



## **Estudo de viabilidade técnico-económica da instalação de caldeiras a biomassa para o aquecimento central do ISEP**

**JOÃO GONÇALO RIBEIRO BARBOSA**

Novembro de 2015

Estudo de viabilidade técnico-económica da instalação  
de caldeiras a biomassa para o aquecimento central do  
ISEP

João Gonçalo Ribeiro Barbosa

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em  
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

8 de novembro de 2015





Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do Mestrado em  
Energias Sustentáveis

Candidato: João Gonçalo Ribeiro Barbosa, N° 1100518, 1100518@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Nídia Caetano, ncs@isep.ipp.pt

Mestrado em Energias Sustentáveis

Departamento de Engenharia Mecânica



8 de novembro de 2015



*“Do not go where the path may lead, go instead where there is no path and leave a trail.”*

*Ralph Waldo Emerson*



## Agradecimentos

O meu especial e sincero agradecimento à orientadora Engenheira Nídia Caetano, pela sua disponibilidade para me ajudar e apoiar na concretização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso e da licenciatura Jorge Bandeira, Marta Brito e Maria Santos, que me acompanharam neste percurso, auxiliando nas conquistas e oferecendo sempre ajuda e motivação.

Aos meus amigos que me acompanharam nos momentos maus, e quando estes falham é preciso um especial agradecimento aos meus animais de estimação, sobretudo os meus cães, que são sempre uns companheiros e amigos insubstituíveis a qualquer hora do dia.

Aos Engenheiros Barrote Dias e Vítor Martins, por me terem fornecido dados e ajuda relevantes quanto à análise das faturas e vários elementos associadas às caldeiras instaladas no ISEP.

Aos Engenheiros Jorge Martins e André Figueiredo, da empresa Zantia, por me disponibilizarem a informação necessária sobre as caldeiras e seus equipamentos a implementar neste projeto.

Ao Engenheiro Roque Brandão e Dr. Américo Santos Neves, por me ajudarem na avaliação económico-financeira do projeto.

Agradeço com muito carinho à minha querida e imprescindível Diana Caldeira, que além de me ajudar nos ensaios laboratoriais, por todo o insubstituível apoio, amor e força para a resolução da dissertação e dos problemas que enfrentei.

Contudo, possivelmente o mais importante agradecimento deve-se aos meus pais por me darem esta oportunidade, porque sem eles nada disto se podia concretizar.

A todos, muito obrigado!



## Resumo

Neste projeto pretende-se utilizar uma fonte energética renovável (nomeadamente a biomassa), no âmbito da produção de água quente para aquecimento central das instalações do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). O objetivo principal remete para a avaliação técnico-económica da substituição das quinze caldeiras existentes, alimentadas a gás natural, por seis caldeiras alimentadas a biomassa, nomeadamente a *pellets*. Desta forma, permite-se apostar na biomassa como uma alternativa para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis.

Neste trabalho apresenta-se uma comparação realista do sistema de aquecimento existente face ao novo a implementar, alimentado por um combustível renovável utilizando caldeiras a *pellets* de 85% de rendimento.

Para realizar esta comparação, usou-se as faturas energéticas de gás natural do ISEP, o custo da quantidade equivalente necessária de *pellets*, os custos de manutenção dos dois tipos de caldeiras e, os custos do consumo de energia elétrica por parte de ambas as caldeiras. Com este estudo, estimou-se uma poupança anual de 84.100,76 €/ano.

Determinaram-se experimentalmente, em laboratório, os parâmetros essenciais de uma amostra de *pellets*, que foram usados para calcular as necessidades energéticas em biomassa no ISEP, bem como a produção de cinzas gerada por parte das caldeiras. Foi proposto um destino ambientalmente adequado para os 788,5 kg/ano de cinzas obtidas – a utilização na compostagem, após tratamento e aprovação de ensaios ecotoxicológicos realizados pela empresa que fará a sua recolha.

