.1 Envolvente Interna e Externa	30
2.2.2 Circulação de Ar Parasita	32
2.2.3 Inércia Térmica	34
2.2.4 Geração Interna de Calor	35
2.2.5 Combustão do Gás Natural	36
2.2.6 Barbotina e Peças	39
2.3 Balanços de Massa	40
2.3.1 Balanço de Massa ao Ar Húmido	40
2.3.2 Balanço de Massa à Água	41
2.4 Análise dos Resultados Obtidos	43
3. Optimização Energética	45
3.1 Identificação de Medidas	45
3.2 Análise da Implementação das Medidas de Optimização	48
3.2.1 Medidas de Optimização para a Cobertura	48
3.2.2 Medidas de Optimização para o Pavimento	50
3.2.3 Medidas de Optimização para Paredes e Pilares	52
3.2.4 Medidas de Optimização para a Circulação de Ar Parasita	53
3.2.5 Sistema de Controlo	54
3.3 Análise dos Indicadores Económicos	56

3.4 Selecção das Medidas de Optimização Mais Favoráveis	62
4. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	63
Bibliografia	67
Anexos	69
Anexo A. Levantamento Dimensional da Olaria	71
Anexo B. Fluxos térmicos através dos vãos envidraçados e envolvente opaca	77
Anexo C. Fluxos térmicos associados à renovação do ar	85
Anexo D. Consumos Energéticos dos Geradores de Calor	91
Anexo E. Características Térmicas dos Materiais de Isolamento	95
Anexo F. Exemplo de Cálculo da Análise Económica	103

Índice de Tabelas

	Página
Tabela 1.1 - Definições dos sub – sectores cerâmicos [2]	3
Tabela 1.2 - Actuais e futuros produtos onde se aplicam materiais cerâmicos avançados [7]	7
Tabela 1.3 - Composição química e propriedades físico-químicas do gás natural da Argélia [16]	20
Tabela 2.1 - Classes de inércia térmica interior [14]	26
Tabela 2.2 - Levantamento dimensional das paredes	28
Tabela 2.3 - Levantamento dimensional total dos vãos envidraçados	29
Tabela 2.4 - Valores da área da cobertura inclinada da olaria	29
Tabela 2.5 - Perda térmica através da envolvente interior e exterior	31
Tabela 2.6 - Ganhos solares totais da olaria	31
Tabela 2.7 - Ganho térmico com a entrada de ar novo na olaria	32
Tabela 2.8 - Perda térmica com a exaustão de ar na olaria	33
Tabela 2.9 - Inércia térmica dos elementos de construção	34
Tabela 2.10 - Inércia térmica dos elementos interiores	35
Tabela 2.11 - Geração interna de calor na olaria	36
Tabela 2.12 - Rendimento dos geradores de calor	38
Tabela 2.13 - Energia associada à entrada da barbotina na olaria	39
Tabela 2.14 - Energia associada à saída das peças da olaria	39
Tabela 2.15 - Fluxos de saída de energia na Olaria	43
Tabela 2.16 - Fluxos de entrada de energia na Olaria	43
Tabela 3.1 - Descrição das soluções de melhoria sugeridas	46
Tabela 3.2 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 1 para a cobertura	49
Tabela 3.3 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 2 para a cobertura	49
Tabela 3.4 - Análise económica da solução de melhoria óptima para a cobertura	50
Tabela 3.5 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 1 para o pavimento	51
Tabela 3.6 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 2 para o pavimento	51
Tabela 3.7 - Análise económica da solução de melhoria intermédia para paredes e pilares	52
Tabela 3.8 - Análise económica da solução de melhoria óptima para paredes e pilares	53
Tabela 3.9 - Análise económica da solução de isolamento dos locais de saída de ar parasita	53
Tabela 3.10 - Estudo da implementação do sistema de controlo	54
Tabela 3.11 – Análise económica do sistema de controlo	55
Tabela 3.12 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 1 para a cobertura	57

Tabela 3.13 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 2 para a cobertura	57
Tabela 3.14 - Estudo do VAL e da TIR da solução óptima para a cobertura	58
Tabela 3.15 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 1 para o pavimento	58
Tabela 3.16 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 2 para o pavimento	59
Tabela 3.17 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia para as paredes e pilares	59
Tabela 3.18 - Estudo do VAL e da TIR da solução óptima para as paredes e pilares	60
Tabela 3.19 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia para as saídas de ar parasita	60
Tabela 3.20 - Estudo do VAL e da TIR do sistema de controlo	61
Tabela 3.21 - Custos anuais das perdas pelos elementos de construção	62
Tabela 3.22 - Estudo da implementação das medidas de optimização nos elementos de construção	62
Tabela A.1 - Levantamento dimensional das janelas	71
Tabela A.2 - Levantamento dimensional das portas	74
Tabela A.3 - Ângulos de inclinação das duas zonas da cobertura da olaria	75
Tabela B.1 – Condutividades térmicas dos materiais de construção	78
Tabela B.2 - Folha de Cálculo FCIV.1a [13]	79
Tabela B.3 - Folha de Cálculo FCIV.1b [13]	80
Tabela B.4 - Folha de Cálculo FCIV.1c [13]	81
Tabela B.5 - Folha de Cálculo FCV.1c [13]	82
Tabela B.6 - Folha de Cálculo FCIV.1e [13]	83
Tabela C.1 - Valores de temperaturas de ar consideradas e respectivas massas volúmicas	85
Tabela C.2 - Contabilização das correntes de ar novo da olaria	85
Tabela C.3 - Contabilização das correntes de ar de exaustão na olaria	86
Tabela C.4 - Valores de referência da massa das peças monitorizadas em cozido	86
Tabela C.5 - Variação da massa da peça em grés ao longo do processo produtivo	87
Tabela C.6 - Variação da massa da peça em vítreos ao longo do processo produtivo	88
Tabela D.1 - Consumo dos geradores de calor da olaria no ano de 2011	91
Tabela D.2 - Registo do consumo médio de gás natural por peça e das temperaturas médias mensais no ano de 2011	92
Tabela D.3 - Combustão do gás natural da Argélia	93
Tabela D.4 - Energia perdida nos gases de combustão dos geradores	93
Tabela E.1 - Características da cobertura com a solução de melhoria intermédia 1	95
Tabela E.2 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia 1 - Cobertura) [13]	96
Tabela E.3 - Características da cobertura com a solução de melhoria intermédia 2	96
Tabela E.4 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia 2 - Cobertura) [13]	96

Tabela E.5 - Características da cobertura com a solução de melhoria ótima	97
Tabela E.6 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Ótima - Cobertura) [13]	97
Tabela E.7 - Características do pavimento com a solução de melhoria intermédia 1	98
Tabela E.8 - Folha de Cálculo FCIV.1b (Solução Intermédia 1 - Pavimento) [13]	98
Tabela E.9 - Características do pavimento com a solução de melhoria intermédia 2	99
Tabela E.10 - Folha de Cálculo FCIV.1b (Solução Intermédia 2 - Pavimento) [13]	99
Tabela E.11 - Características das paredes e pilares com a solução de melhoria intermédia	100
Tabela E.12 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia – Paredes e pilares) [13]	100
Tabela E.13 - Características das paredes e pilares com a solução de melhoria ótima	101
Tabela E.14 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Ótima – Paredes e pilares) [13]	102

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.1 - Forno de túnel utilizado na indústria cerâmica	2
Figura 1.2 - Receitas geradas pela produção de cada sector entre 2005 e 2010, na UE [6]	5
Figura 1.3 – Distribuição da produção entre 2005 e 2010, na UE [6]	5
Figura 1.4 - Entrada principal da Fábrica Cerâmica de Valadares	9
Figura 1.5 - Produto produzido com Gresanit [®]	10
Figura 1.6 - Urinol sem água <i>Hello</i>	11
Figura 1.7 - Etapas da concepção de um produto	12
Figura 1.8 - Cesta utilizada no transporte dos sanitários	13
Figura 1.9 - Distribuição do consumo energético em Portugal no ano de 2008	15
Figura 1.10 - Distribuição do consumo de gás natural nos fornos em 2011	18
Figura 1.11 - Distribuição do consumo de gás natural nos geradores de calor em 2011	18
Figura 1.12 - Distribuição do consumo de gás natural nas estufas em 2011	19
Figura 2.1 - Localização do edifício em estudo [17]	27
Figura 2.2 - Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior	37
Figura 2.3 - Diagrama da circulação diária de ar húmido na olaria	40
Figura 2.4 - Diagrama da circulação diária de vapor de água na olaria	41
Figura 3.1 - Perdas térmicas registadas na Olaria	45
Figura 3.2 - Chaminé do forno da olaria	47
Figura A.1 - Planta do piso 1	72
Figura A.2 - Corte frontal do edifício	73
Figura A.3 - Distinção entre as duas zonas inclinadas da cobertura	74

Nomenclatura

A – Área dos elementos da envolvente (m^2);

A_{Parede} – Área das paredes (m^2);

$A_{\text{Parede Tipo II}}$ – Área da zona de pilar e viga (m^2);

A_{Portas} – Área das portas (m^2);

$C_{\text{Conservação}}$ – Custos de conservação (€);

CF – Cash-flow (€);

CFA – Cash-flow actualizado (€);

$CF_{\text{Acumulado}}$ – Cash-flow acumulado (€);

$C_{\text{Investimentos}}$ – Custos de Investimento (€);

$Cp_{\text{Água}}$ – Capacidade calorífica da água (kJ/kgK);

Cp_{Ar} – Capacidade calorífica do ar (kJ/kgK);

Cp_{GC} – Capacidade calorífica dos gases de combustão (kJ/kgK);

Cp_i – Capacidade calorífica do elemento i , interveniente na inércia térmica (kJ/kg.K);

Cp_{Pasta} – Capacidade calorífica da pasta (kJ/kg.K);

$Cp_{\text{Porcelana}}$ – Capacidade calorífica da porcelana (kJ/kgK);

$F_{\text{Actualização}}$ – Factor de actualização;

FCV – Fábrica Cerâmica de Valadares;

H_A – Humidade absoluta ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Ar Seco}}$);

i – Taxa de actualização ou desconto (%);

I_t – Massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento (kg/m^2);

$m_{\text{Água Ar}}$ – Caudal mássico de vapor de água no ar (kg/s);

$m_{\text{Ar Combustão}}$ – Caudal mássico de ar admitido nos geradores de calor (kg/dia);

$m_{\text{Ar de Exaustão}}$ – Caudal mássico de ar de exaustão da olaria (kg/s);

$m_{\text{Ar Novo}}$ – Caudal mássico de ar novo a entrar na olaria (kg/s);

$m_{\text{Ar Recirculado}}$ – Caudal mássico de ar recirculado (kg/h);

$M_{Ar\ Recirculado}$ – Massa de ar recirculado diariamente (kg/dia);

$m_{Ar\ Seco}$ – Caudal mássico de ar seco (kg/s);

M_{CO_2} – Massa de Dióxido de Carbono nos gases de combustão (kg);

m_{GC} – Caudal mássico de gases de combustão (kg/dia);

m_{GN} – Caudal mássico de gás natural consumido nos geradores de calor (kg/dia);

$m_{GN\ Consumido}$ – Caudal mássico de gás natural consumido com a situação actual (kg/dia);

$m_{GN\ Poupado}$ – Caudal mássico de gás natural poupado com a medida de optimização implementada (kg/dia);

M_{H_2O} – Massa de vapor de água nos gases de combustão (kg);

$M_{Humidade}$ – Massa de água evaporada no ar de combustão (kg);

$M_{Média\ Peça}$ – Massa média das peças produzidas na olaria (kg);

M_{N_2} – Massa de Azoto nos gases de combustão (kg);

M_{O_2} – Massa de Oxigénio nos gases de combustão (kg);

$M_{Pasta\ por\ peça}$ – Massa de pasta injectada por cada peça produzida (kg);

M_{si} – Massa superficial útil de cada elemento i , interveniente na inércia térmica (kg/m^2);

$m_{Vapor\ Ar\ Novo\ Saída}$ – Caudal mássico de vapor de água do ar novo que sai da olaria (kg/dia);

n – Período de tempo (Anos);

PCI – Poder Calorífico Inferior (kJ/kg);

PCS – Poder Calorífico Superior (kJ/kg);

PU – Poliuretano;

$Q_{Ar\ Recirculado}$ – Conteúdo energético do ar recirculado (kJ/dia);

$Q_{Ar\ Seco}$ – Conteúdo energético do ar seco (kJ/dia);

$Q_{Elementos\ Construção}$ – Energia absorvida pelos elementos de construção (kJ/dia);

$Q_{Equivalente}$ – Energia equivalente à poupada, tendo em conta o rendimento dos geradores de calor (kJ/dia);

Q_{GC} – Energia contida nos gases de combustão (kJ/dia);

Q_{GN} – Energia produzida pela combustão do gás natural (kJ/dia);

$Q_{H.Restante\ do\ Ar\ Novo}$ – Conteúdo energético da humidade do ar novo que sai da olaria (kJ/dia);

-
- $Q_{\text{Humidade Ar}}$ – Conteúdo energético da humidade no ar (kJ/dia);
- Q_{Interior} – Energia absorvida pelos elementos no interior da olaria (kJ/dia);
- Q_{Pasta} – Energia contida na barbotina à entrada da olaria (kJ/dia);
- $Q_{\text{Peças}}$ – Energia contida nas peças à saída da olaria (kJ/dia);
- Q_{Poupada} – Energia poupada com a adopção das medidas de optimização (kJ/dia);
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
- R_{Total} – Resistência térmica total ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
- S_i – Área da superfície interior do elemento i , interveniente na inércia térmica (m^2);
- T_{Ambiente} – Temperatura média entre as condições extremas da olaria ($^\circ\text{C}$);
- T_{final} – Temperatura do elemento após absorver a energia de aquecimento ($^\circ\text{C}$);
- $T_{\text{Funcionamento diário}}$ – Tempo de funcionamento diário (h);
- T_{GC} – Temperatura dos gases de combustão ($^\circ\text{C}$);
- T_{inicial} – Temperatura do elemento antes de absorver a energia de aquecimento ($^\circ\text{C}$);
- $T_{\text{Interior Olaria}}$ – Temperatura ambiente no interior da olaria ($^\circ\text{C}$);
- TIR – Taxa Interna de Rentabilidade (%);
- $T_{\text{Média Ar Recirc.}}$ – Temperatura média do ar recirculado ($^\circ\text{C}$);
- $T_{\text{Média dos Gases}}$ – Temperatura média dos gases de combustão dos geradores de calor ($^\circ\text{C}$);
- Tot._{GC} – Total de gases de combustão ($\text{kmol}_{\text{componente}}/\text{kg}_{\text{combustível}}$);
- U – Coeficiente global de transferência de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$);
- UE – União Europeia;
- VAL – Valor Actualizado Líquido (€);
- $V_{\text{Ar Debitado}}$ – Caudal volúmico de ar debitado pela válvula do sistema de controlo (m^3/h);
- $V_{\text{Ar Exaustão}}$ – Caudal volúmico de ar de exaustão da olaria (m^3/s);
- $V_{\text{Ar Novo}}$ – Caudal volúmico de ar novo a entrar na olaria (m^3/s);
- $V_{\text{GN Consumido}}$ – Volume de gás natural consumido diariamente com a situação actual (m^3/dia);
- $V_{\text{GN Poupado}}$ – Caudal volumétrico de GN poupado (m^3/dia);

Letras Gregas

% (m/m) – Percentagem mássica de componente (%);

% Vol. – Percentagem volúmica (%);

α – Ângulo de inclinação da cobertura ($^{\circ}$);

ΔT – Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

$\eta_{\text{Geradores}}$ – Rendimento dos geradores de calor (%);

$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ – Média do rendimento dos geradores de calor (%);

λ – Calor latente de vaporização da água (kJ/kg);

ρ_{Ar} – Massa volúmica do ar (kg/m^3);

τ – Coeficiente da diferença entre a temperatura interior e a temperatura do local não aquecido pela diferença entre a temperatura interior e a temperatura ambiente exterior;

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica ($\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$);

1. Introdução

Em sectores como o dos transportes e indústria, o consumo de energia é uma preocupação cada vez mais premente, por serem os que possuem maior factura energética. A indústria cerâmica não é uma excepção, uma vez que, devido ao seu processo produtivo, é considerada um consumidor intensivo de energia.

Neste capítulo, faz-se um breve enquadramento da indústria cerâmica, revelando-se dados acerca da sua produtividade, diversidade de oferta de materiais e processo evolutivo do sector, ao longo dos últimos anos.

Posteriormente, abordam-se aspectos particulares da Fábrica Cerâmica de Valadares (FCV), tais como o seu processo produtivo e política da empresa. Este capítulo termina com um ponto de situação relativamente ao panorama do consumo energético em Portugal.

1.1 A Indústria Cerâmica

Os cerâmicos são materiais inorgânicos, não-metálicos que através da aplicação de calor são consolidados, adquirindo as propriedades desejadas. O manuseamento de materiais cerâmicos é já uma prática muito antiga, no entanto, só o desenvolvimento de determinadas técnicas é que permitiram a sua afirmação enquanto indústria.

Nomeadamente, a invenção do forno proporcionou avanços revolucionários nas indústrias, como a metalúrgica, cerâmica e vítrea. Actualmente a aplicação de calor é realizada no interior de fornos de elevadas temperaturas, durante longos tempos de residência, sendo isto o que transforma a indústria cerâmica numa consumidora intensiva de energia.

Na figura 1.1 encontra-se um exemplar de um forno de túnel, semelhante aos existentes na Fábrica Cerâmica de Valadares. No entanto, existem diversos tipos de fornos, podendo funcionar contínua ou intermitentemente, de acordo com o produto ou as características da matéria-prima.



Figura 1.1 - Forno de túnel utilizado na indústria cerâmica.

Sendo talvez uma das áreas mais antigas da indústria, este sector assume um papel preponderante na estrutura económica da comunidade europeia [1].

Actualmente, a sua actividade gera cerca de 350.000 postos de emprego um pouco por toda a União Europeia, estando a sua maioria associada às pequenas médias empresas.

De uma forma geral, pode afirmar-se que este sector se divide em diversos sub-sectoros, tal como o sector dos azulejos e pavimentos cerâmicos, o dos tijolos e telhas, louças e porcelana decorativa, produtos refractários, sanitários, tubos de barro vitrificados e cerâmica técnica. Estes constituem a categoria da cerâmica tradicional [2].

Na tabela 1.1 encontra-se o registo das definições dos sub-sectoros da indústria cerâmica acima referidos.

Relativamente às indústrias tradicionais, a escolha da localização é baseada na disponibilidade da matéria-prima e do combustível, devido à sua forte dependência por ambos. Assim, as principais concentrações geográficas destes produtores encontram-se em Limoges (França), em Stoke-on-Trent (Inglaterra), no Ohio (Estados Unidos), na Baviera e Rhineland (Alemanha) e em Faenza (Itália) [3].

Tabela 1.1 - Definições dos sub – sectores cerâmicos [2].

Sub – sector	Definição
Louças e porcelanas decorativas	<ul style="list-style-type: none"> • Louça, outros artigos de uso doméstico, objectos de ornamentação, potes, recipientes; • Utensílios de cozinha, para uso doméstico; • Estatuetas e outros objectos de ornamentação.
Sanitários	<ul style="list-style-type: none"> • Pias, lavatórios, colunas para lavatórios, banheiras, bidés, autoclismos, urinóis, entre outros.
Cerâmica técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Isolantes cerâmicos; • Utensílios para laboratório, indústria química ou outros usos técnicos.
Tubos de barro	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos cerâmicos, condutas, calhas e acessórios para instalação de tubulação.
Produtos cerâmicos expandidos	<ul style="list-style-type: none"> • Tijolos, blocos, telhas e outras peças cerâmicas siliciosas.
Produtos refractários	<ul style="list-style-type: none"> • Tijolos, blocos, telhas e similares de cerâmica refractária para construção; • Utensílios cerâmicos refractários tais como cadinhos, muflas, tampões, suportes, entre outros.
Azulejos e pavimentos cerâmicos	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos, lareiras ou azulejos de parede, mosaicos cerâmicos sem vitrificar; • Pavimentos, lareiras, azulejos de parede, mosaicos, pastilhas ou similares vitrificados.
Tijolos e telhas	<ul style="list-style-type: none"> • Tijolos para construção, blocos para pavimentação, cerâmicos de suporte ou enchimento; • Telhas para coberturas de telhados e chaminés, ornamentos arquitectónicos e outros materiais cerâmicos para construção.

1.1.1 Capacidade produtiva no país e no mundo

O *design* único dos seus produtos, bem como a sua qualidade, tornou a indústria cerâmica europeia líder mundial na produção de valor acrescentado. Com processos de fabrico flexíveis e inovadores, o seu volume anual de negócios ronda os 30 biliões de euros, o correspondente a cerca de 25% da produção mundial.

Uma parte desta percentagem produtiva (cerca de 30%) é destinada à exportação para o mercado externo à União Europeia, o que contribui para um considerável aumento da competitividade no sector, seja no mercado interno ou externo.

No entanto, na última década, o sector não ficou imune às alterações dos mercados e foi notavelmente afectado pelo aparecimento dos produtos de baixo custo provenientes de países emergentes como a China, o Brasil, a Índia e os Emirados Árabes Unidos [4].

O impacto destes produtos no mercado foi de tal forma considerável que em 2010, segundo dados da *European Ceramic Industry Association*, o *ranking* dos principais fabricantes de telha foi liderado por uma empresa sediada nos Emirados Árabes Unidos, com 117 milhões de metros quadrados de telha produzida.

Porém, observa-se uma tendência distinta quando o sector é encarado relativamente à geração de receitas onde, no mesmo ano, o segundo e o terceiro lugar pertencem ao grupo espanhol Roca e ao italiano Marazzi, respectivamente.

Centrando particularmente as atenções no sector sanitário, objecto de estudo nesta dissertação, em 2010 o mercado mundial foi liderado pelo grupo Roca, com uma produção de cerca de 32,5 milhões de peças, seguindo-se as americanas Ideal Standard e Kohler, com uma produtividade equivalente a 21 milhões de peças [5].

Na figura 1.2 encontram-se os valores das receitas geradas, na UE, pela produção de cada sector da indústria cerâmica, entre 2005 e 2010, segundo a *European Ceramic Industry Association*.

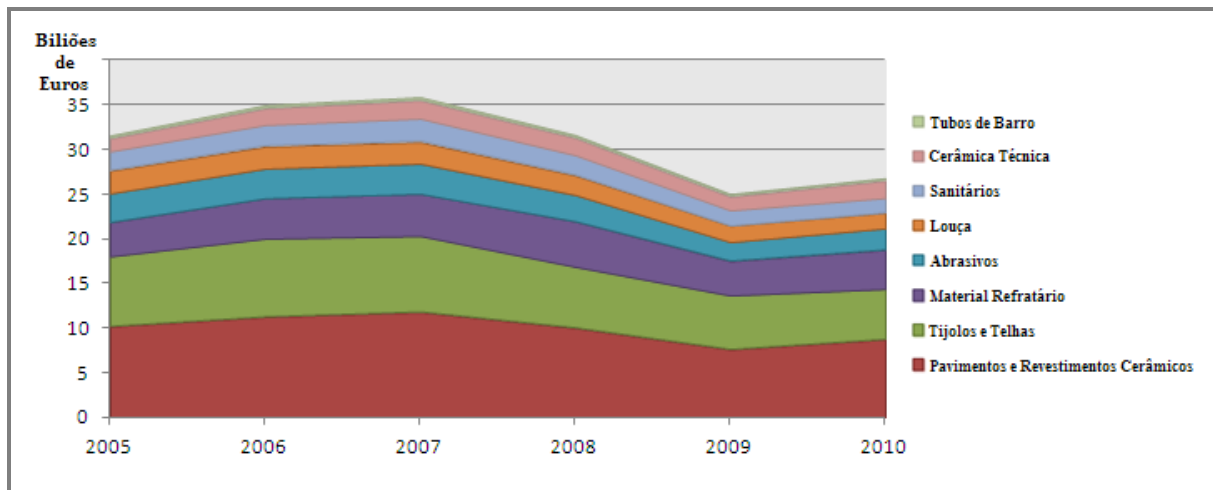


Figura 1.2 - Receitas geradas pela produção de cada sector entre 2005 e 2010, na UE [6].

Os dados da figura 1.2 vêm comprovar que, muito embora nos últimos anos tenha sofrido um decréscimo de produtividade, de facto a indústria cerâmica ainda é responsável pela geração de uma fatia considerável de valor acrescentado na União Europeia.

Ainda, no seguimento da figura 1.2, pode determinar-se a distribuição da produção por cada sector, cuja representação gráfica se encontra na figura 1.3.

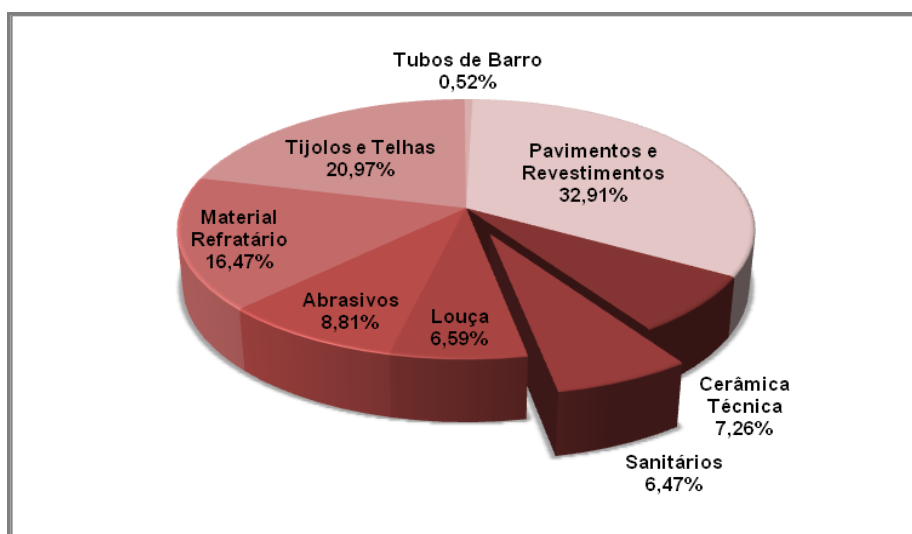


Figura 1.3 - Distribuição da produção entre 2005 e 2010, na UE [6].

A análise da figura 1.3 permite verificar que os sectores com maior impacto na economia são o dos pavimentos e revestimentos cerâmicos seguido dos tijolos e telhas, com, respectivamente, 32,85 e 20,93% da produção [6].

1.1.2 Os materiais cerâmicos e as novas tecnologias

Como é do conhecimento geral, existem inúmeras combinações possíveis entre átomos metálicos e não-metálicos, podendo estas originar a formação de diversos componentes cerâmicos. Por cada uma destas combinações de átomos, vários arranjos estruturais são igualmente possíveis, na maioria dos casos.

Estes acontecimentos possibilitam aos investigadores a criação de novos materiais cerâmicos de forma a satisfazer as crescentes exigências das mais diversas áreas, surgindo assim um novo segmento deste sector, o das tecnologias cerâmicas avançadas.

Os materiais avançados são actualmente reconhecidos como cruciais no crescimento, prosperidade e sustentabilidade das várias indústrias. A necessidade, na generalidade dos sectores, de materiais mais leves, fortes, com superior resistência à corrosão e ao mesmo tempo capazes de suportar elevadas temperaturas, revelou os materiais cerâmicos como os principais candidatos a satisfazer estes requisitos.

Após esta revelação, as comunidades científica e política desenvolveram um crescente interesse neste segmento de mercado, levando ao aparecimento de uma ampla variedade de materiais cerâmicos capazes de satisfazer as exigências da tecnologia de ponta.

Estes têm sido amplamente utilizadas em aplicações aeronáuticas e aeroespaciais, nos biocerâmicos, em instrumentos de corte, reactores nucleares, sistemas de travagem dos automóveis de competição e muitos mais fins, que se encontram resumidos na tabela 1.2 de forma a facilitar a sistematização da aplicação.

Os produtos deste sector podem ser categorizados como cerâmicos funcionais (eléctricos e magnéticos), estruturais (compósitos), biocerâmicos e revestimentos. Encontrando-se actualmente a emergir como uma classe líder de materiais indispensável à exploração de novas aplicações e melhoria das soluções actuais [7].

Tabela 1.2 - Actuais e futuros produtos onde se aplicam materiais cerâmicos avançados [7].

Engenharia Mecânica	Aeroespacial	Automóvel	Defesa
<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas de corte; • Abrasivos; • Partes precisas de instrumentos; • Componentes do motor das turbinas; • Componentes de baixo peso para equipamento rotativo; • Lubrificantes sólidos; • Filtros de material fundido; • Peças de desgaste; • Rolamentos; • Vedações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de combustível e válvulas; • Componentes de baixo peso; • Células de combustível; • Protecções térmicas dos sistemas; • Componentes do motor das turbinas; • Estruturas; • Rolamentos; • Unidades de energia; • Combustores; • Vedações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conversores catalíticos; • Turbinas; • Componentes de injeção de combustível; • Motores de calor; • Componentes de transmissão; • Rotores do turbocompressor; • Gasóleos de baixa rejeição de calor; • Vedações da bomba de água. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de propulsão; • Sistemas de armamento militar; • Vedações dos eixos de submarinos; • Armaduras melhoradas; • Veículos de apoio terrestre; • Aeronaves militares (motor); • Rolamentos de precisão resistentes ao desgaste.
Petroquímica	Geração de electricidade	Engenharia óptica	Engenharia Térmica
<ul style="list-style-type: none"> • Válvulas de controlo de fluxo; • Bombas; • Rolamentos; • Mangas de explosão; • Aquecedor de refinaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes expostos a elevadas temperaturas; • Filtros; • Rolamentos; • Turbina a gás de cerâmica; • Células de combustível (Óxido sólido). 	<ul style="list-style-type: none"> • Diodos a laser; • Cabos de comunicações ópticas; • Translúcidos resistentes ao calor; • Diodo emissor de luz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiais de eléctrodos; • Dissipador de calor para peças electrónicas; • Revestimento de fornos industriais de elevadas temperaturas.

Tabela 1.2 - Actuais e futuros produtos onde se aplicam materiais cerâmicos avançados [7] (Continuação).

Biológicos, Engenharia de processamento químico	Engenharia electrotécnica e magnética	Indústria nuclear
<ul style="list-style-type: none">• Dentes, ossos e articulações artificiais;• Válvulas vasculares;• Permutadores de calor;• Recuperadores;• Refractários;• Catalisadores;• Injectores.	<ul style="list-style-type: none">• Elementos de memória;• Elementos resistentes ao calor;• Substrato de circuito integrado;• Capacitores multicamada.	<ul style="list-style-type: none">• Combustível nuclear;• Revestimentos;• Materiais de controlo;• Materiais de moderação;• Mineração do reactor.

Uma vez que a ciência e a tecnologia avançam a uma velocidade considerável e a forma como elas interagem com a economia, sociedade e ambiente é bastante complexa, nos últimos anos têm vindo a ser reunidos esforços no sentido de tentar traçar roteiros no sector, para o período entre 2010 e 2015, de forma a fornecer directrizes aos futuros investimentos políticos, científicos e industriais.

Visando a gestão dos recursos da melhor maneira possível, esses roteiros concentraram-se em duas áreas, nas aplicações e na ciência. A primeira engloba electrónica, informação e comunicação, energia e ambiente bem como a engenharia mecânica, por sua vez, a segunda contempla as propriedades estruturais e funcionais e também processos tecnológicos [8].

1.2 A Fábrica Cerâmica de Valadares

Fundada a 25 de Abril de 1921, a Fábrica Cerâmica de Valadares apresenta um passado repleto de sucesso e evolução. Tendo iniciado a sua laboração com o fabrico de artigos diversos, como revestimentos e pavimentos, foi nos artigos sanitários que acabou por concentrar os seus serviços ao longo dos últimos 30 anos. Localizada em Valadares no concelho de Vila Nova de Gaia, a sua fábrica ocupa uma vasta área de 176.000 m² e desde cedo se transformou num marco da vila. Na figura 1.4 encontra-se a fotografia da sua entrada principal.



Figura 1.4 - Entrada principal da Fábrica Cerâmica de Valadares.

A sua constante aposta no desenvolvimento de soluções actuais, com elevada qualidade e adaptáveis às mais diversas especificações e necessidades transformou a empresa num líder do mercado de artigos sanitários. Os seus produtos são comercializados em 60 países como França e Emirados Árabes Unidos, entre muitos outros.

Relativamente aos produtos da empresa, estes podem ser divididos em duas categorias, os materiais complementares de casa de banho, que englobam torneiras, tampos, banheiras, entre outros e os materiais cerâmicos em grés, tais como lavatórios, bases de chuveiro, bacias e lava roupas [9].

O empenho da empresa no seu processo produtivo é comprovado pela sua certificação. Esta encontra-se certificada desde Julho de 1999 de acordo com a série de Normas ISO 9000 (Modelo de gestão da qualidade na produção, instalação e assistência após venda) e pela APCER (entidade de Certificação de Sistemas de Gestão Líder em Portugal). Em Abril de 2001 foi ainda certificada pela série de normas ISO 14000 (Sistemas de Gestão

Ambiental), tendo sido a primeira empresa de material sanitário na Europa a consegui-lo. E mais recentemente, em 2006 passou a dispor de um Sistema de Gestão Integrada de Qualidade e Ambiente, quando integrou os dois sistemas ISO num só.

Foi neste contexto de preocupação com o meio ambiente que, em 2006, foi pensada uma nova pasta com características únicas e exclusivas da Valadares, a *Gresanit*. Esta apresenta um conjunto de vantagens, tais como uma menor absorção de água, maior resistência à abrasão, à fendilhagem e ao impacto, excelente resistência mecânica e ao ataque de agentes químicos e uma maior facilidade de instalação relativamente aos materiais tradicionais. E desta forma, permite a produção de acessórios cerâmicos com propriedades antifúngicas, de fácil limpeza e aplicação, com cor inalterável e elevada resistência às manchas, choques térmicos, produtos abrasivos e a ácidos. Esta pasta é muito utilizada na produção de peças de grande dimensão, contornando os condicionalismos da reduzida resistência e fiabilidade apresentadas pelas mercadorias produzidas com as pastas tradicionalmente utilizadas.

Na figura 1.5 encontra-se uma das ofertas produtivas da FCV, utilizando a pasta anteriormente referida.



Figura 1.5 - Produto produzido com Gresanit®.

Por último, mas não menos importante, refere-se também um outro produto que a Valadares oferece que foi especialmente concebido a pensar na sustentabilidade do planeta, o urinol *Hello*. A sua concepção foi especialmente preparada para que este possa receber um sistema de desinfecção sem água da *Espace Écologie*, sistema esse que permite eliminar o consumo de água, os maus cheiros, bem como o calcário que se deposita na superfície

vidrada proveniente das águas de descarga, evita o entupimento de tubagens e simplifica a manutenção quotidiana dos sanitários. Na figura 1.6 encontra-se a representação deste produto.



Figura 1.6 - Urinol sem água *Hello*.

Tal como se pode observar na figura 1.6, este sistema é aplicado no furo de esgoto do urinol posicionando-se na parte superior a recarga (ogiva), esta será substituída trimestral ou semestralmente, conforme as situações de utilização. Este sistema permite a poupança de um recurso que começa a escassear, a água, aliando também uma poupança económica.

A preocupação com as questões ambientais não só está presente na investigação para o desenvolvimento de novos produtos como os anteriormente apresentados, como também nas práticas do dia-a-dia da empresa, nomeadamente através de uma minimização da produção resíduos, promovendo a eficácia e eficiência do processo, e da reincorporação dos mesmos quando a sua geração é inevitável [10].

1.2.1 O processo de fabrico

Embora exista uma grande diversidade na oferta de produtos finais, o processo produtivo assenta essencialmente nas mesmas etapas, qualquer que seja a mercadoria em questão, podendo apenas diferir no tipo de matéria-prima. Na figura 1.7 encontra-se um esquema representativo das etapas do processo produtivo [9].

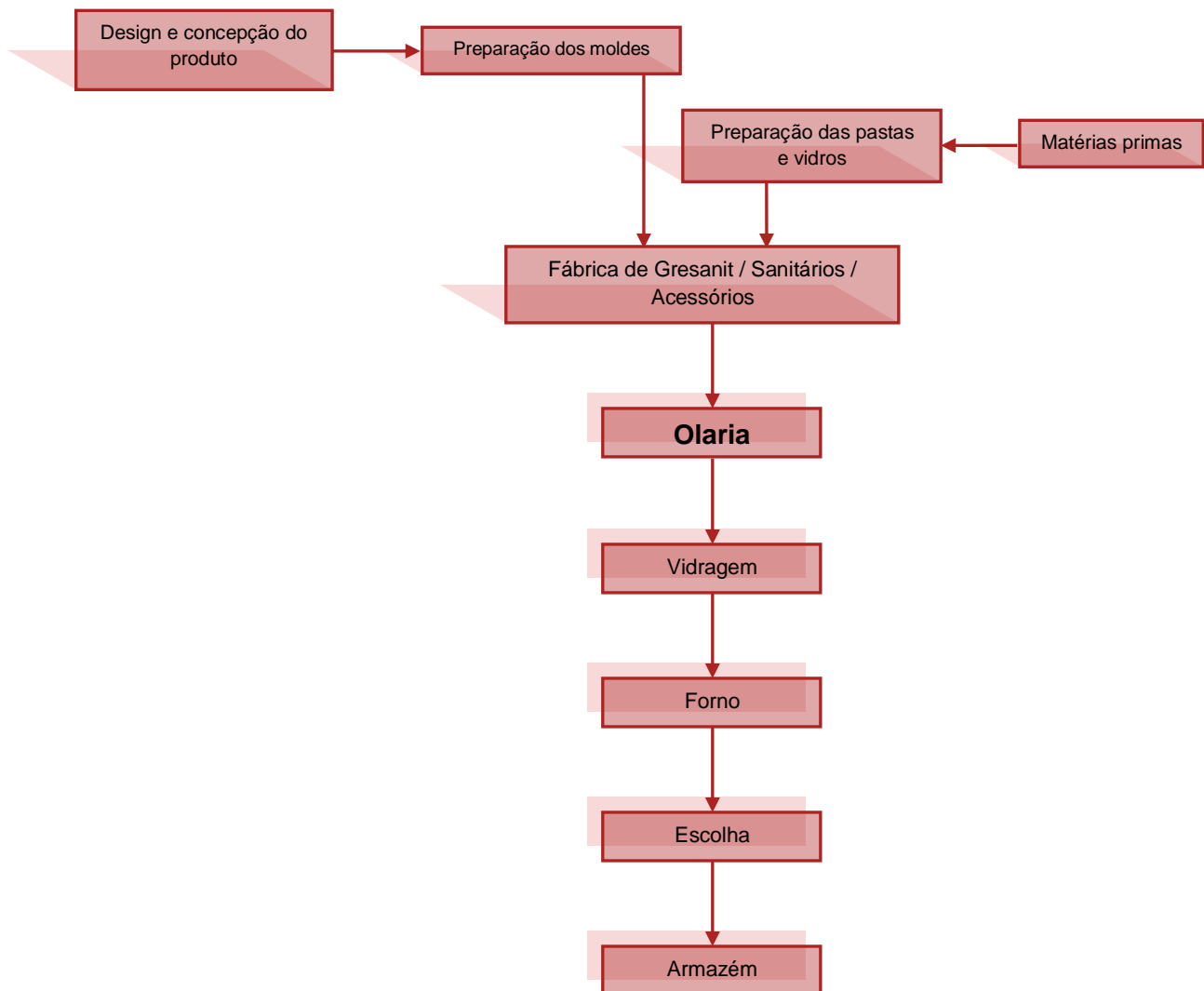


Figura 1.7 - Etapas da concepção de um produto.

A formulação dos produtos inicia-se, tal como se pode observar na figura 1.7, com algumas fases preliminares que assumem extrema importância no produto final, sendo estas o *design* e concepção do produto, preparação dos moldes e a mistura de matérias-primas para obtenção de pastas e vidros com as características pretendidas.

Na fase inicial, uma vez desenhadas as peças, segue-se a preparação dos moldes. Esta obriga a vários testes até se conseguir aferir as características pretendidas no produto final, pois dificilmente se obtém um modelo perfeito na primeira tentativa.

Obtido o molde original, segue-se a preparação das madres que vão servir para produzir os moldes de gesso que constituirão as baterias da olaria. Aí é efectuado o enchimento das pastas, sendo estas preparadas a partir de materiais como o quartzo, a argila, o caulino e o feldspato (barbotina).

Posteriormente, nas quatro olarias existentes na fábrica, efectua-se o enchimento dos moldes com a respectiva pasta, podendo ser efectuado por recorrência a máquinas de média ou alta pressão. De notar que, os produtos são distribuídos pelas diversas olarias de acordo com as suas características, ou seja, conforme a pasta utilizada na confecção do material.

Uma vez injectada, a pasta permanece no molde durante cerca de duas horas, até que o gesso absorva alguma humidade, formando-se uma fronteira entre a pasta e o molde que confere alguma dureza à peça. Quando esta dureza for suficiente, a peça é removida do molde e prossegue a sua secagem no interior da olaria, exposta ao ar ambiente, tornando-se mais resistente ao manuseamento sem se deformar, sendo esta fase denominada de secagem a verde.

Porém, como na conformação não se consegue remover uma percentagem suficiente de água de forma a poder proceder-se directamente à cozedura, torna-se necessário incluir uma etapa de secagem. Nesta, os produtos circulam nas cestas, representadas na figura 1.8, em contra-corrente com o ar quente, permitindo que o teor de água contido na pasta possa diminuir gradualmente até uma quantidade residual inferior ou igual a 0,5%.



Figura 1.8 - Cesta utilizada no transporte dos sanitários.

De seguida, as peças são encaminhadas para a vidragem, onde são pulverizadas com um esmalte que lhes vai conferir o aspecto vítreo que se reconhece no produto final. Este esmalte pode ou não ser branco, sendo ele o responsável pelo aspecto colorido de alguns sanitários.

Após a vidragem, segue-se a cozedura. Aqui, o material é sujeito a temperaturas elevadas, cerca de 1250 °C, que lhe provocam alterações físicas e químicas, conferindo-lhe as propriedades pretendidas no final do processo produtivo.

Por último, antes de ser armazenado, o material é submetido a um processo de escolha onde apenas passarão os produtos sem defeito. É no entanto de salientar que os produtos com defeito não são desprezados, mas sim reprocessado de forma a poderem ser novamente incorporados nas pastas de novos materiais, sem qualquer prejuízo da sua qualidade.

Desta forma, embora ao longo dos seus 90 anos de existência, a empresa tenha apresentado uma evolução considerável ao nível do *know-how*, otimizando processos produtivos, existe ainda algum trabalho a ser feito, no sentido de reduzir os consumos excessivos.