As caldeiras a *pellets* terão um consumo mínimo teórico de 16,47 kg<sub>pellets</sub>/h, consumindo previsivelmente 197,13 t<sub>pellets</sub>/ano. Para este efeito, serão usadas caldeiras Quioto de 150 kW da marca Zantia. Para comparar distintas possibilidades de investimento para o projeto, avaliaram-se dois cenários: um foi escolhido de forma a cobrir o somatório da potência instalada das caldeiras atuais e o outro de forma a responder aos consumos energéticos em aquecimento atuais.

Além disso, avaliaram-se cenários de financiamento do investimento distintos: um dos cenários corresponde ao pagamento do investimento total do projeto no momento da aquisição das caldeiras, enquanto o outro cenário, mais provável de ser escolhido, refere-se ao pedido de um empréstimo ao banco, no valor de 75% do investimento total. Para o cenário mais provável de investimento, obteve-se um VAL de 291.364,93 €/ano, com taxa interna de rentabilidade (TIR) de 17 %, um índice de rentabilidade (IR) de 1,85 e um período de retorno (PBP) de 5 anos. Todos os cenários avaliados registam rentabilidade do projeto de investimento, sem risco para o projeto.

***Palavras-chave:*** Avaliação técnico-económica, biomassa, caldeira, combustão, *pellets*.

## *Abstract*

In this project, it is intended to emphasize the use of biomass as a renewable energy source, within the framework of the production of hot water for central heating of the facilities of the *Instituto Superior de Engenharia do Porto* (ISEP). The main goal refers to the replacement of the fifteen existing boilers, powered by natural gas, for six biomass powered boilers, particularly using pellets. Thus, it allows on relying on biomass as an alternative to reduce dependence on fossil fuels.

In this project it is presented a realistic comparison of the existing heating system over the proposed one powered by a renewable fuel, that is 85% efficiency biomass boilers. For this purpose, it was used the natural gas energy bills of ISEP, the cost of the required amount of pellets, maintenance costs of the two types of boilers and the electric energy costs for both boilers. With this study, it was estimated an 84,100.76 €/year of savings.

It was experimentally determined, in laboratory, the fundamental parameters of a pellet sample, that were needed to estimate the energy requirements (in biomass) for ISEP, as well as the production of ashes generated by boilers. An environmentally adequate destination was proposed for the 927.44 kg/year of ashes, that is composting, after treatment and approval of ecotoxicological tests conducted by the company that will be hired for its collection.

The boilers have a theoretical minimum consumption of 16.47 kg<sub>pellets</sub>/h, with a predicted consumption of 197.13 t/year. For this purpose, it will be installed Quioto 150 kW boilers from Zantia. To analyze various investment possibilities for the project, it was evaluated two scenarios, one was chosen to cover the installed capacity of the actual boilers and the other was chosen as the one that meets the actual energy needs.

One of the scenarios matches the payment of the total investment of the project at once, while the other scenario, most likely to be chosen, refers to a bank loan, for the amount of 75% of total investment. For the most probable investment scenario, it was provided a VAL of 291,364.93 €/year, a TIR of 17 %, a return on investment (ROI) of 1.85 and a payback

period (PBP) of 5 years. All evaluated investment scenarios are rentable, without risk to the project.