1.3 O Consumo de Energia na Indústria

Face à actual conjuntura económica do país e do mundo, à instabilidade do preço do petróleo, à crescente preocupação com o meio ambiente, nomeadamente com os impactos do consumo desmesurado de energia, seja ela eléctrica ou térmica, bem como à perda de competitividade económica das empresas, na indústria a energia deve ser encarada como um factor de produção tão importante como o trabalho, o capital ou até as matérias-primas.

Na figura 1.9 encontra-se um gráfico ilustrativo do consumo final de energia em Portugal no ano de 2008.

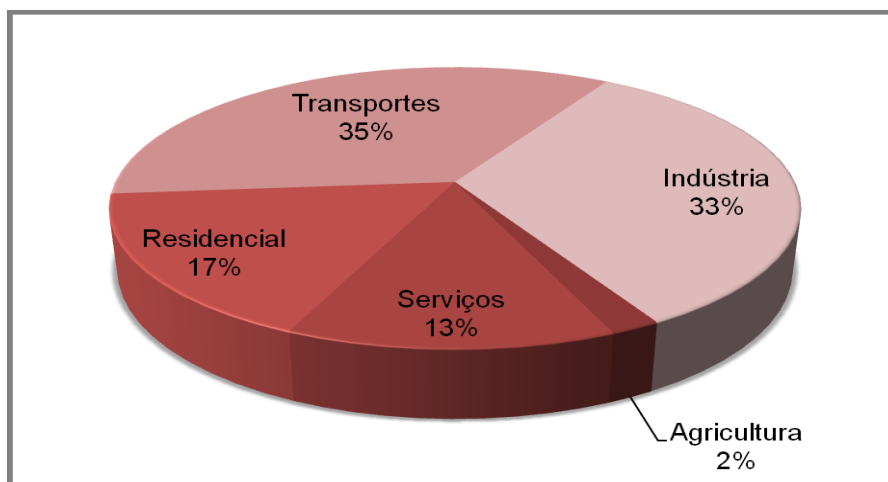


Figura 1.9 - Distribuição do consumo energético em Portugal no ano de 2008.

Tal como se pode verificar na análise da figura 1.9, o sector que mais energia consome é o dos transportes, que representa 35% da energia produzida no país, seguido da indústria com 33%, já os sectores residencial e de serviços consomem 17 e 13%, respectivamente, estando uma grande parte desta percentagem associada ao aquecimento. Por fim, o sector da agricultura é apenas representado por uma pequena fatia do consumo global de energia [11].

Numa abordagem mais global, a União Europeia (UE) desempenha um papel de destaque no panorama energético, pois está incluída no grupo dos grandes consumidores de energia, logo após os Estados Unidos da América. Quase 40% da sua energia deriva do petróleo, apresentando portanto uma elevada dependência energética, superior a 50%, taxa esta, em constante crescimento. Perante esta realidade a UE assumiu um compromisso com o meio

ambiente, propondo-se a concretizar reduções sustentadas de consumos energéticos e de emissões de dióxido de carbono e outros gases poluentes. No entanto, existe mesmo assim um longo caminho a percorrer no sentido da independência energética [12].

Por todas as razões até agora apresentadas, torna-se cada vez mais importante avaliar as possíveis falhas nos sectores de maior consumo energético e implementar melhorias que potenciem uma gestão eficaz do mesmo. É neste contexto que surge o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), este preconiza a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo como objectivo final a contenção dos consumos energéticos sem descurar as necessidades de funcionamento e de conforto térmico dos utilizadores.

A primeira legislação para a área térmica de edifícios, surgiu em Portugal na década de 90, esta estabelecia requisitos mínimos de qualidade térmica no projecto de novos edifícios ou grandes remodelações, sem necessidades excessivas de energia, tendo ainda um segundo objectivo, a minimização de efeitos patológicos na construção, como é o caso de condensações superficiais no interior dos elementos da envolvente.

Embora esta não tenha surtido grande efeito, devido ao seu grau de exigência pouco elevado, a nova versão do RCCTE (2006) tem conseguido uma maior taxa de aplicabilidade devido aos compromissos assumidos por Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto e à necessidade de cumprir a directiva da União Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta obriga os estados membros a estabelecer, e actualizar periodicamente, regulamentos no sentido de promover a melhoria do comportamento térmico dos novos edifícios bem como dos reabilitados, exigindo a implementação de melhorias técnica e economicamente viáveis.

Apresenta ainda uma outra particularidade, a de impor a utilização de sistemas de colectores solares para o aquecimento das águas sanitárias, promovendo a independência energética do país, bem como a diminuição da poluição através do recurso às energias renováveis.

Concluindo, o regulamento em vigor, Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, fixa um conjunto de normas que terão de ser verificadas na fase de projecto dos edifícios de habitação e de serviços que não possuam sistemas de climatização centralizados. Estas, visam a satisfação das exigências de conforto térmico (aquecimento ou arrefecimento), ventilação de forma a assegurar a qualidade do ar no interior dos edifícios e produção de águas quentes

sanitárias, sem que para o efeito seja efectuado um consumo de energia acima do necessário.

As regras estabelecidas visam também a minimização do aparecimento de situações patológicas nos elementos de construção, que provocaria uma diminuição da sua durabilidade e prejudicaria a qualidade do ar ambiente.

Em termos de aplicabilidade, são excluídos do âmbito do regulamento os seguintes casos:

- ✓ Edifícios ou fracções autónomas destinados a serviços, a construir ou renovar que, pelas suas características de utilização, se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;
- ✓ Edifícios utilizados como locais de culto e os edifícios para fins industriais, afectos ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- ✓ Intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências deste regulamento;
- ✓ Infra – estruturas militares e imóveis afectos ao sistema de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e confidencialidade [13, 14];

No caso particular da Fábrica Cerâmica de Valadares, embora excluída do âmbito da aplicação do regulamento, pode utilizar-se a sua metodologia de cálculo para a determinação de perdas e ganhos pela envolvente.

Esta quantificação pode ser muito útil para reduzir os elevados consumos de gás natural da empresa. Na figura 1.10 apresenta-se o consumo de gás natural nos fornos, no ano de 2011.

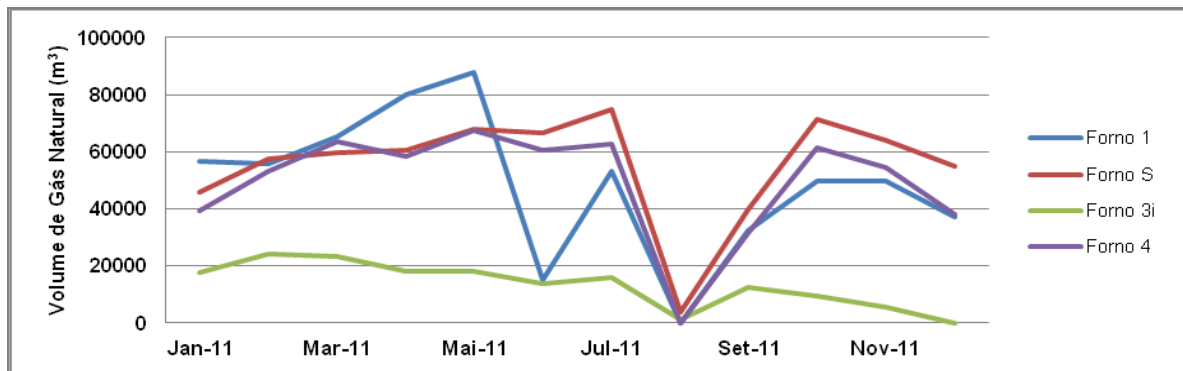


Figura 1.10 - Distribuição do consumo de gás natural nos fornos em 2011.

Na figura 1.11 encontra-se o consumo de gás natural nos geradores de calor das quatro olarias, também relativo ao ano de 2011.

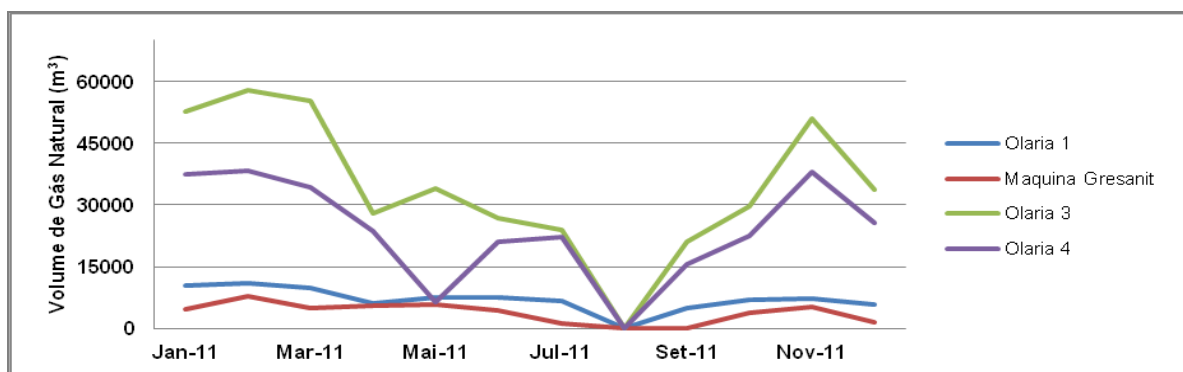


Figura 1.11 - Distribuição do consumo de gás natural nos geradores de calor em 2011.

Analisando a figura 1.11, verifica-se que a olaria número 3 é a que apresenta o maior consumo de gás natural.

Por fim, na figura 1.12, encontra-se o consumo de gás natural nas estufas, no mesmo ano.

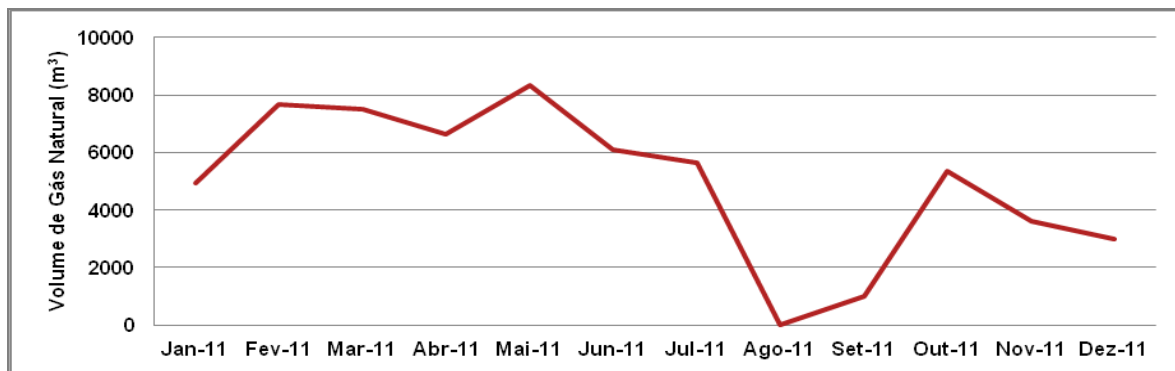


Figura 1.12 - Distribuição do consumo de gás natural nas estufas em 2011.

Como se pode observar nas figuras 1.10, 1.11 e 1.12, a empresa apresenta um consumo muito elevado de gás natural. Assim, ainda que não se tenha contabilizado o consumo de energia eléctrica, pode concluir-se que a empresa é uma consumidora intensiva de energia.

Desta forma, seja por razões económicas ou ambientais, é de extrema importância realizar um estudo do desempenho energético na empresa, particularmente, na olaria número 3, com o objectivo de minimizar os seus consumos.

1.4 Combustão do Gás Natural

Como já foi referido anteriormente, a combustão desempenha um papel de grande destaque na produção e tratamento térmico dos materiais cerâmicos. No caso específico da geração de ar quente da Valadares, o combustível utilizado é o gás natural.

O gás natural comercializado em território nacional é importado do continente africano, tendo actualmente a *Transgás*, dois contratos com a *Sonatrach*, empresa Argelina, e a *NLNG*, empresa Nigeriana [15]. Nos estudos realizados ao longo deste trabalho, utilizaram-se dados relativos ao gás natural da Argélia (tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Composição química e propriedades físico-químicas do gás natural da Argélia [16].

Componente	Gás Natural da Argélia
CH ₄ (% Vol.)	87
C ₂ H ₆ (% Vol.)	9
C ₃ H ₈ (% Vol.)	2,7
C ₄ H ₁₀ (% Vol.)	1,1
> C ₄ H ₁₀ * (% Vol.)	-
CO ₂ (% Vol.)	-
N ₂ (% Vol.)	0,2
O ₂ (% Vol.)	-
H ₂ (% Vol.)	-
CO (% Vol.)	-
Massa molar média (kg/kmol)	18,55
Massa volúmica (kg/Nm ³) [§]	0,817
PCI a 100 kPa e 298 K	
MJ/kg	48,85
MJ/Nm ³	39,92
PCS a 100 kPa e 298 K	
MJ/kg	54,01
MJ/Nm ³	44,14
Limites de flamabilidade em ar a 1 atm e 298 K	
Φ no limite inferior	0,53
Φ no limite superior	1,81

*Hidrocarbonetos mais pesados do que C₄H₁₀.

§ Nm³ designa metro cúbico em condições de P e T normais (PTN): 101,325 kPa e 273,15 K.

Os combustíveis não são mais do que substâncias que, quando aquecidas, desencadeiam uma reacção química de oxidação, através da utilização do oxigénio presente na atmosfera promovendo, desta forma, libertação de calor. Podem ser classificadas como sólidos, líquidos ou gasosos.

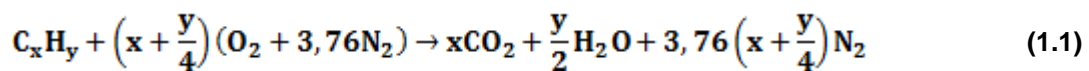
O estudo da combustão ao longo desta dissertação, teve especial enfoque em determinados aspectos, como o estudo da:

- ✓ Composição química dos gases de combustão;
- ✓ Potência calorífica gerada na combustão do gás natural;
- ✓ Eficiência energética dos geradores de calor.

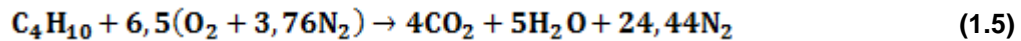
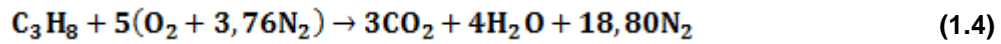
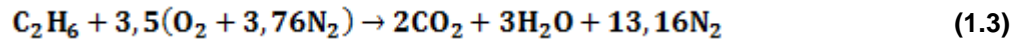
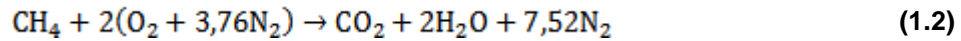
A análise dos aspectos acima referidos, visa a sugestão de medidas de redução dos custos de fabrico e operação, por unidade de energia produzida.

No processo de combustão, a composição química da mistura reactiva varia ao longo do tempo, à medida que os reagentes dão lugar aos produtos. A mistura entre o combustível e o oxidante é estequiométrica quando a quantidade de oxidante nessa mistura é a teoricamente necessária e suficiente para queimar todo o combustível completamente, num processo de combustão ideal.

Relativamente à combustão dos hidrocarbonetos, a reacção de queima teórica pode ser representada de acordo com a equação 1.1 [16].



Conhecidos os componentes do gás natural distribuído em Portugal (tabela 1.3), foi possível deduzir as equações 1.2 a 1.5, por recorrência à equação 1.1.



O estudo da estequiometria das reacções, possibilita a determinação da perda térmica nos gases de combustão, através da equação 1.6.

$$Q_{GC} = m_{GC} \times C_{pGC} \times (T_{GC} - T_{\text{Ambiente}}) \quad (1.6)$$

Por sua vez, o calor de combustão, que não é mais do que a energia produzida durante a reacção de queima do gás natural, pode determinar-se através da aplicação da equação 1.7. Para tal, é necessário conhecer a massa de combustível consumido nos geradores de calor da olaria e o seu poder calorífico inferior (PCI).

$$Q_{GN} = m_{GN} \times \text{PCI} \quad (1.7)$$

Foi considerado o PCI e não o poder calorífico superior (PCS), quando se considera que a água se encontra sob a forma de vapor, nos gases de exaustão.

O rendimento dos equipamentos geradores de calor é obtido por aplicação da equação 1.8.

$$\eta_{\text{Geradores}} (\%) = \frac{Q_{GN} - Q_{GC}}{Q_{GN}} \times 100 \quad (1.8)$$

1.5 Objectivos do Trabalho

Sendo a Fábrica Cerâmica de Valadares um consumidor intensivo de energia, nomeadamente nas etapas de secagem e cozedura, que requerem uma grande quantidade de energia térmica, é urgente a necessidade de otimizar o processo produtivo, como forma de diminuir a factura energética e assim potenciar a competitividade da empresa.

Este trabalho, teve como objectivos o estudo da possibilidade de reaproveitar o conteúdo energético do ar quente da olaria número 3, bem como o estudo do comportamento térmico do edifício, visando a sugestão de medidas de optimização de desempenho energético.

2. Levantamento Energético da Olaria

Com o objectivo de melhorar o desempenho energético da fracção autónoma (olaria número 3), foi inicialmente necessário conhecer o seu estado actual. Desta forma, neste capítulo encontra-se a descrição das acções desenvolvidas no âmbito dessa análise, apresentando-se os indicadores avaliados, bem como as principais conclusões tiradas com o levantamento efectuado. De notar que os valores apresentados são baseados num dia médio de trabalho.

2.1 Indicadores de Desempenho Energético

O levantamento energético de uma fracção autónoma, pressupõe a definição de determinados indicadores de desempenho energético, de forma a auxiliar o estabelecimento das prioridades de intervenção. Estes servem ainda, numa fase posterior, para analisar o efeito das medidas de optimização adoptadas, através da comparação dos seus valores antes e após a sua implementação.

Definiram-se como parâmetros elementares a quantificar, sob as condições específicas de funcionamento:

- ✓ Os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares, dos elementos da envolvente interior e exterior;
- ✓ A Inércia térmica da fracção autónoma;
- ✓ O factor solar dos vãos envidraçados;
- ✓ A taxa de renovação de ar.

Em termos práticos, o coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente corresponde à quantidade de calor a atravessar uma superfície de área unitária desse elemento, por unidade de temperatura entre os ambientes que ele separa e por unidade de tempo.

A inércia térmica interior é função da capacidade que os diversos locais apresentam, ou não, para armazenar calor, sendo esta dependente da massa superficial útil de cada um dos elementos de construção, que varia conforme a sua constituição e localização no edifício.

Na tabela 2.1 encontra-se a distinção entre essas diferentes classes de inércia térmica interior [14].

Tabela 2.1 - Classes de inércia térmica interior [14].

Classe de Inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área útil de pavimento, I_t (kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Por sua vez, o factor solar de um vão envidraçado, corresponde ao quociente entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia solar que nele incide.

Relativamente à taxa de renovação do ar, esta representa a frequência com que o volume de ar da fracção autónoma é trocado, para que a renovação do seu ar interior seja assegurada, expressa em unidades de tempo. A sua análise contabilizará o valor energético do ar seco e o da água nele evaporada.

Uma vez quantificados os parâmetros essenciais, foi possível efectuar-se o balanço térmico à olaria, de forma a comparar a energia fornecida com a energia mínima, teoricamente necessária para satisfazer as necessidades de funcionamento do sistema.

No balanço energético, além dos parâmetros já mencionados foram ainda contabilizados outras variáveis consideradas importantes, tal como a geração interna de calor, o fluxo de calor envolvido na combustão do gás natural nos geradores e o fluxo de calor envolvido na entrada da barbotina na olaria e posterior saída dos produtos acabados.

2.2 Estudo do Comportamento Térmico

Além do avultado consumo energético desta etapa do processo produtivo, também a fracção autónoma estudada no âmbito deste trabalho apresenta características construtivas que contribuem para o acréscimo destes valores, nomeadamente a sua exposição às condições climáticas, devido à sua disposição geográfica. Na figura 2.1, assinalado a cor de tijolo, pode observar-se a sua localização no terreno da fábrica.



Figura 2.1 - Localização do edifício em estudo [17].

O edifício é composto por dois andares, rés-do-chão, onde se efectua a selecção, vidragem, cozedura e armazenagem das peças e primeiro andar, ocupado pela olaria.

Apenas este último foi estudado, sendo considerado uma fracção autónoma. Para efectuar o seu estudo térmico foi necessário determinar algumas dimensões, tais como a área das paredes, coberturas e vãos envidraçados exteriores.

Assim, o levantamento dimensional da olaria foi essencialmente efectuado por recorrência à planta da olaria 3 e ao corte frontal deste edifício, figuras A.1 e A.2, respectivamente (Anexo A).

De acordo com o projecto de arquitectura representado na figura A.1, foi possível conhecer a área de pavimento útil da fracção autónoma. Este valor corresponde, por definição, à soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos da fracção do edifício, estando incluídas nesse valor as áreas dos locais de circulação interna, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar. O valor obtido para a área de pavimento útil da olaria número 3 foi de 3600 m².

Por sua vez, o pé direito médio, que não é mais do que a altura média, medida pelo interior, entre o pavimento e o tecto de uma fracção autónoma de um edifício, foi determinado por medição no corte frontal da figura A.2. O valor obtido do pé direito médio foi de 7,7 m.

Conhecido o pé direito médio, foi possível calcular a área das paredes (Equação A.1), estando estas diferenciadas de acordo com o seu tipo e a sua orientação geográfica. As paredes tipo I correspondem às paredes da envolvente exterior e as tipo II à zona de pilar e viga do mesmo elemento. Os valores destas áreas encontram-se na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Levantamento dimensional das paredes.

	Orientação	Comprimento (m)	Área (m ²)
Parede Exterior - Tipo I	Norte	24,9	137,2
	Sul	45,3	252,8
	Oeste	103,8	389,5
	Este	116,1	449,6
Parede Exterior - Tipo II	Norte	2,4	18,5
	Sul	5,5	42,6
	Oeste	19,2	122,7
	Este	20,6	131,7

Efectuou-se de seguida o levantamento dimensional dos vãos envidraçados, diferenciando-se igualmente as portas das janelas, bem como a orientação geográfica de cada um deles (Tabelas A.1 e A.2, Anexo A).

Assim, através do somatório, fachada a fachada, dos dois tipos de vãos envidraçados, portas e janelas, foi possível encontrar a área envidraçada total em cada orientação geográfica da fracção autónoma. Estes valores encontram-se na tabela 2.3.

A olaria número 3 possui uma área envidraçada total de cerca de 400 m². De referir que as áreas dos vãos envidraçados incluem a caixilharia.

Tabela 2.3 - Levantamento dimensional total dos vãos envidraçados.

	Orientação	Área (m ²)
Janelas	Norte	34,02
	Sul	44,01
	Oeste	147,69
	Este	161,73
Portas	Norte	2,31
	Sul	6,90
	Oeste	2,99
	Este	--

Por último, determinou-se a área da cobertura. Esta possui duas áreas distintas, com e sem isolamento, estando ainda subdividida em duas zonas com diferentes graus de inclinação, tal como se pode observar no Anexo A (figura A.3 e tabela A.3). Na tabela 2.4, encontram-se os valores da área da cobertura.

Tabela 2.4 - Valores da área da cobertura inclinada da olaria.

	Nº de Zonas	Comprimento (m)	Largura (m)	α (°)	Área Inclinada (m ²)	Área Inclinada Total (m ²)
Cobertura Inclinada	1	88,5	17,4	11,1	2068	3637
	2		23,1	8,6	1569	

A olaria possui uma área inclinada total de 3637 m², sendo que 1569 m² deste valor não possuem qualquer tipo de isolamento térmico.

2.2.1 Envolvente Interna e Externa

Após ter sido efectuado o dimensionamento da fracção autónoma em estudo, iniciou-se o estudo do seu comportamento térmico diário, contabilizando as perdas e os ganhos térmicos através dos vãos envidraçados e da envolvente opaca. Estes foram determinados recorrendo ao modelo do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), Decreto-Lei nº. 80 de 2006, tendo-se realizado ligeiras alterações, de forma a adequá-lo às características da fracção autónoma (Anexo B).

No sentido de auxiliar o preenchimento das folhas de cálculo FCIV.1a e FCIV.1b, que fazem parte do modelo, na tabela B.1 (Anexo B) encontra-se um resumo das características térmicas dos elementos de construção que constituem a olaria [18]. As resistências térmicas foram determinadas recorrendo à equação B.1 (Anexo B), por sua vez, o coeficiente global de transferência de calor de cada elemento foi determinada através do inverso do somatório das resistências térmicas de todos os materiais que o constituem.

Uma vez determinadas as condutividades térmicas totais das paredes, pavimento e cobertura, foi possível aplicar o modelo de cálculo referido, de forma a determinar as perdas associadas à envolvente exterior (Tabela B.2, Anexo B). Porém, existem também perdas associadas à envolvente interior, estando a sua contabilização registada na tabela B.3 (Anexo B).

Contudo, as perdas e ganhos térmicos não ocorrem apenas pela envolvente opaca, mas também pelos vãos envidraçados, que são responsáveis por uma fracção bastante considerável destas, pois possuem uma área total significativa. Na tabela B.4 (Anexo B), encontra-se a contabilização das perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores verticais (não existem vãos envidraçados horizontais).

De referir que os vãos envidraçados em questão são de caixilharia metálica, sem corte térmico, de janela fixa, com vidro simples e com cortina interior opaca.

Na tabela 2.5 encontram-se os valores das perdas térmicas através da envolvente interior e exterior da olaria número 3. O valor total obtido destas perdas térmicas foi de $3,1 \times 10^7$ kJ/dia.

Os valores de ΔT registados na tabela 2.5 foram determinados através da diferença entre a temperatura interior da olaria (33°C) e a temperatura média exterior (16°C).

Tabela 2.5 - Perdas térmicas através da envolvente interior e exterior.

	U.A (W/°C)	ΔT (°C)	Perda Térmica (kW/dia)	Perda Térmica (kJ/dia)
Paredes	7394	17	126	$3,62 \times 10^6$
Cobertura	46431	17	789	$2,27 \times 10^7$
Vãos Envidraçados	1958	17	33	$9,59 \times 10^5$
Pavimentos	7171	17	122	$3,51 \times 10^6$
Pontes térmicas lineares	687	17	12	$3,36 \times 10^5$
				$3,1 \times 10^7$

Relativamente aos ganhos térmicos, quer pela envolvente opaca exterior quer pelos vãos envidraçados, estes foram determinados por recorrência à folha de cálculo FCIV.1c e FCIV.1e (Tabelas B.5 e B.6, Anexo B).

De notar que, dadas as características construtivas do edifício da olaria, a fachada norte não se encontra exposta à radiação do solar, de forma que a sua contribuição foi desprezada nos ganhos solares pela envolvente opaca exterior.

Também na determinação dos ganhos solares pelos vãos envidraçados, não foi aplicado todo o cálculo previsto na legislação para determinar os ganhos úteis totais, uma vez que as condições de funcionamento da olaria não se encontravam previstas na legislação, para os ganhos internos médios. Então optou-se por converter directamente o valor obtido na tabela B.6 (Anexo B) de kWh/ano a kJ/dia, considerando que um ano tem 46 semanas, com cinco dias de trabalho.

Na tabela 2.6 encontram-se os valores dos ganhos solares da olaria em estudo.

Tabela 2.6 - Ganhos solares totais da olaria n.º3.

	Ganho Solar (kWh/ano)	Ganhos Solares (kJ/dia)
Envolvente Opaca Exterior	$3,56 \times 10^4$	$5,58 \times 10^5$
Vãos Envidraçados	$3,17 \times 10^5$	$2,03 \times 10^4$
		$5,8 \times 10^5$

Os ganhos térmicos totais obtidos foram de $5,8 \times 10^5$ kJ/dia, sendo porém, consideravelmente menores do que as perdas, o que pode, de certo modo justificar os elevados consumos de gás natural da fracção autónoma.

2.2.2 Circulação de Ar Parasita

Além do fluxo térmico associado à condutividade dos materiais de construção, existe ainda a troca térmica relativa à circulação de ar parasita, responsável por um fluxo de calor significativo, pois são suficientes para assegurar a renovação do ar interior sem o auxílio de qualquer sistema de ventilação.

Para se proceder à contabilização dos caudais de saída e entrada de ar, consideraram-se as velocidades de circulação de ar, medidas com um anemómetro, no âmbito de outros estudos, mas que puderam ser adaptadas a este estudo, uma vez que as condições se mantiveram constantes. Tendo em conta estes valores e as dimensões de cada fenda da olaria potenciadora de circulação de ar, quantificaram-se as entradas e saídas de ar parasita (Tabelas C.2 e C.3, Anexo C). Os valores obtidos foram de 12,8 kg/s e 12,4 kg/s, respectivamente.

Relativamente às temperaturas, foram determinados valores médios, considerando os registos de temperatura dos termohigrómetros da olaria, nas condições habituais de pleno funcionamento, bem como dados do Instituto de Meteorologia de Portugal, relativos ao ano de 2011 [19].

Assim, nesta quantificação considerou-se que o ar de renovação entra na olaria a 16 °C e uma humidade relativa de 78%, através de uma porta existente no seu interior, da abertura que serve para a passagem das cestas, do secador e dos pilares, isto porque todos estes elementos servem de ponte entre o ar interior da olaria e do piso inferior.

Na tabela 2.7 encontra-se o valor do ganho térmico da olaria obtido com a entrada de ar novo na olaria.

Tabela 2.7 - Ganho térmico com a entrada de ar novo na olaria.

	Ganho Térmico (kJ/dia)
Ar Novo Seco	5,88x10 ⁶
Humidade	8,13x10 ⁶

O ganho térmico total obtido foi de 1,4x10⁷ kJ/dia. Para determinar o ganho térmico do ar seco e da humidade, recorreu-se às equações C.2 e C.3 (Anexo C).

Por sua vez, o ar de exaustão sai a 33 °C, através do sistema de ventilação forçada, distribuído pelas diversas fachadas, que apesar de não ser necessário, não foi desmantelado nem se encontra devidamente isolado. Existe também circulação de ar pela porta da fachada Oeste, que serve de acesso ao elevador, bem como pelas chaminés.

É no entanto de salientar que, o ar de exaustão além da humidade relativa existente na atmosfera, possui ainda a humidade que evapora das peças para o ar interior da olaria, durante o processo de secagem. Então, para completar este estudo foi necessário quantificar a segunda parcela.

Assim, monitorizou-se a variação da massa das peças ao longo de todo o processo produtivo, aproveitando-se simultaneamente para comparar os valores obtidos com dados já existentes. Para o efeito, seleccionaram-se duas peças representativas dos dois diferentes tipos de pasta utilizados na injeção dos moldes da olaria, grés e vítreos.

A diferença de massa entre a pesagem após a secagem a verde e antes da vidragem daria uma estimativa da quantidade de água evaporada por peça, que relacionada com o volume de produção de peças dos dois materiais na olaria, permitiriam determinar a massa total libertada para a atmosfera durante o processo.

No entanto, dado o desvio encontrado entre os valores de referência fornecidos pela empresa (Tabela C.4, Anexo C) e os valores obtidos na monitorização das duas peças (Tabelas C.5 e C.6, Anexo C), considerou-se que cada peça produzida, liberta cerca de 30% do seu peso inicial (quando a pasta é injectada no molde), para a atmosfera da olaria, sob a forma de vapor de água.

Desta forma, considerou-se que o caudal de ar de exaustão contém o ar seco, a humidade libertada pelas peças durante a secagem e ainda uma parte da humidade que entrou no ar novo. Na tabela 2.8 encontra-se a perda térmica sofrida com a saída do ar de exaustão da olaria.

Tabela 2.8 - Perda térmica com a exaustão de ar na olaria.

	Perda Térmica (kJ/dia)
Ar de Exaustão Seco	$1,15 \times 10^7$
Humidade das Peças	$2,25 \times 10^7$
Humidade Restante do Ar Novo	$3,34 \times 10^7$

O valor da perda térmica total no ar de exaustão foi de $3,4 \times 10^7$ kJ/dia. Para determinar a perda térmica no ar de exaustão seco e na humidade das peças recorreu-se às equações de balanço C.2 e C.3 (Anexo C). Relativamente à humidade restante do ar novo, recorreu-se às equações C.4 (Anexo C).

2.2.3 Inércia Térmica

A inércia térmica, tal como já se referiu anteriormente, é função da capacidade térmica, capacidade de armazenamento e restituição de calor, apresentada por determinado local. Existem três situações de inércia térmica: forte, média ou fraca.

Porém, como o objectivo do estudo não é enquadrar a fracção autónoma numa das classes térmicas, mas sim determinar o seu valor energético equivalente, não se determinou o valor total de massa superficial útil por metro quadrado da área útil de pavimento, I_t . Desta forma foi calculada, a energia armazenada por cada elemento, durante o seu período de aquecimento, cerca de 3 a 4 horas (diárias).

Subdividiu-se então este estudo em dois grupos, apresentando-se na tabela 2.9 os dados referentes aos elementos da envolvente exterior e elementos de construção em contacto com outra fracção autónoma.

Tabela 2.9 - Inércia térmica dos elementos de construção.

Elemento	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	$M_{si}S_i$ (kg)	C_{pi} (kJ/kg.K)	$T_{inicial}$ (°C)	T_{final} (°C)	$Q_{Elementos\ Construção}$ (kJ/dia)
Cobertura	0	3637	0	--	--	--	--
Pavimento	150	3600	$5,4 \times 10^5$	0,778	22	33	$4,6 \times 10^6$
Paredes	150	1545	$2,3 \times 10^5$	1,084			$2,8 \times 10^6$
TOTAL							$7,4 \times 10^6$

No sentido de auxiliar os cálculos apresentados na tabela 2.9, o RCCTE prevê algumas aproximações para determinados casos construtivos específicos. As considerações efectuadas para os três elementos construtivos considerados, foram, respectivamente:

1. Para coberturas com isolamento interior, $M_{si} = 0$;
2. Para elementos de construção em contacto com outra fracção autónoma, que não possua isolamento (pavimento), $M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$;
3. Para paredes simples, sem isolamento, $M_{si} = m_v/2 \leq 150 \text{ kg/m}^2$.

Relativamente aos elementos interiores da olaria, tais como as baterias, os carros e as cestas, o seu estudo encontra-se registado na tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Inércia térmica dos elementos interiores.

Elemento	Número	Massa unitária (kg)	Massa (kg)	Material	C_{p_i} (kJ/kg.K)	$T_{inicial}$ (°C)	T_{final} (°C)	$Q_{interior}$ (kJ/dia)
Baterias	15	900	$1,4 \times 10^4$	Aço	0,502	22	33	$7,5 \times 10^4$
Carros	200	80	$1,6 \times 10^4$					$8,8 \times 10^4$
Cestas	400	46	$1,8 \times 10^4$					$1,0 \times 10^5$
TOTAL								$2,6 \times 10^5$

Tal como se pode observar na tabela 2.10, para contabilizar a inércia térmica associada aos elementos interiores, efectuou-se uma contabilização dos mesmos e foram consultados dados disponíveis acerca da massa unitária de cada um.

Através do somatório entre a inércia térmica dos elementos de construção e dos elementos interiores, obteve-se uma inércia térmica total de $7,7 \times 10^6$ kJ/dia.

2.2.4 Geração Interna de Calor

A geração interna de calor constitui igualmente um parâmetro importante a quantificar, onde foi considerada a energia libertada, no interior do espaço, pelos operários e pelos elementos de iluminação, durante a sua actividade. Uma vez que, as lâmpadas ao transformar a energia eléctrica em energia luminosa, libertam simultaneamente calor, promovendo ainda o aquecimento do ar ao incidir sobre as superfícies.

No entanto, é de salientar que a iluminação apenas funciona durante três horas por dia, devido ao facto de o edifício possuir muita luminosidade natural.

Na tabela 2.11, encontram-se os valores da geração interna de calor.

Tabela 2.11 - Geração interna de calor na olaria.

	Taxa de metabolismo (W)	T _{actividade diária} (h)	Nº de Elementos	Potência Unitária (kW)	Energia produzida (kW)	Energia produzida (kJ/dia)
Operários	250	8	50	--	12,5	3,6x10 ⁵
Iluminação	--	3	--	7	7	7,6x10 ⁴

Na sua totalidade, a geração interna de calor assume um valor de 4,4x10⁵ kJ/dia.

De notar que ao quantificar a energia produzida pelos operários, considerou-se dados bibliográficos, referentes ao valor médio previsto para o nível de metabolismo de uma pessoa, quando desempenha um trabalho oficial médio [20].

2.2.5 Combustão do Gás Natural

Sendo a combustão do gás natural, responsável por um fluxo considerável de calor na olaria, tornou-se de igual forma importante analisá-la. Este combustível é consumido por cinco geradores de calor instalados ao longo da olaria, de forma a assegurar as necessidades térmicas do processo de conformação.

Inicialmente, foi efectuado um estudo à relação entre o consumo de gás natural na olaria e a temperatura média exterior no mesmo período de tempo (Tabela D.2, Anexo D). No entanto, tal como se pode verificar na figura 2.2, não se observou uma relação tendencialmente linear entre os dois.

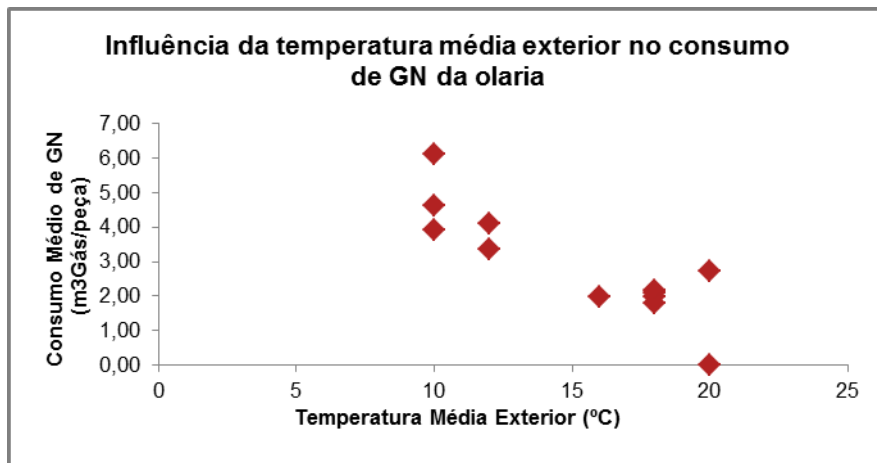


Figura 2.2 - Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior.

A tendência observada pode ser explicada pelo facto de se estarem a considerar temperaturas médias, o que pode introduzir algum erro, pois apesar de estas serem semelhantes, durante os horários de funcionamento dos geradores em cada mês, a temperatura exterior podia variar de uns dias para outros. O consumo de gás natural, por peça, pode também ser influenciado por acções dos operários (tais como a permanência de portas abertas) que não estão previstas nesta análise.

De seguida, avaliou-se a eficiência energética dos geradores de calor, pois como lhes está associada uma parte considerável dos custos da produção, é de extrema importância maximizar o seu rendimento.

Para o efeito, estudou-se a combustão do gás natural da Argélia (Tabela D.3, Anexo D). Por recorrência às equações 1.2 a 1.5 e aos dados da tabela 1.3, determinaram-se os factores de multiplicação do comburente e dos produtos de combustão. Posteriormente, através da razão entre estes e a quantidade de cada hidrocarboneto (kmol), presente em cada quilograma de combustível, calculou-se as quantidades teóricas de comburentes e produtos de combustão.

Desta forma, foi possível determinar o total real de componente por massa de combustível, sabendo que é alimentado, cerca de 30% de excesso de ar, para assegurar a combustão completa.

Contabilizou-se assim, a produção total de gases de combustão, sendo estes compostos por cerca de 9,5% de dióxido de carbono, 18% de água, 69% de azoto e 4% de oxigénio. Relacionando o total real de gases de combustão produzidos, e conhecendo o consumo de

cada gerador, foi possível quantificar a produção molar de gases, sendo esta posteriormente convertida a unidades de massa.

Contudo, como no estudo da combustão não se contabilizou a humidade presente no ar alimentado aos geradores de calor, esta foi posteriormente determinada e adicionada à massa de gases de combustão gerados. Assim, através da equação 1.6, foi possível determinar a energia perdida por cada gerador, no sistema de exaustão (Tabela D.4, Anexo D). Na sua totalidade, estas perdas nos gases de combustão apresentam um valor de $8,2 \times 10^6$ kJ/dia.

Conhecidos estes valores, e após a determinação da energia gerada pelo gás natural consumido em cada gerador (Equação 1.7), calculou-se o rendimento dos geradores de calor instalados na olaria, através da Equação 1.8, bem como o *input* de energia fornecido pela combustão do gás natural na olaria, que ronda os $7,2 \times 10^7$ kJ/dia.

Na tabela 2.12 encontram-se os valores dos rendimentos de cada um dos geradores de calor.

Tabela 2.12 - Rendimento dos geradores de calor.

Gerador	Q_{GN} (kJ/dia)	Q_{GC} (kJ/dia)	$\eta_{Geradores}$ (%)
Geradores Baterias - P. Norte	$6,26 \times 10^6$	$7,80 \times 10^5$	87,5
Geradores Elevador	$1,66 \times 10^7$	$1,88 \times 10^6$	88,7
Lado Norte	$2,86 \times 10^7$	$3,14 \times 10^6$	89,0
Lado Centro	$1,09 \times 10^4$	$1,39 \times 10^3$	87,2
Lado Sul	$2,04 \times 10^7$	$2,42 \times 10^6$	88,1

Analisando a tabela 2.12, pode verificar-se que o rendimento médio dos geradores de calor é de 88,1%, o que pode ser considerado bastante bom, tendo em conta os valores típicos para este tipo de equipamento industrial.

2.2.6 Barbotina e Peças

A produção das peças em si, é igualmente responsável por um fluxo térmico considerável. Nomeadamente, a entrada da barbotina (pasta injectada nos moldes) e posterior saída de produto acabado, uma vez que estes levam consigo determinada quantidade de energia. No cálculo destes dois fluxos energéticos, considerou-se uma temperatura de referência de 0°C.

Este ciclo inicia-se com a entrada da pasta na fracção autónoma, para posteriormente ser injectada nas baterias. Tendo por base o registo da produção de 2011, determinou-se que, diariamente, foram efectuados cerca de 500 enchimentos nas baterias, sendo que cada um deles consumia uma média de 25 kg de pasta. Na tabela 2.13 encontra-se os valores considerados na determinação da energia associada à entrada da barbotina na olaria.

Tabela 2.13 - Energia associada à entrada da barbotina na olaria.