**Keywords:** Biomass, boiler, combustion, *pellets*, technical-economical evaluation.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1. Contextualização .....	7
1.2. Objetivos.....	7
1.3. Organização do relatório .....	8
1.4. Enquadramento legal .....	8
<b>2. PROCESSAMENTO TÉRMICO DA BIOMASSA.....</b>	<b>10</b>
2.1. Processos termoquímicos .....	11
2.2. Combustão.....	13
2.3. Propriedades essenciais para a combustão.....	13
2.4. Poluentes resultantes.....	14
2.4.1. Emissão de partículas .....	14
2.5. Extração da energia térmica .....	15
<b>3. COMBUSTÍVEL: PELLETS.....</b>	<b>17</b>
3.1. Matéria-prima .....	18
3.2. Pellets vs combustíveis fósseis.....	18
3.3. Biomassa densificada .....	25
3.4. Caraterização dos pellets .....	26
3.5. Pellets em Portugal .....	26
3.6. Estudo de mercado .....	28
3.7. Preço dos pellets.....	29
3.8. Distribuição e quantificação do recurso .....	30
3.9. Fornecedor de pellets .....	32
<b>4. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE/CALOR .....</b>	<b>35</b>
4.1. Conversão do sistema de aquecimento a pellets.....	36
4.1.1. Queimadores externos.....	37
4.2. Equipamentos necessários na produção.....	37
4.3. Armazenamento dos pellets .....	40
4.4. Alimentação das caldeiras.....	41
4.5. Distribuição dos pellets .....	44
4.6. Manutenção e limpeza do sistema .....	45
4.7. Implantação das caldeiras.....	46
<b>5. DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO .....</b>	<b>47</b>
5.1. Caraterização do sistema existente .....	48
5.2. Distribuição das caldeiras.....	49

5.3.	<i>Estudo de caso: Caldeiras a seleccionar</i> .....	50
5.4.	<i>Quantificação do combustível (pellets) necessário</i> .....	52
5.4.1.	Abastecimento das caldeiras .....	54
5.4.2.	Preço do combustível .....	55
5.5.	<i>Consumo mínimo necessário (teórico) das caldeiras para o caso em estudo</i> .....	55
5.6.	<i>Análise do sistema proposto</i> .....	56
5.6.1	Caldeiras seleccionadas para o projeto.....	57
5.7.	<i>Otimização da queima e elementos de regulação e controlo</i> .....	59
5.8.	<i>Instalação do sistema de produção de calor</i> .....	63
5.9.	<i>Compartimentos das caldeiras</i> .....	65
5.10.	<i>Produção de cinzas</i> .....	68
5.11.	<i>Recolha e transporte de cinzas</i> .....	68
<b>6.</b>	<b>ANÁLISE ECONÓMICO-FINANCEIRA DO PROJETO</b> .....	<b>71</b>
6.1.	<i>Diferenciação de consumos de 2013 para 2014</i> .....	73
6.2.	<i>Indicadores financeiros de avaliação de projetos</i> .....	76
6.2.1	<i>Técnicas de previsão do consumo</i> .....	76
6.2.2	<i>Receitas anuais</i> .....	78
6.2.3	<i>Alternativa 1: Aquisição de caldeiras Quioto 150 kW</i> .....	79
6.2.4	<i>Alternativa 2: Aquisição de caldeiras Quioto 400 kW</i> .....	84
6.3.	<i>Conclusões da análise financeira</i> .....	87
6.3.1	Medidas de redução do investimento e aumento das receitas.....	89
<b>7.</b>	<b>GESTÃO AMBIENTAL</b> .....	<b>91</b>
7.1.	<i>Destino das caldeiras a gás natural e sua remoção</i> .....	93
7.2.	<i>Gestão das cinzas</i> .....	93
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS</b> .....	<b>97</b>
8.1.	<i>Conclusões</i> .....	97
8.2.	<i>Sugestões futuras</i> .....	98
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS</b> .....	<b>101</b>
	<b>ANEXO A - DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS</b> .....	<b>107</b>
	<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AZOTO</b> .....	<b>107</b>
	<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO</b> .....	<b>111</b>
	<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE</b> .....	<b>112</b>
	<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS</b> .....	<b>114</b>
	<b>DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)</b> .....	<b>115</b>
	<b>ANEXO B – DEMONSTRAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS LABORATORIAIS</b> .....	<b>118</b>
	<b>ANEXO C – PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)</b> .....	<b>120</b>
	<b>ANEXO D – AVALIAÇÃO ECONÓMICO-FINANCEIRA DO PROJETO</b> .....	<b>122</b>

<b>CENÁRIO 1 E 2 (CALDEIRAS QUIOTO 150 KW) .....</b>	<b>122</b>
<b>CENÁRIO 1 E 2 (QUIOTO 400 KW) .....</b>	<b>124</b>
<b>MAPAS DE SERVIÇO DE DÍVIDA .....</b>	<b>125</b>
<b>CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA DAS CALDEIRAS QUIOTO 150 KW/400 KW .....</b>	<b>128</b>
<b>CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA DAS CALDEIRAS A GÁS NATURAL NO ISEP .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO E – CALENDARIZAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>134</b>





## Índice de Figuras

Figura 3.1 – Evolução do preço europeu dos <i>pellets</i> (2003 a 2011) com IVA (Adaptado de (Paniz, 2011)).	20
Figura 3.2 – Evolução dos preços de combustíveis de 1999 a 2013 (Adaptado de (Rosillo-Calle, 2008)).	21
Figura 3.3 – Evolução do preço do Gás Natural, de 2009 a 2014 (DGEG, 2015a).	22
Figura 3.4 – Consumo global dos combustíveis fósseis de Abril de 2014 a Abril de 2015 (DGEG, 2015a).	22
Figura 3.5 – Contributo da Energia de fontes renováveis (incluindo <i>pellets</i> ) no consumo de energia final (DGEG, 2015b).	23
Figura 3.6 – Evolução do contributo da biomassa na produção de energia renovável, entre 2006 e 2014 (DGEG, 2015b).	24
Figura 3.7 – Projeção da procura de biomassa na Europa, entre 2005 e 2020 (Adaptado de (EUBIA, 2015)).	24
Figura 3.8 – Distribuição territorial por espécie (Teixeira, 2009).	31
Figura 3.9 – Potencial de produção média anual a nível da NUT II (Teixeira, 2009).	31
Figura 3.10 – Distribuição da produção por espécie (Teixeira, 2009).	32
Figura 4.1 – Esquema representativo de uma caldeira a <i>pellets</i> (Santos, 2009).	38
Figura 4.2 – Silo interior de armazenamento de <i>pellets</i> (Pellergy, 2014).	40
Figura 4.3 – Sistema de alimentação inferior (Alakangas, 2009).	41
Figura 4.4 – Sistema de alimentação superior (Alakangas, 2009).	42
Figura 4.5 – Sistema de alimentação lateral (Alakangas, 2009).	43
Figura 4.6 – Distribuição de <i>pellets</i> a granel (Pellergy, 2014).	44
Figura 5.1 – Locais onde estão instaladas as caldeiras a gás natural no ISEP e edifícios que servem.	49
Figura 5.2 – Localização das caldeiras a <i>pellets</i> a instalar e edifícios servidos pelo aquecimento.	51
Figura 5.3 – Caldeira a Biomassa Quioto Industrial (Zantia, 2015h).	51
Figura 5.4 – Dimensões das caldeiras Quioto 150 kW (Adaptado de (Zantia, 2015d)).	59
Figura 5.5 – Esquema de funcionamento e componentes das caldeiras da série Quioto (SolarWaters, 2015b).	59
Figura 5.6 – Ciclone Quioto (Zantia, 2015c).	60
Figura 5.7 – Quadro automático PLC (Zantia, 2015f).	61
Figura 5.8 – Módulo gestão interativa (Zantia, 2015e).	61
Figura 5.9 – Silo interior flexível de 5,3 toneladas (Zantia, 2015i).	63

Figura 5.10 – Esquema dos acessórios do sistema de transporte de combustível (Zantia, 2015b). .	64
Figura 5.11 – Esquema do sistema de controlo de nível (Zantia, 2015a). .....	64
Figura 5.12 – Caldeiras e equipamentos auxiliares nos compartimentos onde serão instalados.....	66
Figura 5.13 – Esquema representativo do transporte de <i>pellets</i> para a caldeira no local 4 (Edifício E). .....	67
Figura 5.14 – Contentor metálico para o armazenamento das cinzas (TRIU, 2015). .....	69
Figura 5.15 – Localização do contentor metálico para armazenamento das cinzas e trajeto da viatura <i>Multibenne</i> .....	70
Figura 5.16 – Contentor móvel de 120 litros (Manutan, 2015).....	70
Figura 5.17 – Sacos do lixo extra-forte de 120 litros (SacoPlex, 2015).....	70