	Número médio de enchimentos	M _{Pasta por peça} (kg)	C _{pPasta} (kJ/kgK)	ΔT (°C)	Q _{Pasta} (kJ/dia)
Barbotina	500	25	0,775	16	1,6x10 ⁵

Tal como se pode concluir pela análise da tabela 2.13, entra por dia cerca de 1,6x10⁵ kJ/dia associados à barbotina necessária à produção.

Porém, dos 500 enchimentos efectuados, assumiu-se que apenas uma média de 400 é que são acabados na olaria, pois existem sempre quebras ao longo do processo. Uma vez secas, as peças são colocadas nas cestas, de forma a serem encaminhadas para o andar inferior do edifício e assim concluir o processo produtivo. Ao realizar este percurso transportam igualmente alguma energia (Tabela 2.14).

Tabela 2.14 - Energia associada à saída das peças da olaria.

	Número médio	M _{Média Peça} (kg)	C _{pPorcelana} (kJ/kg.K)	ΔT (°C)	Q _{Peças} (kJ/dia)
Peças	400	20	0,775	33	2,0x10 ⁵

Da análise da tabela 2.14 verifica-se que a saída das peças da olaria é responsável por um *output* diário de 2,0x10⁵ kJ.

2.3 Balanços de Massa

Paralelamente aos balanços de energia, efectuaram-se também balanços de massa ao ar húmido e ao vapor de água na fracção autónoma, de forma a analisar os desvios existentes.

2.3.1 Balanço de Massa ao Ar Húmido

O balanço de massa ao ar húmido foi efectuado sabendo que este entra na olaria exclusivamente através dos orifícios que potenciam a entrada de ar de renovação (Tabela C.3, Anexo C). Relativamente às saídas, sabe-se que uma parte vai juntamente com os gases de combustão dos geradores de calor e a outra sai através dos orifícios que potenciam a saída do ar de exaustão (Tabela C.2, Anexo C).

A massa de ar de renovação que é utilizado para a combustão foi calculada através do somatório do ar necessário à combustão em cada gerador de calor, tendo em consideração os 30% de excesso considerado (Tabela D.3, Anexo D).

Por sua vez, o ar que sai juntamente com os gases de combustão foi determinado através do somatório da quantificação mássica de azoto e oxigénio nos gases de combustão de cada gerador de calor (Tabela D.4, Anexo D).

Na figura 2.3, encontra-se um esquema resumo deste balanço.

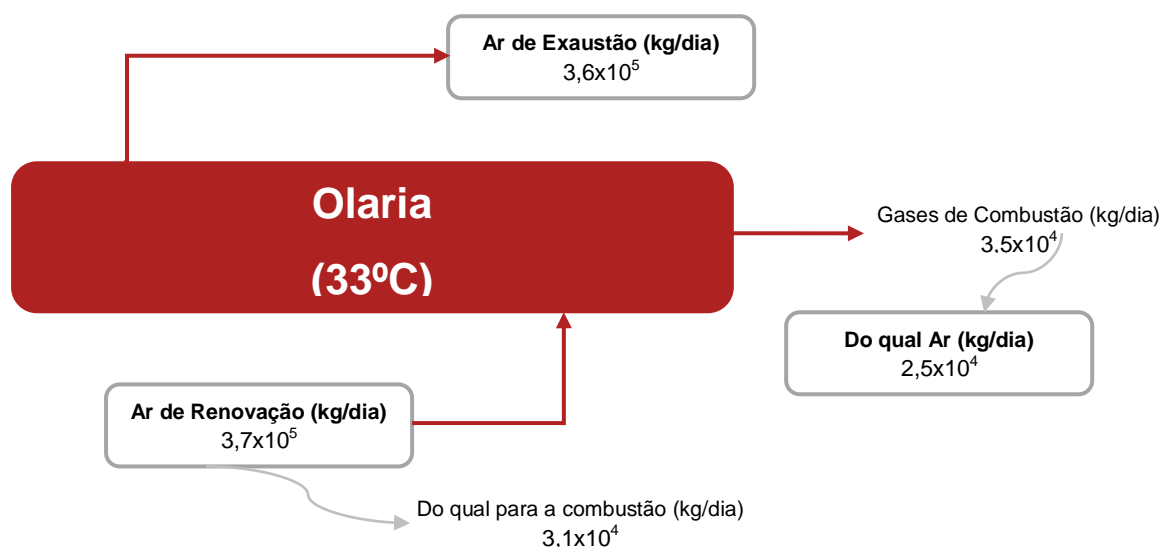


Figura 2.3 - Diagrama da circulação diária de ar húmido na olaria.

A partir dos valores apresentados na figura 2.3 determinou-se existir um desvio de 3,5% entre as saídas e as entradas de ar da fracção autónoma. Este desvio pode atribuir-se à dificuldade de determinar com exactidão todos locais de circulação de ar parasita, bem como as suas áreas.

2.3.2 Balanço de Massa à Água

Relativamente ao estudo da circulação de água na olaria, efectuou-se o balanço mássico, sabendo que o seu percurso se divide entre o ar e as pastas, tal como se encontra esquematizado na figura 2.4.

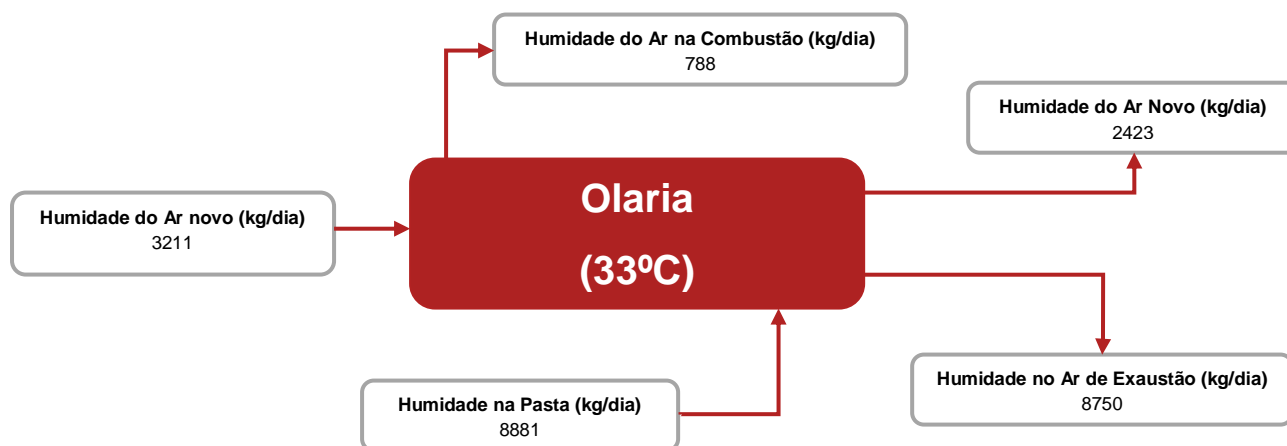


Figura 2.4 - Diagrama da circulação diária de vapor de água na olaria.

A massa de água contida no ar novo foi determinada considerando uma humidade relativa de 78% no caudal total de ar novo (Anexo C). Como uma parte deste ar foi alimentada aos geradores de calor, levando consigo determinada quantidade de humidade, calculou-se a partir da tabela D.4 (Anexo D), o somatório da massa de humidade do ar de combustão.

A diferença entre a humidade do ar novo e do ar na combustão possibilitou a quantificação da humidade do ar novo que abandona a olaria. Juntamente com esta massa, sai ainda a humidade no ar de exaustão que foi determinada considerando a evaporação de água durante a secagem das peças, cerca de 30 % da massa de pasta injectada por peça (Tabela 2.13).

De notar que a humidade inicial da pasta foi determinada tendo em conta os 30% que evaporaram para o ar de exaustão mais 1,5 % que permanece em média no produto depois de acabado.

A análise dos valores registados na figura 2.4, demonstram um desvio de 1,1% entre as entradas e as saídas.

2.4 Análise dos Resultados Obtidos

De forma a facilitar a análise da informação debitada no sub-capítulo anterior, apresenta-se na tabela 2.15 um resumo dos fluxos de saída de energia na olaria.

Tabela 2.15 - Fluxos de saída de energia na Olaria.

Saídas	Perda Térmica (kJ/dia)	Peso Relativo (%)
Envolvente	$3,1 \times 10^7$	38,2%
Ar de Exaustão	$3,4 \times 10^7$	42,1%
Inércia Térmica	$7,6 \times 10^6$	9,4%
Saída das Peças	$2,0 \times 10^5$	0,3%
Gases de Combustão	$8,2 \times 10^6$	10,1%
TOTAL	$8,2 \times 10^7$	100,0%

Na tabela 2.16 encontra-se um resumo dos fluxos de entrada de energia na olaria.

Tabela 2.16 - Fluxos de entrada de energia na Olaria.

Entradas	Ganho Térmico (kJ/dia)	Peso Relativo (%)
Ganhos Solares	$5,8 \times 10^5$	0,7%
Combustão do Gás Natural	$7,2 \times 10^7$	82,6%
Ar de Renovação	$1,4 \times 10^7$	16,1%
Geração Interna de Calor	$4,4 \times 10^5$	0,5%
Entrada da Pasta	$1,6 \times 10^5$	0,2%
TOTAL	$8,7 \times 10^7$	100,0%

O desvio apresentado entre as entradas e as saídas do balanço energético foi de 6,7%, o que pode dever-se essencialmente à dificuldade de determinar, com total exactidão, as áreas das fendas de circulação de ar parasita. Uma pequena percentagem desse desvio, pode também atribuir-se ao facto de o número de enchimentos, bem como o número de produtos acabados considerados, serem uma média anual ponderada, enquanto os valores de gás natural consumido para as produzir, é um valor exacto.

3. Optimização Energética

Face aos resultados obtidos com o levantamento energético da olaria número 3, foi possível identificar algumas medidas de optimização energética, no sentido de reduzir as perdas térmicas. Estas consistiram essencialmente no isolamento térmico da fracção autónoma, com o objectivo de reduzir o consumo de gás natural.

3.1 Identificação de Medidas

Como os cinco geradores de calor da olaria apresentam um consumo considerável de gás natural, delineou-se como objectivos do trabalho a procura de uma forma de reduzir esta factura energética, nomeadamente, através do isolamento dos elementos da olaria.

Na figura 3.1, está representado o resumo das perdas térmicas registadas na fracção autónoma. Com esta informação foi possível definir a prioridade de intervenção nos diversos elementos.



Figura 3.1 - Perdas térmicas registadas na Olaria.

Na tabela 3.1 apresenta-se a descrição das soluções de melhoria efectuadas para cada área de intervenção. Estas foram diferenciadas em intermédias e óptimas, de acordo com o montante do investimento exigido para a sua implementação.

Tabela 3.1 - Descrição das soluções de melhoria sugeridas.

Área de Intervenção	Tipo de Solução	Descrição
Cobertura	Intermédia	Substituição do isolamento actual por placas de poliuretano com 30 mm de espessura
	Ótima	Painel <i>Sandwich</i> de Cobertura
Pavimento	Intermédia 1	Colocação de placas de poliuretano, com 20 mm de espessura, no tecto do piso inferior
	Intermédia 2	Colocação de placas de poliuretano, com 30 mm de espessura, no tecto do piso inferior
Paredes e Pilares	Intermédia	Isolamento no exterior, com placas de poliuretano de 30 mm de espessura e revestimento com chapas de ferro galvanizado
	Ótima	Painel <i>Sandwich</i> de Fachada
Circulação de Ar Parasita	Intermédia	Redução de 20% da área livre, nos locais que providenciam a entrada de ar parasita na olaria, através do seu isolamento.

Por fim, e porque nas chaminés dos fornos cerâmicos pode aproveitar-se grandes quantidades de energia, procurou-se uma forma de o fazer.

No piso 0 do edifício encontra-se instalado um forno cuja chaminé de extracção de gases de combustão e ar em excesso atravessa o piso superior, da olaria (assinalado a cor de tijolo na figura 3.2). Assim, achou-se interessante estudar a viabilidade do aproveitamento do ar quente proveniente do forno, através da instalação de um sistema de controlo.



Figura 3.2 - Chaminé do forno da olaria.

Este sistema é constituído por um sensor, que permite medir a temperatura do ar que sai do forno e uma válvula. Quando o sensor detecta uma temperatura média de 100°C, é accionada a válvula, que ao abrir vai desviar esse ar para o interior da olaria, aquecendo por consequência o seu ar ambiente. Seleccionou-se uma temperatura média entre 90 a 120°C, uma vez que neste intervalo de temperaturas já não está a ser queimando gás natural ao forno.

Este pré-aquecimento do ar alimentado aos geradores de calor vai permitir uma diminuição do consumo de gás natural.

3.2 Análise da Implementação das Medidas de Optimização

Tendo em linha de consideração o comportamento térmico dos materiais incorporados nos elementos construtivos, determinou-se a poupança energética alcançada com implementação das novas medidas. Efectuando-se também o estudo do tempo de retorno do investimento.

A poupança energética alcançada com cada medida e respectiva poupança económica, tem por base um dia médio de trabalho. No cálculo da energia poupada, considerou-se o rendimento dos geradores de calor e o custo do m³ do gás natural é referente ao ano dos registos fornecidos pela empresa (2011).

Relativamente aos dados económicos apresentados, foram convertidos a base anual, assumindo que uma semana equivale a 5 dias de trabalho e que o ano laboral tem 46 semanas. Consideraram-se viáveis as medidas com um período de retorno do investimento inferior a 5 anos.

Os cálculos efectuados encontram-se explicados com maior detalhe no Anexo E.

3.2.1 Medidas de Optimização para a Cobertura

No estudo das soluções intermédias de optimização da cobertura, optou-se inicialmente, por testar o impacto da utilização de um isolamento com espessuras diferentes. Então comparou-se um isolamento de poliuretano (PU) expandido de 30 mm com o de 40 mm.

Nesta análise, considerou-se a resistência térmica que cada uma das espessuras para determinar o coeficiente global de transferência de calor que a cobertura passaria a apresentar (Tabelas E.1 e E.4, Anexo E). Posteriormente, recorrendo novamente à folha de cálculo relativa às perdas pela cobertura, e tendo em conta as condições de temperatura da olaria, determinou-se a perda térmica associada a cada uma das condutividades totais do elemento (Tabela E.2 e E.5, Anexo E).

Através da diferença da perda térmica sofrida pela solução actual e os valores determinados, calculou-se a poupança energética com a implementação das novas medidas, convertendo-se estes valores de unidades de energia em unidades monetárias, de forma a facilitar a análise e a determinação dos períodos de retorno dos investimentos.

Na tabela 3.2, apresenta-se a análise económica relativa à solução intermédia 1, para a cobertura.

Tabela 3.2 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 1 para a cobertura.

Análise Económica	
Investimento (€)	26.549
Q_{Poupada} (kJ/dia)	$8,2 \times 10^5$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$9,3 \times 10^5$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	19
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	23
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	2.402
Período de Retorno (anos)	11,1

Na tabela 3.3, apresenta-se a análise económica relativa à solução intermédia 2, para a cobertura.

Tabela 3.3 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 2 para a cobertura.

Análise Económica	
Investimento (€)	35.008
Q_{Poupada} (kJ/dia)	$1,1 \times 10^6$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$1,2 \times 10^6$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	25
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	31
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	3.220
Período de Retorno (anos)	10,9

Verificou-se que a variação da espessura não apresenta um impacto muito significativo na poupança de energia logo nenhuma das soluções é viável.

Relativamente à solução óptima, assumiu-se que toda a área de cobertura foi substituída por painéis *sandwich*, deixando de existir zonas sem isolamento, de forma a assegurar a estanquicidade.

Com as características de isolamento registadas na tabela E.5 (Anexo E), a solução passa a apresentar perdas térmicas muito inferiores às actuais (Tabela E.6, Anexo E).

Na tabela 3.4, apresenta-se a análise económica relativa à solução óptima, para a cobertura.

Tabela 3.4 - Análise económica da solução de melhoria óptima para a cobertura.

Análise Económica	
Investimento (€)	57.029
Q_{Poupada} (kJ/dia)	2,2x10 ⁷
η_{Médio Geradores} (%)	88,1
Q_{Equivalente} (kJ/dia)	2,5x10 ⁷
m_{GN poupado} (kg/dia)	511
V_{GN poupado} (m³/dia)	626
Custo do Gás Natural (€/m³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	64.796
Período de Retorno (anos)	0,9

Apesar de exigir um investimento inicial muito superior às soluções anteriores, a solução óptima apresenta um período de retorno muito inferior, devido à poupança energética que potencia.

3.2.2 Medidas de Optimização para o Pavimento

Relativamente ao pavimento, tal como já foi referido anteriormente, apenas foram comparadas duas soluções intermédias. Como o pavimento está em contacto com o andar inferior do edifício, não se encontra exposto às condições climáticas, portanto, não se justifica a adopção de medidas óptimas de melhoria.

Para determinar as perdas térmicas sofridas por este elemento, recorreu-se novamente à folha de cálculo FCIC.1b.

Ao adoptar a solução intermédia 1 (Isolamento PU expandido com 20 mm), verificou-se uma melhoria nas características de isolamento do pavimento e, conseqüentemente, menores

perdas (Tabelas E.7 e E.8, Anexo E). Na tabela 3.5 encontra-se a análise económica efectuada à solução intermédia 1.

Tabela 3.5 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 1 para o pavimento.

Análise Económica	
Investimento (€)	21.708
Q_{Poupada} (kJ/dia)	$2,5 \times 10^6$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$2,9 \times 10^6$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	59
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	72
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	7.442
Período de Retorno (anos)	2,9

À semelhança do que se efectuou com a cobertura, entre as soluções intermédias 1 e 2 para o pavimento, também se variou apenas a espessura das placas de poliuretano expandido.

Na solução intermédia 2, com o isolamento de 30 mm, a condutividade térmica do pavimento diminui (Tabela E.9, Anexo E), potenciando uma maior diminuição das perdas energéticas através deste elemento (Tabela E.10, Anexo E).

A análise económica efectuada para a solução intermédia 2 para o pavimento, encontra-se na tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Análise económica da solução de melhoria intermédia 2 para o pavimento.

Análise Económica	
Investimento (€)	31.860
Q_{Poupada} (kJ/dia)	$2,8 \times 10^6$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$3,1 \times 10^6$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	64
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	79
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	8.147
Período de Retorno (anos)	3,9

Verificou-se que as duas soluções apresentavam alguma viabilidade económica, uma vez que possuem períodos de retorno de 2,9 e 3,9 anos, respectivamente.

3.2.3 Medidas de Optimização para Paredes e Pilares

No isolamento das paredes e pilares do edifício, foram sugeridas duas medidas, uma intermédia e outra óptima.

Recorrendo às características térmicas da solução intermédia, registadas na tabela E.11 do anexo E, determinou-se a perda energética sofrida pelo elemento, através da folha de cálculo FCIV 1a (Tabela E.12, Anexo E).

Na tabela 3.7 apresenta-se a análise económica efectuada para a solução intermédia, para paredes e pilares.

Tabela 3.7 - Análise económica da solução de melhoria intermédia para paredes e pilares.

Análise Económica	
Investimento (€)	19.849
Q_{Poupada} (kJ/dia)	3,1x10 ⁶
η_{Médio Geradores} (%)	88,1
Q_{Equivalente} (kJ/dia)	3,5x10 ⁶
m_{GN poupado} (kg/dia)	72
V_{GN poupado} (m³/dia)	89
Custo do Gás Natural (€/m³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	9.183
Período de Retorno (anos)	2,2

Por outro lado, na análise da colocação de painéis *sandwich* de fachada (solução óptima), verificou-se novamente uma melhoria do desempenho térmico da envolvente opaca (Tabela E.13 e E.14, Anexo E), traduzindo-se nos valores da análise económica, registados na tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Análise económica da solução de melhoria óptima para paredes e pilares.

Análise Económica	
Investimento (€)	24.220
Q_{Poupada} (kJ/dia)	$3,3 \times 10^6$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$3,8 \times 10^6$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	78
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	95
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	9.831
Período de Retorno (anos)	2,5

Apesar de apresentar maior poupança energética, a solução óptima exige um investimento superior, pelo que, o seu período de retorno acaba por ser superior ao da solução intermédia.

3.2.4 Medidas de Optimização para a Circulação de Ar Parasita

Relativamente ao isolamento de 20% da área livre dos locais potenciadores de saída de ar parasita, pode observar-se na tabela 3.9 os efeitos da implementação em termos de poupança energética

Tabela 3.9 - Análise económica da solução de isolamento dos locais de saída de ar parasita.

Análise Económica	
Investimento (€)	8.000
Q_{Poupado} (kJ/dia)	$4,1 \times 10^6$
$\eta_{\text{Médio Geradores}}$ (%)	88,1
$Q_{\text{Equivalente}}$ (kJ/dia)	$4,6 \times 10^6$
$m_{\text{GN poupado}}$ (kg/dia)	94
$V_{\text{GN poupado}}$ (m ³ /dia)	116
Custo do Gás Natural (€/m ³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	11.964
Período de Retorno (anos)	0,67

Ao reduzir a área livre, as perdas relativas à entrada e saída de ar reduzem-se na mesma proporção, no caso da entrada desceram de $1,4 \times 10^7$ kJ/dia para $1,1 \times 10^7$ kJ/dia e no caso da saída de $3,4 \times 10^7$ para $2,7 \times 10^7$ kJ/dia.

Pode verificar-se que a relação entre a poupança energética obtida e o investimento necessário é bastante boa, uma vez que, o período de retorno equivale a cerca de 7 meses.

3.2.5 Sistema de controlo

O estudo da instalação do sistema de controlo na chaminé do forno, que atravessa a olaria, foi efectuado sabendo que este debitará um caudal de ar de $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ para o seu interior, durante 3 horas, por cada dia de trabalho. O correspondente a $5,7 \times 10^5$ kJ diários (Tabela 3.10).

Tabela 3.10 - Estudo da implementação do sistema de controlo.

Sistema de Controlo - Características	
Investimento (€)	4.000
$V_{\text{Ar}} \text{ debitado (m}^3/\text{h)}$	3000
$T_{\text{funcionamento diário (h)}}$	3
$m_{\text{Ar recirculado (kg/h)}}$	2831
$M_{\text{Ar recirculado (kg/dia)}}$	8492
$T_{\text{Média Ar Recirc. (}^\circ\text{C)}}$	100
$T_{\text{interior Olaria (}^\circ\text{C)}}$	33
$Q_{\text{Ar recirculado (kJ/dia)}}$	$5,7 \times 10^5$

Desta forma, determinou-se que a poupança de energia com o sistema de controlo, equivale a $6,5 \times 10^5$ kJ/dia, caso fosse produzida pelos geradores de calor.

Na tabela 3.11, apresentam-se os dados referentes a esta poupança, onde a massa de gás natural registada é igual à razão entre a energia equivalente e o PCI deste combustível.

Tabela 3.11 - Análise económica do sistema de controlo.

Análise Económica	
m_{GN} poupado (kg/dia)	13,3
V_{GN} poupado (m³/dia)	16,3
Custo do GN (€/m³)	0,45
Poupança obtida (€/ano)	1.686
Período de Retorno (anos)	2,4

Verificou-se que o período de retorno do sistema de controlo é inferior a 5 anos, tornando-o uma medida viável.

3.3 Análise dos Indicadores Económicos

A implementação das medidas de optimização sugeridas exige uma aplicação de fundos financeiros que, aplicados de outra forma, poderiam gerar riqueza para a empresa. Desta forma, foi necessário avaliar determinados indicadores financeiros, que permitiram decidir a implementação, ou não, das soluções de isolamento.

Os custos de investimento considerados neste estudo admitem que o investimento é totalmente realizado no ano zero, sendo que nos restantes anos do período de vida do projecto, obter-se-ão as receitas geradas (poupança energética). De referir que, o montante de investimento já compreende todas as despesas necessárias para adquirir e instalar os materiais.

Porém, como existem sempre custos associados à conservação das infraestruturas, considerou-se um valor anual para esta rubrica, equivalente a 5% do investimento inicial em cada medida.

Os Cash-flow's determinados não são mais do que a diferença entre os custos de conservação e os custos de investimento. No entanto, como o dinheiro desvaloriza ao longo do tempo, foi necessário determinar o valor das receitas ao longo do projecto.

A utilização deste factor de actualização (Equação 3.2) permitiu projectar no futuro, os fluxos de rendimento do momento.

$$\text{Factor de Actualização} = \frac{1}{(1 + i)^n} \quad (3.2)$$

onde i corresponde à taxa de actualização ou desconto e n ao período de tempo (ano).

Assim, foi possível determinar o Valor Actual Líquido (VAL), que não é mais do que a comparação dos fluxos de caixa gerados no projecto com o investimento efectuado. Considerou-se que o projecto é rentável sempre que $VAL > 0$, pois só assim, permite a recuperação do investimento inicial, a remuneração mínima que o investidor exige (representada pela taxa de actualização) e ainda a geração de lucro (excedente financeiro).

Determinou-se também a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), a taxa de actualização do projecto que anula o VAL. O critério de decisão, relativamente a este indicador, consiste na

execução do projecto, sempre que o seu valor é superior à taxa de juro de referência (custo de oportunidade do capital investido).

Em suma, a aceitação, ou não, das medidas de optimização apresentadas baseou-se não só no tempo de retorno do investimento, mas também na sua rentabilidade. Isto é, na apresentação de um VAL positivo e/ou uma TIR superior ou igual à taxa de actualização (desconto) considerada, 7% [21].

Nas tabelas 3.12, 3.13 e 3.14, apresentam-se o estudo do VAL e da TIR para cada uma das soluções de melhoria apresentadas para a cobertura.

Tabela 3.12 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 1 para a cobertura.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 26.549 €	-26.549 €	1	- 26.549 €	- 26.549 €		
1	- 1.327 €	2.402 €	1.075 €	0,93	1.004 €	- 25.544 €	- 23.873 €	--
2	- 1.327 €	2.402 €	1.075 €	0,87	939 €	- 24.606 €	- 22.996 €	--
3	- 1.327 €	2.402 €	1.075 €	0,82	877 €	- 23.728 €	- 22.176 €	--
4	- 1.327 €	2.402 €	1.075 €	0,76	820 €	- 22.908 €	- 21.410 €	--
5	- 1.327 €	2.402 €	1.075 €	0,71	766 €	- 22.142 €	- 20.693 €	--

Tal como se pode verificar, a medida de optimização não apresentou rentabilidade, uma vez que apresenta um valor actual líquido negativo durante todo o tempo de vida útil do projecto, pelo que é totalmente desaconselhada a sua implementação.

Tabela 3.13 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 2 para a cobertura.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 35.008 €	-35.008 €	1	- 35.008 €	- 35.008 €		
1	- 1.750 €	3.220 €	1.470 €	0,93	1.374 €	- 33.635 €	- 31.434 €	--
2	- 1.750 €	3.220 €	1.470 €	0,87	1.284 €	- 32.351 €	- 30.234 €	--
3	- 1.750 €	3.220 €	1.470 €	0,82	1.200 €	- 31.151 €	- 29.113 €	--
4	- 1.750 €	3.220 €	1.470 €	0,76	1.121 €	- 30.029 €	- 28.065 €	--
5	- 1.750 €	3.220 €	1.470 €	0,71	1.048 €	- 28.981 €	- 27.085 €	--

Também esta medida apresentou um valor actual líquido negativo no fim do projecto, não sendo igualmente aconselhável o investimento.

Tabela 3.14 - Estudo do VAL e da TIR da solução óptima para a cobertura.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 57.029 €	-57.029 €	1	- 57.029 €	- 57.029 €		
1	- 2.851 €	64.796 €	61.944 €	0,93	57.892 €	863 €	806 €	2%
2	- 2.851 €	64.796 €	61.944 €	0,87	54.104 €	54.967 €	51.371 €	61%
3	- 2.851 €	64.796 €	61.944 €	0,82	50.565 €	105.532 €	98.628 €	81%
4	- 2.851 €	64.796 €	61.944 €	0,76	47.257 €	152.789 €	142.793 €	89%
5	- 2.851 €	64.796 €	61.944 €	0,71	44.165 €	196.954 €	184.069 €	92%

Contrariamente às medidas anteriores, esta medida apresentou total viabilidade, obtendo um valor actual líquido positivo logo no fim do primeiro ano, bem como uma taxa interna de rentabilidade no fim do projecto, muito superior ao custo de oportunidade do capital.

Nas tabelas 3.15 e 3.16, apresentam-se o estudo do VAL e da TIR para cada uma das soluções de melhoria apresentadas para o pavimento.

Tabela 3.15 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 1 para o pavimento.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 21.708 €	-21.708 €	1	- 21.708 €	- 21.708 €		
1	-1.085 €	7.442 €	6.357 €	0,93	5.941 €	- 15.767 €	- 14.736 €	--
2	-1.085 €	7.442 €	6.357 €	0,87	5.552 €	- 10.215 €	- 9.547 €	-34%
3	-1.085 €	7.442 €	6.357 €	0,82	5.189 €	- 5.026 €	- 4.697 €	-12%
4	-1.085 €	7.442 €	6.357 €	0,76	4.849 €	- 177 €	- 165 €	0%
5	-1.085 €	7.442 €	6.357 €	0,71	4.532 €	4.355 €	4.070 €	7%

A medida apresentada na tabela 3.15, apresentou viabilidade económica, no entanto, envolve algum risco no investimento, uma vez que só alcançou um valor actual líquido positivo no último ano de vida útil do projecto e a sua taxa interna de rentabilidade no mesmo ano é igual ao custo de oportunidade do capital. Ou seja, não existe lucro.

Tabela 3.16 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia 2 para o pavimento.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 31.860 €	-31.860 €	1	- 31.860 €	- 31.860 €		
1	- 1.593 €	8.147 €	6.554 €	0,93	6.125 €	- 25.735 €	- 24.051 €	--
2	- 1.593 €	8.147 €	6.554 €	0,87	5.725 €	- 20.010 €	- 18.701 €	--
3	- 1.593 €	8.147 €	6.554 €	0,82	5.350 €	- 14.660 €	- 13.701 €	-26%
4	- 1.593 €	8.147 €	6.554 €	0,76	5.000 €	- 9.660 €	- 9.028 €	-13%
5	- 1.593 €	8.147 €	6.554 €	0,71	4.673 €	- 4.987 €	- 4.661 €	-6%

A medida apresentada na tabela 3.16, não apresentou viabilidade económica, uma vez que não possui um VAL e/ou uma TIR positivos em nenhum ano de vida útil do projecto de investimento.

Nas tabelas 3.17 e 3.18, apresentam-se o estudo do VAL e da TIR para cada uma das soluções de melhoria apresentadas para as fachadas.

Tabela 3.17 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia para as paredes e pilares.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 19.849 €	-19.849 €	1	- 19.849 €	- 19.849 €		
1	-992 €	9.183 €	8.191 €	0,93	7.655 €	- 12.194 €	- 11.397 €	--
2	-992 €	9.183 €	8.191 €	0,87	7.154 €	- 5.040 €	- 4.711 €	-18%
3	-992 €	9.183 €	8.191 €	0,82	6.686 €	1.646 €	1.538 €	4%
4	-992 €	9.183 €	8.191 €	0,76	6.249 €	7.894 €	7.378 €	15%
5	-992 €	9.183 €	8.191 €	0,71	5.840 €	13.734 €	12.835 €	22%

A solução intermédia sugerida para as paredes e pilares, apresentou viabilidade económica a partir do fim do terceiro ano, no entanto, só no quarto ano é que apresentou uma taxa interna de rentabilidade económica superior ao custo de oportunidade do capital. É um investimento viável.

Tabela 3.18 - Estudo do VAL e da TIR da solução óptima para as paredes e pilares.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 24.220 €	-24.220 €	1	- 24.220 €	- 24.220 €		
1	-1.211 €	9.831 €	8.620 €	0,93	8.056 €	- 16.164 €	- 15.106 €	--
2	-1.211 €	9.831 €	8.620 €	0,87	7.529 €	- 8.635 €	- 8.070 €	-25%
3	-1.211 €	9.831 €	8.620 €	0,82	7.036 €	- 1.598 €	- 1.494 €	-3%
4	-1.211 €	9.831 €	8.620 €	0,76	6.576 €	4.978 €	4.652 €	8%
5	-1.211 €	9.831 €	8.620 €	0,71	6.146 €	11.124 €	10.396 €	15%

Também a medida apresentada na tabela 3.18, é economicamente viável, no entanto, só a partir do quarto ano é que alcançou um valor actual líquido positivo, apresentando simultaneamente uma TIR superior ao custo de oportunidade do capital.

Na tabela 3.19, apresenta-se o estudo do VAL e da TIR associados à solução de melhoria apresentada para o isolamento das fendas existentes no edifício.

Tabela 3.19 - Estudo do VAL e da TIR da solução intermédia para as saídas de ar parasita.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 8.000 €	- 8.000 €	1	- 8.000 €	- 8.000 €		
1	-400 €	11.964 €	11.564 €	0,93	10.807 €	2.807 €	2.624 €	35%
2	-400 €	11.964 €	11.564 €	0,87	10.100 €	12.907 €	12.063 €	99%
3	-400 €	11.964 €	11.564 €	0,82	9.439 €	22.347 €	20.885 €	118%
4	-400 €	11.964 €	11.564 €	0,76	8.822 €	31.169 €	29.130 €	124%
5	-400 €	11.964 €	11.564 €	0,71	8.245 €	39.413 €	36.835 €	127%

A medida sugerida no isolamento das fendas do edifício é totalmente viável, uma vez que apresentou logo no final do primeiro ano um VAL positivo e uma TIR muito superior ao custo de oportunidade do capital. Sendo que no final do projecto, o lucro gerado pela implementação desta medida é muito considerável.

Na tabela 3.20, apresenta-se o estudo do VAL e da TIR, do sistema de controlo.

Tabela 3.20 - Estudo do VAL e da TIR do sistema de controlo.

ANO	C _{Conservação}	C _{Investimento}	CF	F _{Actualização}	CFA	CF _{Acumulado}	VAL	TIR
0		- 4.000 €	- 4.000 €	1	- 4.000 €	- 4.000 €		
1	-200 €	1.686 €	1.486 €	0,93	1.389 €	- 2.611 €	- 2.440 €	--
2	-200 €	1.686 €	1.486 €	0,87	1.298 €	- 1.313 €	- 1.227 €	-23%
3	-200 €	1.686 €	1.486 €	0,82	1.213 €	- 100 €	- 94 €	-1%
4	-200 €	1.686 €	1.486 €	0,76	1.134 €	1.033 €	966 €	10%
5	-200 €	1.686 €	1.486 €	0,71	1.059 €	2.093 €	1.956 €	17%

O investimento no sistema de controlo apresentou viabilidade económica, obtendo um VAL positivo e uma TIR superior ao custo de oportunidade do capital a partir do quarto ano de vida útil.

3.4 Selecção das Medidas de Optimização Mais Favoráveis

Na tabela 3.21, encontram-se os custos anuais das perdas energéticas de cada elemento, na actualidade.

Tabela 3.21 - Custos anuais das perdas pelos elementos de construção.

Elemento	Perda térmica (kJ/dia)	Q _{Equivalente} (kJ/dia)	M _{GN Consumido} (kg/dia)	V _{GN Consumido} (m ³ /dia)	Custo (€/ano)
Cobertura	2,3x10 ⁷	2,6x10 ⁷	528	646	66.892 €
Pavimento	3,5x10 ⁶	4,0x10 ⁶	82	100	10.330 €
Paredes e Pilares	3,6x10 ⁶	4,1x10 ⁶	84	103	10.652 €
Saida de ar parasita	2,0x10 ⁷	2,3x10 ⁷	472	578	59.819 €

Na tabela 3.22 encontra-se uma compilação das medidas de isolamento aconselhadas, para cada elemento, tendo em conta a poupança energética que potenciam, o investimento exigido e respectivo tempo de retorno, bem como a análise dos indicadores económicos estudados para cada caso.

Tabela 3.22 - Estudo da implementação das medidas de optimização nos elementos de construção.

Área de intervenção	Solução de melhoria	Poupança Energética (kJ/dia)	Análise Económica		
			Investimento (€)	Poupança Anual (€)	Período de retorno (anos)
Cobertura	Ótima	2,2x10 ⁷	57.029 €	64.796 €	0,9
Pavimento	Intermédia 1	2,5x10 ⁶	21.708 €	7.442 €	2,9
Paredes e Pilares	Intermédia	3,1x10 ⁶	19.849 €	9.183 €	2,2
Ar parasita	Intermédia	4,1x10 ⁶	8.000 €	11.964 €	0,67

4. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Após ter sido efectuado o levantamento energético à olaria n.º3, verificou-se que a fracção autónoma apresenta um ganho térmico total de $8,7 \times 10^7$ kJ/dia e uma perda energética de $8,2 \times 10^7$ kJ/dia. Estes valores apresentam um desvio de 6,7% entre si, o que pode dever-se, essencialmente, à dificuldade de contabilizar com exactidão as fendas do edifício que propiciam a circulação parasita de ar.

Observou-se que as principais percentagens de perdas térmicas ocorrem pela envolvente e ar de exaustão, apresentando pesos relativos de, respectivamente, 38% e 42%, do valor total.

Com base nestes valores, foram sugeridas algumas medidas de optimização no isolamento térmico da fracção autónoma, cujas áreas de intervenção passam pela cobertura, pavimento, paredes, pilares e fendas da olaria. As soluções apresentadas, foram classificadas como intermédias ou óptimas, de acordo com o grau de investimento exigido.

Posteriormente, para seleccionar as soluções mais aconselháveis, foi tido em consideração o tempo de retorno do investimento. Porém, como os fundos financeiros necessários, quando aplicados de outra forma, poderiam gerar riqueza para a empresa, foram adicionalmente estudados dois indicadores económicos, o Valor Actualizado Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR). Estes foram estudados durante um tempo de vida útil de 5 anos, uma vez que espera-se que seja este o tempo máximo admitido para o retorno do investimento.

Para a cobertura, começou-se por sugerir três soluções de optimização, duas intermédias e uma óptima. Entre a solução intermédia 1 e 2 apenas se variou a espessura do isolamento, na primeira utilizou-se placas de poliuretano expandido (PU) com 30 mm de espessura e na segunda, placas de PU com 40 mm. Após esta comparação, verificou-se que a espessura, não tem uma influência considerável no isolamento, de forma que se eliminou a espessura de 30 mm.

A solução óptima, propõe a renovação de toda a cobertura, através da colocação de painéis *sandwich* de cobertura.

Verificou-se, após o estudo da implementação de ambas, que a solução intermédia seria inviável, por apresentar um tempo de retorno de 10,9 anos, apresentando valores de VAL e TIR negativos ao longo de todo o tempo de vida útil do projecto de investimento. Apesar de exigir um investimento inicial mais elevado, a segunda solução apresenta viabilidade

económica, pois a poupança alcançada com a sua implementação, permite um tempo de retorno de 0,9 anos. Apresenta ainda a vantagem de obter um VAL positivo, de 184.069€ ao fim do primeiro ano e uma TIR de 92% ao fim do quinto ano.

Relativamente ao isolamento do pavimento, como este seria colocado no tecto de outra fracção autónoma, situada no piso inferior da fábrica, apenas se sugeriu duas soluções intermédias. Estas distinguem-se essencialmente pela espessura das placas de PU expandido, 20 e 30 mm. Considerando apenas os tempos de retorno do investimento, ambas as soluções são viáveis, com 2,9 e 3,9 anos, respectivamente.

No entanto, analisando os indicadores económicos, verifica-se que a segunda não apresenta nenhum VAL positivo ao longo do tempo de vida útil considerado. Por outro lado, as placas de PU com 20 mm de espessura apresentam um VAL de 4.070€ no final do 5º ano, com uma TIR de 7%.

Na intervenção ao nível das paredes e pilares, sugeriu-se uma solução intermédia, com placas de 30 mm de espessura de PU expandido recobertas com chapas de ferro galvanizado e uma solução de ponta que visa a instalação de painéis *sandwich* de fachada em todas as paredes da olaria. Apresentam ambas viabilidade, com tempos de retorno de, respectivamente, 2,2 e 2,5 anos e Valores Actualizados Líquidos e Tempos de Retorno do Investimento positivos.

No entanto, a solução intermédia apresenta no fim do 5º ano um VAL de 12.835€ e uma TIR de 22%, ao passo que a solução óptima possui valores mais baixos, de 10.396€ e 15%, respectivamente.

Para colmatar uma parte das perdas energéticas associadas à circulação de ar parasita, apenas se sugeriu uma medida, esta propõe a redução de 20% da área livre das fendas. A solução apresenta um tempo de retorno consideravelmente baixo, de 0,67 anos (154 dias), o que a torna altamente viável, apresentando uma TIR de 35% logo ao fim do primeiro ano e um VAL de 36.835€ no fim do projecto.

Por último, sugeriu-se a instalação de um sistema de controlo na chaminé do forno que atravessa a olaria. Este debitaria um caudal de 3000 m³/h de ar, a 100°C, durante 3 horas por cada dia de trabalho. A medida é viável, uma vez que, o gás natural poupado nos geradores de calor, com o pré-aquecimento do ar alimentado, permitiria recuperar o investimento em 2,4 anos. Esta viabilidade é reforçada com o VAL de 1.956€ e uma TIR de 17%, no último ano de vida útil do projecto.

Conclui-se que das sete medidas de optimização apresentadas, seis são viáveis e, no seu todo, permitem a redução de uma parte dos custos de funcionamento da olaria. Porém, cinco apresentam-se mais vantajosa, sendo suficientes para garantir uma intervenção ao nível de todos os elementos.

Devido ao elevado teor de humidade, inerente às necessidades térmicas do processo produtivo, uma vez bem isolado, o edifício pode apresentar condensação, o que pode provocar danos físicos avultados, colocando simultaneamente em risco a saúde dos operários que o frequentam diariamente.

Como esta variável é difícil de prever com exactidão, e porque é imperativo controlar o teor de humidade no interior da olaria, assegurando uma ventilação adequada, sugere-se que em trabalhos futuros, após a implementação das medidas de optimização, seja efectuado um estudo da qualidade do ar ambiente, de forma a analisar a adequação da ventilação, realizando os ajustes necessários.

Aliado a esta análise pode também efectuar-se um estudo para a obtenção do volume e massa óptima da olaria, visando a minimização da renovação do ar e da massa interna da fracção autónoma.

Por fim, sugere-se ainda um estudo acerca da possibilidade de recuperação energética do ar quente de exaustão.