## Anexo A

Figura A. 1 – Digestor de Kjeldahl. ....	108
Figura A. 2 – Destilador.....	108
Figura A. 3 – Tubos de Kjeldahl e matrizes. ....	109
Figura A. 4 – Bureta para titulação. ....	109
Figura A. 5 – Antes e após a titulação, respetivamente. ....	109
Figura A. 6 – TOC-SSM ( <i>Total Organic Carbon analyser – Solid Sample Module</i> )......	111
Figura A. 7 – Balança analítica de precisão. ....	111
Figura A. 8 – Mufla.....	113
Figura A. 9 – Estufa. ....	113
Figura A. 10 – Cinzas resultantes da queima na mufla de uma amostra de <i>pellets</i> .....	114
Figura A. 11 – Bomba calorimétrica. ....	116

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparação da eficiência das diferentes tecnologias na conversão termoquímica e correspondentes custos fixos e variáveis (Adaptado de (Dawoud et al., 2007)).	12
Tabela 2.2 – Requisitos das matérias-primas para as diferentes tecnologias de conversão energética (Adaptado de (Dawoud et al., 2007)).	12
Tabela 3.1 – Preços dos combustíveis mais usados em Portugal (Adaptado de Nunes et al., 2015)	21
Tabela 3.2 – Produção anual de Energia Renovável (incluindo <i>pellets</i> ), de 2005 a 2013 (Adaptado de (DGEG, 2015b)).	23
Tabela 3.3 – Disponibilidade do potencial da biomassa florestal (Energias Renováveis, 2015).	30
Tabela 3.4 – Potencial de produção média anual por espécie (Teixeira, 2009).	32
Tabela 3.5 – Centrais de produção de <i>pellets</i> ativas ou em comissão em Portugal (Adaptado de (Nunes et al., 2015)).	33
Tabela 4.1 – Vantagens e desvantagens dos tipos de alimentação de caldeiras a <i>pellets</i> .	43
Tabela 5.1 – Caldeiras instaladas no ISEP e correspondentes potências nominais.	48
Tabela 5.2 – Dados técnicos das caldeiras Quioto 400 (Biomassa & Industrial, 2015).	52
Tabela 5.3 – Plano de aquisição de <i>pellets</i> ensacados.	54
Tabela 5.4 – Número de horas de utilização das caldeiras e correspondente número de dias de utilização anual.	56
Tabela 5.5 – Quantidade de <i>pellets</i> necessária para cada uma das caldeiras (diariamente, mensalmente, anualmente e diariamente).	56
Tabela 5.6 – Dados técnicos das caldeiras a implementar no projeto Quioto 150kW (Biomassa & Industrial, 2015).	58
Tabela 5.7 – Produção teórica de cinzas por caldeira.	68
Tabela 5.8 – Produção de cinzas teórica para o projeto.	68
Tabela 6.1 – Compilação dos dados das faturas de gás natural entre 2012 e 2014, no ISEP: a) consumo em m <sup>3</sup> ; b) consumo equivalente em kWh e c) custo correspondente.	72
Tabela 6.2 – Diferenciação das faturas entre 2012 e 2014 para o contador dos edifícios G e H.	74
Tabela 6.3 – Valor do consumo medido de gás natural (s/ IVA) para o período de 2012 a 2014, no ISEP.	75
Tabela 6.4 – Diferença dos consumos e custos no contador 5124247, no ano de 2014.	75
Tabela 6.5 – Estimativas de consumo de gás natural (€) usando 2 métodos para projeção do custo: a) método dos mínimos quadrados e b) método da projeção da tendência.	78
Tabela 6.6 – Plano de investimentos do projeto (caldeiras Quioto 150 kW).	80
Tabela 6.7 – Despesas do projeto.	81
Tabela 6.8 – Indicadores financeiros para o primeiro cenário do projeto (caldeiras Quioto 150 kW, pagamento da totalidade do investimento sem recurso a empréstimo bancário)	82
Tabela 6.9 – Valor total a pagar ao fim de 10 anos após empréstimo de 75% do valor inicial (caldeiras Quioto 150 kW).	83