Bibliografia

- [1] Agrafiotis, C. and Tsoutsos, T., 2001. *Energy saving technologies in the European ceramic sector: a systematic review*. Applied Thermal Engineering 21 (2001) 1231 – 1249;
- [2] ECORYS Nederland BV, 2008. *FWC Sector Competitiveness Studies - Competitiveness of the Ceramics Sector*, Within the Framework Contract of Sectoral Competitiveness Studies – ENTR/06/054. Roterdão, Holanda. (Versão PDF do document descarregada em 9 de Dezembro de 2011);
- [3] Warren, M. P., Forrester, P. L., Hassard, J. S., Cotton, J. W., 2000. *Technological innovation antecedents in the UK ceramics industry*. International Journal of Production Economics 65 (2000) 85 – 98;
- [4] European Ceramic Industry Association: Key facts. Informação obtida a 14 de Dezembro de 2011: <http://www.cerameunie.eu/en/ceramic-industry/key-facts>;
- [5] Ceramic World Web – Il portale della ceramica. Informação obtida a 14 de Dezembro de 2011:<http://www.ceramicworldweb.it>;
- [6] European Ceramic Industry Association: Production Value 2005-2010. Informação obtida a 20 de Setembro de 2012: <http://www.cerameunie.eu/en/ceramic-industry/statistics/production-value-2005-2010>;
- [7] Liang, Y. and Dutta, S. P., 2000. *Application trend in advanced ceramic technologies*. Technovation 21 (2001) 61 – 65;
- [8] Rödel, J., Kouna, A. B. N., Weissenberger-Eibl, M., Koch, D., Bierwisch, A., Rossner W., Hoffmann, M. J., Danzer, R. e Schneider, G., 2008. *Development of a roadmap for advanced ceramics: 2010 – 2025*. Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 1549 – 1560;
- [9] Fábrica Cerâmica de Valadares. Informação obtida no site da empresa a 28 de Novembro de 2011: http://www.valadares.com/avl_organigr.php;
- [10] Fábrica Cerâmica de Valadares. Informação obtida no site da empresa a 28 de Novembro de 2011: http://www.valadares.com/avl_avl.php;
- [11] Consumo final de energia em Portugal (2008). Informação obtida a 28 de Novembro de 2011: <http://paginas.fe.up.pt>;

- [12] RECET, CITEVE, CTCV e CTIC, 2007. *Guia de boas práticas de medidas de utilização racional de energia (URE) e energias renováveis (ER)*. Lisboa, RECET – Associação dos Centros Tecnológicos de Portugal;
- [13] Decreto – Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Diário da República – I Série – A, N.º 67 – 4 Abril 2006 (RCCTE);
- [14] Camelo, S., Santos, C. P., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H. e Maldonado, E., 2006. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. INETI, Lisboa;
- [15] EDP, Energias de Portugal. Informação obtida a 13 de Abril de 2012: <http://www.edp.pt>;
- [16] Coelho, P. e Costa M., 2007. *Combustão*, 1ª Edição. Edições Orion;
- [17] Google Maps. Informação obtida a 29 de Novembro de 2011: <http://www.maps.google.pt>;
- [18] Santos, C. A. P. e Matias, L., 2006. *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, Versão actualizada 2006. ICT Informação Técnica, Edifícios ITE – 50, Lisboa;
- [19] Instituto de Meteorologia, IP Portugal. Informação obtida a 8 de Fevereiro de 2012: <http://www.meteo.pt>;
- [20] Rodrigues, A.M., Piedade, A.C., Braga, A.M., 2009. *Térmica de Edifícios*, 1ª Edição. Edições Orion, Amadora.
- [21] Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação, IAPMEI. Informação obtida a 17 de Outubro de 2012: <http://www.iapmei.pt>;
- [22] Perry, R.H., Green, D.W., 1997. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, (7ª Edição). McGraw-Hill;

ANEXOS

Anexo A. Levantamento Dimensional da Olaria

Neste anexo encontram-se as plantas do edifício, utilizadas para determinar a sua área útil (Figura A.1) e o pé direito (Figura A.2). Encontram-se também os dados de suporte ao cálculo da área das paredes, vãos envidraçados e cobertura.

As áreas das paredes exteriores tipo I foram determinadas, fachada a fachada, por recorrência à equação A.1.

$$A_{Paredes} = (\text{Comprimento} \times \text{Pé Direito}) - (A_{Paredes \text{ Tipo II}} + \sum A_{Janelas} + \sum A_{Portas}) \quad (\text{A.1})$$

Na tabela A.1, encontram-se os dados referentes às janelas existentes na fracção autónoma. Os valores de comprimento e altura foram medidos nas figuras A.1 e A.2, respectivamente.

Tabela A.1 - Levantamento dimensional das janelas.

Orientação	Número de elementos	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Norte	1	4,80	1,80	8,64
	1	3,30		5,94
	2	4,20		15,1
	1	2,40		4,30
Este	5	2,70	1,80	24,3
	2	3,00		10,8
	2	3,30		11,9
	25	2,55		115
Sul	4	2,70	1,80	19,4
	2	0,90		3,24
	2	2,40		8,64
	2	3,00		10,8
	1	0,60		1,08
	1	0,45		0,810
Oeste	1	3,00	1,80	5,40
	2	2,70		9,72
	1	1,20		2,16
	19	2,55		87,2
	10	2,40		43,2

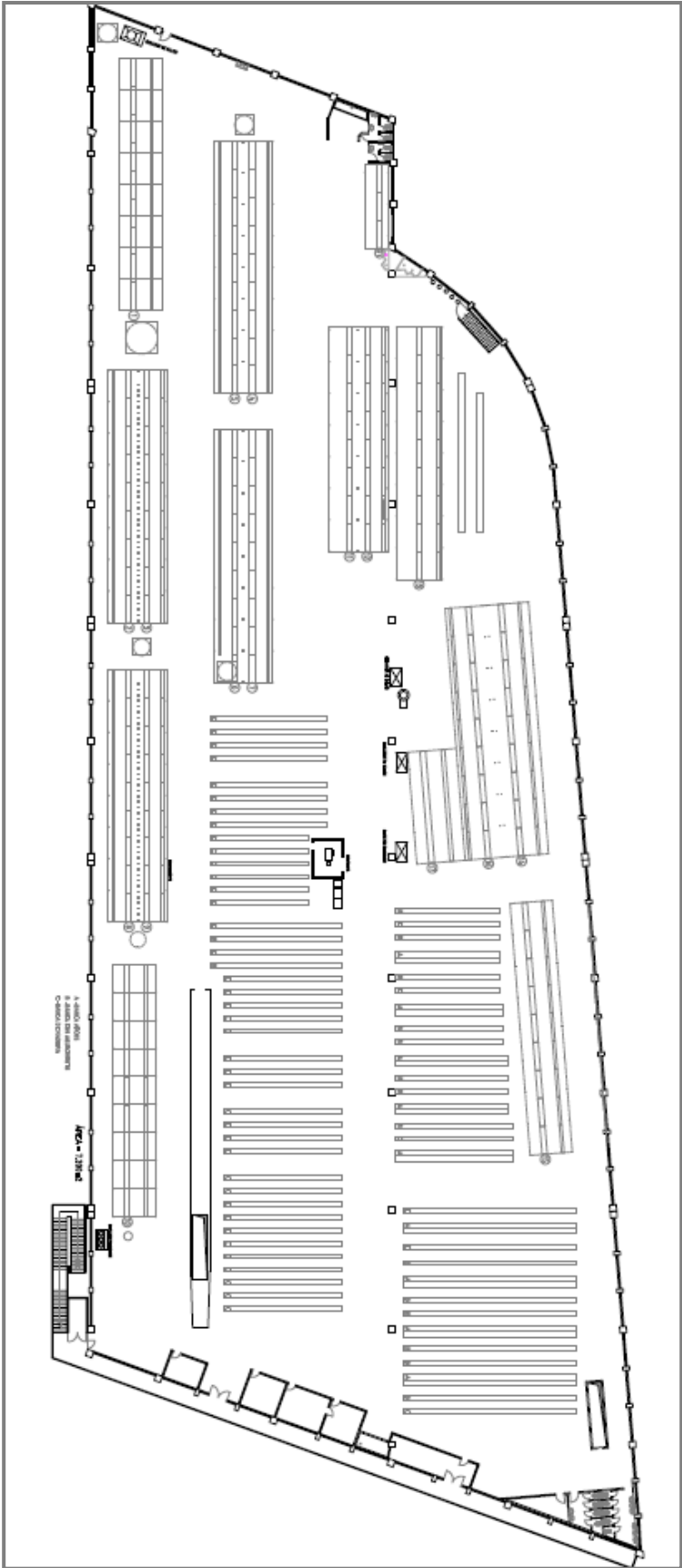


Figura A.1 - Planta do piso 1.

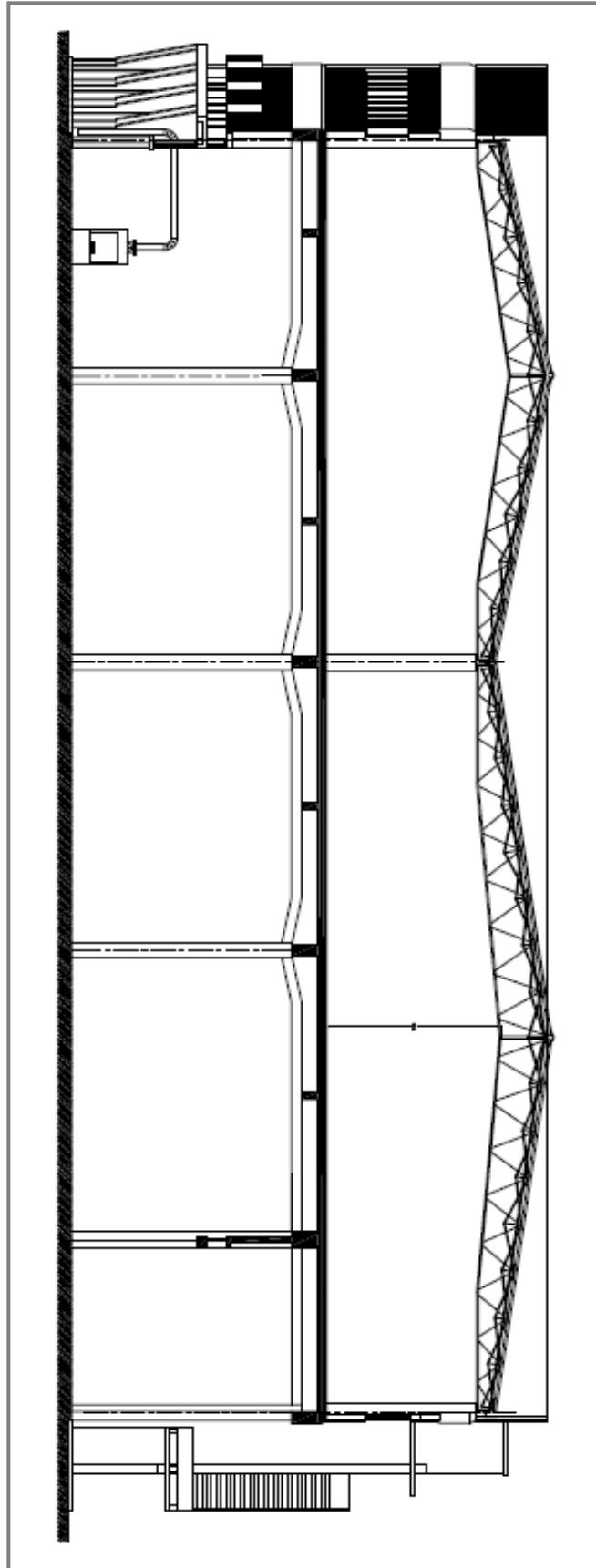


Figura A.2 - Corte frontal do edifício.

Contrariamente às janelas, o dimensionamento das portas não pode ser efectuado recorrendo apenas aos dados de projecto, pois muito embora os seus comprimentos tenham sido de leitura directa na figura A.1, a sua altura foi medida directamente em cada elemento.

Na tabela A.2 encontram-se as dimensões das portas existentes na olaria.

Tabela A.2 - Levantamento dimensional das portas.

Orientação	Número de elementos	Envidraçados			Não - envidraçado	
		Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Altura (m)	Área (m ²)
Norte	1	0,60	3,85	2,31	--	--
Sul	2	1,50	2,30	6,90	1,05	3,15
Oeste	1	1,20	2,49	2,99	1,20	1,44

O cálculo da área da cobertura foi efectuado recorrendo ao esquema representado na figura A.3.

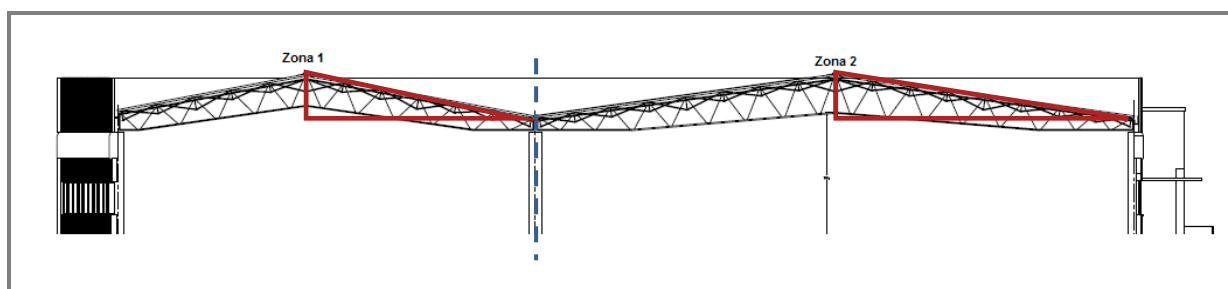


Figura A.3 - Distinção entre as duas zonas inclinadas da cobertura.

Na tabela A.3 registaram-se as medidas dos catetos oposto e adjacente dos triângulos assinalados a cor de tijolo na zona 1 e 2 da figura A.3, bem como os ângulos de inclinação das duas coberturas.

Tabela A.3 - Ângulos de inclinação das duas zonas da cobertura da olaria.

Zona 1	Cateto oposto (cm)	1,3
	Cateto adjacente (cm)	6,6
	Tan (α)	0,20
	α ($^{\circ}$)	11,1
Zona 2	Cateto oposto (cm)	1,3
	Cateto adjacente (cm)	8,6
	Tan (α)	0,15
	α ($^{\circ}$)	8,6

A tangente e o ângulo de inclinação foram determinados por recorrência às equações A.2 e A.3, respectivamente.

$$\tan(\alpha) = \frac{\textit{Cateto Oposto}}{\textit{Cateto Adjacente}} \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha(^{\circ}) = \tan^{-1}(\alpha) \times \frac{180}{\pi} \quad (\text{A.3})$$

Somando a área inclinada das duas zonas que o edifício possui, obtém-se uma área inclinada total de 3637 m². Os valores da área inclinada das duas zonas foram calculados a partir da equação A.4.

$$\textit{Área Inclinada} = \left(\frac{\textit{Largura}}{\cos(\alpha)} \right) \times \textit{Comprimento} \quad (\text{A.4})$$

Anexo B. Fluxos térmicos através dos vãos envidraçados e envolvente opaca

Neste anexo, são essencialmente apresentadas as características térmicas dos elementos de construção e as folhas de cálculo do RCCTE.

Na tabela B.1, apresentam-se os dados das características térmicas dos elementos de construção. Utilizou-se a equação B.1 para determinar as resistências térmicas.

$$\textit{Resistência Térmica} = \frac{\textit{Espessura (m)}}{\textit{Condutividade (W/m}^2\text{C)}} \quad \textbf{(B.1)}$$

Tabela B.1 – Condutividades térmicas dos materiais de construção.

Tipo	Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	Resistência Térmica Total (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Parede Tipo I	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	0,221	4,52
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 – 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Tijolo (d = 20 cm)	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
Parede Tipo II	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	0,172	5,82
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 – 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Betão armado (0,13 e 0,20 m)	1-2% Armadura	2,3	0,165	0,072		
Pavimento	Placa pré – esforçada	1-2% Armadura	2,3	0,40	0,174	0,477	2,10
	Tijolo de betonilha	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
	Camada de compressão (10 cm em argamassa)	Argamassa 1000 – 1250 kg/m ³	0,55	0,10	0,18		
Tecto	Telhas de fibrocimento	Fibras de amianto	0,65	0,006	0,0092	0,759	1,32
	Isolamento de PU expandido – 0,5 m	Placas de 3 cm	0,040	0,03	0,75		
	Chapas acrílicas	1050 kg/m ³	0,20	0,003	0,015	0,015	67

Apresenta-se na tabela B.2 a folha de cálculo utilizada para determinar as perdas associadas à envolvente exterior.

Tabela B.2 - Folha de Cálculo FCIV.1a [13].

Paredes Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Parede exterior - Tipo 1 N	24,9	4,52	620
Parede exterior - Tipo 1 S	45,3	4,52	1143
Parede exterior - Tipo 1 O	103,8	4,52	1761
Parede exterior - Tipo 1 E	449,6	4,52	2032
Parede exterior - Tipo 2 N	18,5	5,82	108
Parede exterior - Tipo 2 S	42,6	5,82	248
Parede exterior - Tipo 2 O	122,7	5,82	714
Parede exterior - Tipo 2 E	131,7	5,82	767
	TOTAL		7394

Pavimentos Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
			0,00
	TOTAL		0,00

Coberturas Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Cobertura com isolamento	3000	1,32	3951
Cobertura sem isolamento	637	67	42480
	TOTAL		46431

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
			0,00
	TOTAL		0,00

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos	290,1	0,75	217,58
Fachada com pavimentos intermédios	290,1	0,75	217,58
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	290,1	0,75	217,58
Fachada com varanda	45,3	0,75	33,98
Duas paredes verticais			0,00
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril			0,00
Outras			0,00
	TOTAL		686,70

Perdas pela envolvente exterior da Fração Autónoma	(W/°C)	TOTAL	54511
---	--------	--------------	--------------

Na tabela B.3, registou-se o cálculo das perdas pela envolvente interior, através da folha de cálculo FCIV.1b.

Tabela B.3 - Folha de Cálculo FCIV.1b [13].

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Piso da Olaria 3	3600	2,10	0,75	7171
TOTAL				7171

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	7171
--------------	-------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

A contabilização das perdas associadas aos vãos envidraçados foi efectuada por recorrência à folha de cálculo FCIV.1c, que se encontra na tabela B.4.

Tabela B.4 - Folha de Cálculo FCIV.1c [13].

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Janelas Norte	34,02	4,9	166,7
Porta Norte	2,31	4,9	11,3
Janelas Sul	44,01	4,9	215,6
Portas Sul	6,90	4,9	33,8
Janelas Oeste	147,69	4,9	723,7
Porta Oeste	2,99	4,9	14,6
Janelas Este	161,73	4,9	792,5
		TOTAL	1958

Determinadas as perdas da fracção autónoma, discriminadas nas tabelas B.2, B.3 e B.4, foram posteriormente determinados os ganhos solares. Na tabela B.5 encontram-se os ganhos solares através envolvente opaca.

Tabela B.5 - Folha de Cálculo FCV.1c [13].

Orientação	Norte*	Sul	Oeste	Este	Norte	Sul	Oeste	Este	Cobertura
Área, A (m ²)	0	126,4	194,8	224,8	0	21,3	61,3	65,9	637
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m ² °C)	4,5	4,5	4,5	4,5	5,8	5,8	5,8	5,8	1,3
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	0	229	352	406	0	62	179	192	420
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	200	380	420	420	200	380	420	420	730
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	0	3474	5916	6829	0	942	3000	3221	12253
									TOTAL
									35637 (kWh)

Por fim, apresenta-se na tabela B.6, os ganhos solares úteis dos envidraçados da fracção autónoma.

Tabela B.6 - Folha de Cálculo FCIV.1e [13].

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
Norte	Simples	36,33	0,27	0,65	1	0,70	0,85	3,79
Sul	Simples	50,91	1,00	0,65	1	0,70	0,80	18,53
Oeste	Simples	150,7	0,56	0,65	1	0,70	0,90	34,55
Este	Simples	161,7	0,56	0,65	1	0,70	0,90	37,09
Claraboias	Polic. Simples	1569	0,89	0,50	1	0,70	0,85	415,56

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	509,53
	X
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona I2 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m ² .mês)	93
	X
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)	6,7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	3,17x10⁵

Anexo C. Fluxos térmicos associados à renovação do ar

Neste anexo encontram-se os dados de apoio ao estudo do conteúdo energético, quer do ar novo, quer do ar de exaustão da Olaria n.º3.

C.1 Caudais Mássicos de Ar Novo e Ar de Exaustão

Na tabela C.1 encontra-se o registo dos valores de temperatura do seu ar interior e do ar exterior, bem como os valores da massa volúmica do ar a essas temperaturas [8, 16].

Tabela C.1 - Valores de temperaturas de ar consideradas e respectivas massas volúmicas.

	Temperatura (°C)	ρ_{Ar} (kg/m ³)
Ar Olaria	33	1,138
Ar Novo	16	1,187

Os valores apresentados na tabela C.1 permitiram a conversão dos caudais volúnicos de ar a caudais mássicos.

Na tabela C.2 encontram-se os valores das correntes de ar novo, considerando-se que este circula através de todas as aberturas que existem no interior do edifício.

Tabela C.2 - Contabilização das correntes de ar novo da olaria.

Localização	Descrição	Número	Área (m ²)	Velocidade do ar (m/s)	$V_{Ar\ Novo}$ (m ³ /s)	$m_{Ar\ Novo}$ (kg/s)
Interior do Edifício	Porta interior	1	0,57	2	1,15	1,361
	Passagem Cestas	1	2,93	2	5,85	6,949
	Secador	1	1,73	2	3,46	4,105
	Pilares	8	0,31	1	0,31	0,366
TOTAL						12,8

O caudal de entrada de ar na olaria equivale a $3,7 \times 10^5$ kg/dia.

Na tabela C.3 encontram-se os valores relativos às correntes de ar de exaustão, assumindo que o ar flui através das fachadas e cobertura da fracção autónoma.