Tabela 6.10 – Indicadores financeiros para o segundo cenário do projeto (caldeiras Quioto 150 kW, empréstimo bancário de 75% do valor do investimento) .....	83
Tabela 6.11 – Plano de investimentos do projeto (caldeiras 400 kW). .....	84
Tabela 6.12 – Indicadores financeiros para o primeiro cenário do projeto (caldeiras Quioto 400 kW, sem recurso a empréstimo bancário). .....	85
Tabela 6.13 – Valor total a pagar ao fim de 10 anos após empréstimo de 75% do valor do investimento (caldeiras 400 kW). .....	86
Tabela 6.14 – Indicadores financeiros para o segundo cenário do projeto (caldeiras Quioto 400 kW, recurso a empréstimo bancário de 75% do investimento total). .....	86
Tabela 6.15 – Comparação das avaliações financeiras das caldeiras propostas para o projeto em cada um dos cenários: cenário 1 - investimento total; cenário 2 – com empréstimo bancário. ....	88
Tabela 6.16 – Equipamentos opcionais do projeto para possível redução de investimento. ....	89
Tabela 6.17 – Indicadores financeiros com a exclusão dos equipamentos opcionais. ....	89
Tabela 7.1 – Valores limite de emissões poluentes resultantes da queima dos <i>pellets</i> , segundo a norma europeia BS EN 14961-1 (Alakangas et al., 2009). .....	92

## Anexo B

Tabela B. 1 – Especificações para os <i>pellets</i> segundo a norma BS EN 14961-1 (Alakangas et al., 2009). .....	118
Tabela B. 2 – Especificações para os <i>pellets</i> da empresa Gesfinu (Gesfinu, 2015). .....	118
Tabela B. 3 – Comparação de resultados da amostra de <i>pellets</i> com as especificações técnicas da norma BS EN 14961-1 e da empresa <i>Pinewells</i> . .....	119

## Anexo D

Tabela D. 1 – Mapa dos <i>cash-flows</i> para o cenário 1 (Quioto 150 kW) - investimento a 100% inicial. ....	123
Tabela D. 2 – Mapa dos <i>cash-flows</i> para o cenário 2 (Quioto 150 kW) – investimento inicial 25% e 75% de financiamento bancário. ....	123
Tabela D. 3 – Mapa dos <i>cash-flows</i> para o cenário 1 (Quioto 400 kW) - investimento a 100% inicial. ....	124
Tabela D. 4 – Mapa dos <i>cash-flows</i> para o cenário 2 (Quioto 400 kW) – investimento inicial 25% e 75% de financiamento bancário. ....	124

Tabela D. 5 – Mapa de serviço de dívida do projeto com caldeiras Quioto de 150 kW. ....	126
Tabela D. 6 – Mapa de serviço de dívida do projeto com caldeiras Quioto de 400 kW. ....	127
Tabela D. 7 – Comparação faturas energéticas das diferentes caldeiras. ....	128
Tabela D. 8 – Sistema tarifário para as caldeiras no ISEP (Adaptado de (ERSE, 2015)). ....	129
Tabela D. 9 – Ciclo horário semanal das caldeiras no ISEP. ....	131
Tabela D. 10 – Energia ativa para as caldeiras de 150 kW/400 kW. ....	131
Tabela D. 11 – Fatura de energia elétrica de 2015 para as caldeiras de 150 kW/400 kW. ....	131
Tabela D. 12 – Energia ativa para as caldeiras a gás natural no ISEP. ....	132
Tabela D. 13 – Fatura de energia elétrica de 2015 para as caldeiras a gás natural no ISEP. ....	132

## *Anexo E*

Tabela E. 1 – Legenda da calendarização do projeto. ....	134
Tabela E. 2 – Calendarização do projeto. ....	135