Tabela C.3 - Contabilização das correntes de ar de exaustão na olaria.

Localização	Descrição	Número	Área (m ²)	Velocidade do ar (m/s)	V _{Ar Exaustão} (m ³ /s)	m _{Ar Exaustão} (kg/s)	
Fachada Este	Sistema de ventilação	13	1,11	1,4	1,55	1,762	
Fachada Oeste	Sistema de ventilação	16	1,26	1,5	1,88	2,145	
	Porta (acesso ao elevador)	1	2,39	1,5	3,53	4,074	
Cobertura	Clarabóia	1	2,00	1,4	2,80	3,186	
	Cortes isolamento	2	0,50	1,4	0,70	0,796	
	Chaminés	Geradores	5	0,06	1,4	0,09	0,100
		Caldeira	1	0,01	1,4	0,02	0,020
		Forno	1	0,18	1,4	0,25	0,281
					TOTAL	12,4	

Verifica-se assim que, o caudal total de ar de exaustão que sai da olaria é equivalente a $3,6 \times 10^5$ kg/dia.

C.2 Estudo da Secagem das Peças

Neste sub-anexo apresentam-se os dados relativos à monitorização do peso das peças ao longo do processo produtivo.

Na tabela C.4 encontram-se os valores de referência das massas das duas peças seleccionadas, após cozedura, existentes nos registos da empresa.

Tabela C.4 - Valores de referência da massa das peças monitorizadas em cozido.

Código	Designação	Massa das peças em cozido (kg)
78737	Lavatório Malibu (Grés)	7,12
16371	Lavatório Neoclássico Infantil (Vítreos)	6,40


Na tabela C.5, encontram-se os valores das massas da peça em grés, o lavatório Malibu, ao longo das várias etapas do processo, incluindo-se também um registo visual do seu aspecto.

Apesar de em algumas das representações gráficas se observar a peça assente na alpiota, o seu peso foi descontado à massa total obtida, pelo que não está incluído nos valores registados na tabela C.5.

Comparando a massa da peça em cozido (tabela C.5) com o valor teoricamente esperado (tabela C.4), cerca de 9,1 e 7,1 quilogramas, respectivamente, verificou-se que existe uma diferença bastante considerável.

Podendo dever-se a ligeiras alterações na composição das pastas ou a incongruências existentes entre os dois processos de pesagem, uma vez que é difícil efectuar a pesagem das peças nas primeiras fases, dada a falta de consistência da pasta.




Tabela C.5 - Variação da massa da peça em grés ao longo do processo produtivo.

Peça	Etapa	Massa (kg)	Representação
Lavatório Malibu	Secagem a verde	11,2	
	Acabado	9,45	
	Antes da vidragem	9,27	
	Após vidragem	9,90	
	Após cozedura	9,10	

Os valores relativos à monitorização da variação da massa da peça em vitéos, encontram-se na tabela C.6.

Ao contrário do que aconteceu com a peça em grés, o vitéos não apresentou discrepância considerável entre o valor obtido no estudo e o valor de referência, cerca de 6,5 e 6,4 quilogramas respectivamente.

Tabela C.6 - Variação da massa da peça em vítreos ao longo do processo produtivo.

Peça	Etapa	Massa (kg)	Representação
Lavatório Neoclássico Infantil	Secagem a verde	7,50	
	Acabado	6,45	--
	Antes da vidragem	6,25	
	Após vidragem	7,15	
	Após cozedura	6,45	

C.3 Conteúdo Energético do Ar Novo e do Ar de Exaustão

Como se admitiu que o ar de novo se encontrava a uma temperatura média de 16°C e continha uma humidade relativa de 78%, consultou-se a carta psicrométrica do sistema ar-água à pressão atmosférica e determinou-se que a sua humidade absoluta é de 8,8 g de água/kg de ar seco [22].

De seguida, sabendo que ele é composto por ar seco e por vapor de água, deduziu-se a equação C.1 para calcular o caudal de ar seco que entra na olaria n.º3.

$$m_{Ar\ Seco} = \frac{m_{Ar\ Novo}}{(1 + H_A \times 10^{-3})} \quad (C.1)$$

Com as massas de ar seco e da humidade absoluta nele contida, recorreu-se às equações C.2 e C.3, para determinar, os seus conteúdos térmicos, quer do caudal de ar novo, quer do caudal de ar de exaustão. Considerou-se o calor latente de vaporização da água a 33°C (2430,7 kJ/kg) e a capacidade calorífica do ar e da água à mesma temperatura.

$$Q_{Ar\ Seco} = m_{Ar\ Seco} \cdot Cp_{Ar} \cdot \Delta T \quad (C.2)$$

$$Q_{Humidade\ Ar} = m_{Água\ Ar} [Cp_{Água} \cdot \Delta T + \lambda] \quad (C.3)$$

Relativamente à perda térmica total no ar de exaustão, existe ainda uma parcela relativa à humidade contida no ar novo que não foi alimentado nos geradores de calor, permanecendo no interior da olaria. O seu conteúdo térmico foi determinado recorrendo à equação C.4.

$$Q_{H.Restante\ do\ Ar\ Novo} = m_{Vapor\ Ar\ Novo\ Saída} \cdot Cp_{Água} \cdot \Delta T \quad (C.4)$$

A massa de vapor de água do ar novo no caudal de exaustão, foi determinada no balanço de massa à água na olaria e não é mais do que a diferença entre a humidade que entra no ar novo e a humidade que foi alimentada com o ar de combustão aos geradores de calor (Tabela D.4, Anexo D).

De referir que para obter as diferenças de temperatura neste, balanços, foi utilizada uma temperatura de referência de 0°C e as temperaturas médias a que se considerou estar o ar novo e o ar de exaustão (16°C e 33°C, respectivamente).

Anexo D. Consumos Energéticos dos Geradores de Calor

Neste anexo encontram-se os valores do consumo de gás natural da olaria, de forma a tentar avaliar a eficiência energética dos geradores de calor.

Na tabela D.1 apresentam-se os consumos de gás natural de cada gerador, ao longo do ano de 2011, o consumo anual total de cada gerador e o consumo mensal total dos cinco geradores.

Tabela D.1 - Consumo dos geradores de calor da olaria no ano de 2011.

Olaria 3	Jan-11	Fev-11	Mar-11	Abr-11	Mai-11	Jun-11	Jul-11	Ago-11	Set-11	Out-11	Nov-11	Dez-11	Total
Geradores Baterias - P. Norte	5376	5723	3227	882	3693	3514	3003	0	4169	0	5271	1215	36071
Geradores Elevador	13472	16296	13213	6829	4592	3357	1575	0	2093	6570	15572	12257	95823
Lado Norte	19457	20395	22449	12845	16741	12660	11200	0	9489	13927	14378	11298	164836
Lado Centro	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0	63
Lado Sul	14539	15537	16429	7473	8887	7224	8173	0	5187	9216	15743	8943	117348
TOTAL	52843	57950	55318	28028	33912	26754	23951	0	21000	29712	50964	33712	414141

Com o conhecimento dos consumos, começou-se por relacioná-los com a temperatura média exterior no mesmo período de tempo, tentando encontrar forma de prever a sua influência na factura energética.

No entanto, como o consumo dos geradores não é apenas influenciado pela temperatura, mas também pelo volume de produção, na tabela D.2 encontram-se os valores do consumo de gás natural por peça, em cada mês de 2011 e os valores das temperaturas médias mensais no mesmo ano [19].

Tabela D.2 - Registo do consumo médio de gás natural por peça e das temperaturas médias mensais no ano de 2011.

	Consumo Total de GN (m ³)	Produção Total	Consumo Médio (m ³ Gás/Peça)	T _{Média} (°C)
Jan-11	52843	11437	4,62	10
Fev-11	57950	14863	3,90	10
Mar-11	55318	16525	3,35	12
Abr-11	28028	14235	1,97	16
Mai-11	33912	17281	1,96	18
Jun-11	26754	14900	1,80	18
Jul-11	23951	11470	2,09	18
Ago-11	0	0	0	20
Set-11	21000	7685	2,73	20
Out-11	29712	13822	2,15	18
Nov-11	50964	12374	4,12	12
Dez-11	33712	5507	6,12	10

Analisando os valores da tabela D.2, verificou-se que existem alguns meses com médias semelhantes e outros com diferenças consideráveis de consumo.

De seguida, efectuou-se o estudo da combustão do gás natural da Argélia, de forma a verificar a eficiência dos geradores de calor (Tabela D.3).

Com a informação obtida na tabela D.3, quantificaram-se os gases de combustão gerados pelo combustível consumido em cada gerador e assim determinou-se a carga térmica que abandona a olaria (Tabela D.4).

A capacidade calorífica dos gases de combustão foi determinada tendo em conta o peso percentual de cada componente e as suas capacidades caloríficas individuais. As temperaturas médias dos gases foram determinadas tendo em conta medições efectuadas no âmbito de outros estudos, no entanto, aplicáveis a este caso.

Tabela D.3 - Combustão do gás natural da Argélia.

Combustível			Comburente				Produtos de Combustão						
Componente	% Vol.	(kmol _{comp.} /kg _{comb.})	Factor Multiplicador		Necessário		Factor Multiplicador			Resultantes			
			O ₂	Ar	O ₂	Ar	CO ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂
CH ₄	87	4,69x10 ⁻²	2	9,52	9,38x10 ⁻²	0,446	1	2	7,52	4,69x10 ⁻²	9,38x10 ⁻²	3,53x10 ⁻¹	--
C ₂ H ₆	9	4,85x10 ⁻³	3,5	16,66	1,70x10 ⁻²	0,081	2	3	13,16	9,70x10 ⁻³	1,46x10 ⁻²	6,38x10 ⁻²	--
C ₃ H ₈	2,7	1,46x10 ⁻³	5	23,8	7,28x10 ⁻³	0,035	3	4	18,80	4,37x10 ⁻³	5,82x10 ⁻³	2,74x10 ⁻²	--
C ₄ H ₁₀	1,1	5,93x10 ⁻⁴	6,5	30,94	3,85x10 ⁻³	0,018	4	5	24,44	2,37x10 ⁻³	2,96x10 ⁻³	1,45x10 ⁻²	--
N ₂	0,2	1,08x10 ⁻⁴	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,08x10 ⁻⁴	--
Total teórico (kmol_{comp.}/kg_{comb.})					0,122	0,580				6,33x10 ⁻²	0,117	0,459	--
Total real (kmol_{comp.}/kg_{comb.})					0,152	0,725				0,079	0,146	0,573	0,030
					Tot._{GC} (kmol_{Componente}/kg_{combustível})					0,829			
					% (m/m)					9,5	17,7	69,1	3,7

Tabela D.4 - Energia perdida nos gases de combustão dos geradores.

Gerador	Gás Natural		Ar de Combustão		Quantificação mássica dos gases de combustão					C _{pGC} (kJ/kg.K)	T _{Média Gases} (°C)	T _{Ambiente} (°C)	Q _{GC} (kJ)
	Consumo anual (m ³)	Consumo diário (kg)	M _{Ar Combustão} (kg)	M _{Humidade} (kg)	M _{CO2} (kg)	M _{H2O} (kg)	M _{N2} (kg)	M _{O2} (kg)	M _{GC} (kg)				
Geradores Baterias - P. Norte	36071	128	2693	69	446	338	2057	125	2967	1,22	240	29	7,8x10 ⁵
Geradores Elevador	95823	340	7153	182	1186	898	5465	332	7881		220		1,9x10 ⁶
Lado Norte	164836	586	12305	314	2040	1545	9401	571	13557		215		3,1x10 ⁶
Lado Centro	63	0,22	5	0,12	1	1	4	0	5		245		1,4x10 ⁴
Lado Sul	117348	417	8760	223	1453	1100	6692	407	9651		230		2,4x10 ⁶

Anexo E. Características Térmicas dos Materiais de Isolamento

Neste anexo são descritas com maior detalhe as opções de melhoria sugeridas, fundamentando as informações fornecidas no capítulo 4, bem como as conclusões tiradas no capítulo 5.

De referir que, os coeficientes de condutividade térmica dos isolamentos de poliuretano expandido e dos painéis sandwich de fachada e cobertura foram obtidos através do contacto directo com o departamento comercial da empresa Master Block.

Por outro lado, os coeficientes dos restantes materiais foram obtidos por recorrência à referência bibliográfica [18], à semelhança do efectuado no Anexo B.

E.1 Cobertura

Adoptando a solução intermédia 1, a cobertura apresentaria a constituição e características descritas na tabela E.1.

Tabela E.1 - Características da cobertura com a solução de melhoria intermédia 1.

Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² C/W)	R _{Total} (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Telhas de fibrocimento	Fibras de amianto	0,65	0,006	0,0092	1,314	0,76
Isolamento de PU expandido	Placas de 30 mm	0,023	0,03	1,304		
Chapas acrílicas	1050 kg/m ³	0,20	0,003	0,015	0,015	67

Desta forma, as perdas associadas à nova cobertura passam a ser as apresentadas na tabela E.2.

Tabela E.2 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia 1 - Cobertura) [13].

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura com isolamento	3000	0,8	2284
Cobertura sem isolamento	637	67	42480
		TOTAL	44764

O total de perdas apresentado na tabela E.2, equivale a $2,2 \times 10^7$ kJ/dia.

Por outro lado, adoptando a solução intermédia 2, a cobertura passaria a apresentar as características indicadas na tabela E.3.

Tabela E.3 - Características da cobertura com a solução de melhoria intermédia 2.

Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	R _{Total} (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Telhas de fibrocimento	Fibras de amianto	0,65	0,006	0,0092	1,748	0,57
Isolamento de PU expandido	Placas de 40 mm	0,023	0,04	1,739		
Chapas acrílicas	1050 kg/m ³	0,20	0,003	0,015	0,015	67

Com as características de isolamento descritas na tabela E.3, as perdas pela cobertura passam a ser as apresentadas na tabela E.4.

Tabela E.4 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia 2 - Cobertura) [13].

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura com isolamento	3000	0,6	1716
Cobertura sem isolamento	637	67	42480
		TOTAL	44196

O total de perdas apresentado na tabela E.4, equivale a $2,2 \times 10^7$ kJ/dia.

Adoptando a solução óptima, a cobertura apresentaria as características indicadas na tabela E.5.

Tabela E.5 - Características da cobertura com a solução de melhoria óptima.

Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Painel Sandwich de Cobertura	3 ondas	0,02	0,05	2,500	0,40

Com as características de isolamento descritas na tabela E.5, as perdas pela cobertura passam a ser as apresentadas na tabela E.6.

Tabela E.6 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Óptima - Cobertura) [13].

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura com isolamento	3637	0,40	1455
		TOTAL	1455

O total de perdas apresentado na tabela E.6, equivale a $7,1 \times 10^5$ kJ/dia.

E.2 Pavimento

Adoptando a solução intermédia 1, o pavimento apresentaria as características descritas na tabela E.7. De notar que o isolamento foi colocado na cobertura do andar inferior e não no pavimento da olaria.

Tabela E.7 - Características do pavimento com a solução de melhoria intermédia 1.

Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	R _{Total} (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Placa pré - esforçada	1-2% Armadura	2,3	0,40	0,174	1,347	0,743
Tijolo de betonilha	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
Camada de compressão (10 cm em argamassa)	Argamassa	0,55	0,10	0,18		
	1000 -1250 kg/m ³					
Placas de PU	40 kg/m ³	0,023	0,020	0,870		

Com este isolamento, as perdas associadas ao pavimento, passam a ser as apresentadas na tabela E.8.

Tabela E.8 - Folha de Cálculo FCIV.1b (Solução Intermédia 1 - Pavimento) [13].

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Piso da Olaria 3	3600	0,743	0,75	2005
			TOTAL	2005

O total de perdas apresentado na tabela E.8, equivale a $9,8 \times 10^5$ kJ/dia.

Por outro lado, adoptando a solução intermédia 2, o pavimento passa a apresentar as características indicadas na tabela E.9.

Tabela E.9 - Características do pavimento com a solução de melhoria intermédia 2.

Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² C/W)	R _{Total} (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Placa pré - esforçada	1-2% Armadura	2,3	0,40	0,174	1,781	0,56
Tijolo de betonilha	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
Camada de compressão (10 cm em argamassa)	Argamassa	0,55	0,10	0,18		
	1000 - 1250 kg/m ³					
Placas de PU	40 kg/m ³	0,023	0,030	1,304		

As perdas associadas a esta solução de cobertura encontram-se na tabela E.10.

Tabela E.10 - Folha de Cálculo FCIV.1b (Solução Intermédia 2 - Pavimento) [13].

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Piso da Olaria 3	3600	0,561	0,75	1516
			TOTAL	1516

O total de perdas apresentado na tabela E.10, equivale a 7,4x10⁵ kJ/dia.

E.3 Paredes e Pilares

Adoptando a solução intermédia, as paredes (tipo I) e pilares (parede exterior tipo II), apresentam as características descritas na tabela E.11.

Tabela E.11 - Características das paredes e pilares com a solução de melhoria intermédia.

Tipo	Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	R _{Total} (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
I	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	1,526	0,655
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 - 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Tijolo (d = 20 cm)	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
	Placas de PU	40 kg/m ³	0,023	0,030	1,304		
II	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	1,476	0,677
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 - 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Betão armado (0,13 e 0,20 m)	1-2% Armadura	2,3	0,165	0,072		
	Placas de PU	40 kg/m ³	0,023	0,030	1,304		

Com este isolamento, as perdas associadas às paredes e pilares, passam a ser apresentadas na tabela E.12.

Tabela E.12 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Intermédia – Paredes e pilares) [13].

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede exterior - Tipo 1 N	137,2	0,655	90
Parede exterior - Tipo 1 S	252,8	0,655	166
Parede exterior - Tipo 1 O	389,5	0,655	255
Parede exterior - Tipo 1 E	449,6	0,655	295
Parede exterior - Tipo 2 N	18,5	0,677	13
Parede exterior - Tipo 2 S	42,6	0,677	29
Parede exterior - Tipo 2 O	122,7	0,677	83
Parede exterior - Tipo 2 E	131,7	0,677	89
TOTAL			1019

O total de perdas apresentado na tabela E.12, equivale a 5,0x10⁵ kJ/dia.

Se for adoptada a solução de melhoria óptima, as paredes e pilares passam a apresentar as características indicadas na tabela E.13.

Tabela E.13 - Características das paredes e pilares com a solução de melhoria óptima.

Tipo	Constituição das camadas	Descrição	Coefficiente de Condutividade Térmica (W/m°C)	Espessura (m)	Resistência Térmica (m ² °C/W)	R _{Total} (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
I	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	2,721	0,367
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 - 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Tijolo (d = 20 cm)	Betão Normal	1,65	0,20	0,12		
	Painel Sandwish Fachada	Nervurado	0,02	0,05	2,50		
II	Reboco interior (d = 2 cm)	Argamassa	0,40	0,02	0,05	2,672	0,374
	Reboco exterior (d = 2 cm)	750 - 1000 kg/m ³	0,40	0,02	0,05		
	Betão armado (0,13 e 0,20 m)	1-2% Armadura	2,3	0,165	0,072		
	Painel Sandwish Fachada	Nervurado	0,02	0,05	2,50		

Aplicando esta solução de isolamento, as perdas associadas às paredes e pilares, passam a ser as apresentadas na tabela E.14.

Tabela E.14 - Folha de Cálculo FCIV.1a (Solução Ótima – Paredes e pilares) [13].

Paredes Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Parede exterior - Tipo 1 N	137,2	0,367	50
Parede exterior - Tipo 1 S	252,8	0,367	93
Parede exterior - Tipo 1 O	389,5	0,367	143
Parede exterior - Tipo 1 E	449,6	0,367	165
Parede exterior - Tipo 2 N	18,5	0,374	7
Parede exterior - Tipo 2 S	42,6	0,374	16
Parede exterior - Tipo 2 O	122,7	0,374	46
Parede exterior - Tipo 2 E	131,7	0,374	49
		TOTAL	570

O total de perdas apresentado na tabela E.14, equivale a $2,8 \times 10^5$ kJ/dia.

Anexo F. Exemplo de Cálculo da Análise Económica

A análise económica efectuada às medidas de optimização foi muito importante, uma vez que, através dos períodos de retorno determinados, se estimou à partida quais as medidas viáveis e as inviáveis.

Esta análise iniciou-se com a determinação da poupança de energia através da diferença da perda energética actual e a perda energética obtida considerando o isolamento instalado.

Posteriormente, conhecido o rendimento médio dos geradores de calor instalados na fracção autónoma, determinou-se a energia equivalente à poupada, se esta fosse produzida nos geradores, recorrendo à equação 3.1.

$$Q_{Equivalente} = \frac{Q_{Poupado (OU Ar Recirculado)}}{\eta_{Geradores}} \quad (3.1)$$

Como os geradores funcionam a gás natural, o custo do combustível necessário para produzir esta energia equivalente, é igual à poupança alcançada. Para determinar a massa de combustível poupada, dividiu-se a energia equivalente pelo PCI do gás natural da Argélia.

Através da divisão do valor obtido pela massa volúmica do combustível, calculou-se o volume de gás natural pougado (m³/dia).

Tendo em consideração que o custo do gás natural no ano 2011 (ano dos consumos registados) foi de 0,45€/m³, obteve-se a poupança diária multiplicando este valor pelo volume de gás natural pougado.

Sabendo que um ano laboral possui 46 semanas com 5 dias de trabalho, calculou-se a poupança anual.

O período de retorno, foi determinado através da divisão entre o investimento efectuado e a poupança anual alcançada.