# Nomenclatura

Am. Cap. (€) – Amortização de capital;

AQS – Águas quentes sanitárias;

BS EN – British Standard European Normative;

C (€/ano) – Custos de operação e manutenção;

Cap. Am. (€) – Capital amortizado;

CFE (€/ano) – *Cash-flow* de Exploração;

CFG (€/ano) – *Cash-flow* Global;

CFI (€/ano) – *Cash-flow* de Investimento;

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia;

DGRF – Direção Geral de Recursos Florestais;

E.F. (€) – Encargos Financeiros (Juros);

Ea (kWh) – Energia Ativa;

Ehp (kWh) – Energia de horas de ponta;

EPA – *Environmental Protection Agency*;

Er (kvArh) – Energia Reativa;

EU – União Europeia;

EUBIA – *European Biomass Industry Association*;

FCV – Fator de correção de volume;

FEE – Fundo de Eficiência Energética;

FPC – Fundo Português de Carbono;

GEE – Gases de efeito estufa;

hch – Horas de cheia;

hp – Horas de ponta;

hsv – Horas de super vazio;

hv – Horas de vazio normal;

IC – *Inorganic Carbon*;

IFN – Inventário Florestal Nacional;

IR – Índice de rentabilidade;

ISP – Imposto Sobre os Produtos petrolíferos e energéticos;

IVA – Imposto sobre o valor acrescentado;

MT – Média Tensão;

MT (kVA) – Média Tensão;

NIRS – *Near-infrared Spectroscopy*;

PBP (anos) – *Payback Period*;

PC (kW) – Potência Contratada;

PCI – Poder calorífico inferior;

PCS – Poder calorífico superior;

pEr – Preço da energia reativa,

Php (kWh) – Potência de horas de ponta;

PID – *Proportional-Integral-Derivative*;

PLC – *Power Line Communication*;

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;

PRC (anos) – Período de recuperação do capital;

QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional;

R (€/ano) – Receitas, ou, Poupança;

ROI – *Return On Investment*;

SGCIE – Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia;

T (€) – Prestação;

TC – *Total Carbon*;

TGR – Taxas de gestão de resíduos;

TIR (%) – Taxa interna de rentabilidade;

TOC-SSM – *Total Organic Carbon analyser-Solid Sample Module*;

TTF (€) – Termo Tarifário Fixo;

UTA – Unidade de tratamento de ar;

VAL (€/ano) – Valor atual líquido;

WACC (%) – *Weighted Average Cost of Capital*, ou, Taxa de atualização.



# 1. Introdução

O setor energético é responsável pela geração de uma grande quantidade de emissões de diversos gases e de partículas no ar. Os gases são originados pela combustão de diferentes combustíveis fósseis nos motores, tanto a nível industrial como nos transportes, como para o aquecimento doméstico, de edifícios de serviços ou do setor público. Estas emissões têm um efeito negativo sobre a saúde humana e são conhecidas por causar grandes alterações ambientais. Vários destes gases são gases com efeito de estufa, como o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), etc. Estes gases, em conjunto com o aumento da procura mundial de energia e o esgotamento dos combustíveis fósseis num futuro próximo, resultou num motor de desenvolvimento de novas fontes de energia, preferencialmente de natureza renovável.

Na última década, os *pellets* têm emergido como uma fonte de energia renovável, que pode ser considerada como um futuro potencial substituto dos combustíveis fósseis (o petróleo e o gás natural). A rápida expansão do mercado de *pellets* deveu-se, em parte, aos incentivos fiscais, ou seja, aos descontos e programas de incentivo criados para compensar o aumento do custo das caldeiras a *pellets*, face às caldeiras a combustíveis fósseis. Esta diferença no preço das caldeiras existe essencialmente devido ao facto de existirem caldeiras a gásóleo e a gás natural em maior quantidade e, à forma como a indústria petrolífera é subsidiada.

Este projeto foca-se na valorização dos recursos naturais regionais, no reaproveitamento industrial e agrícola, apostando na racionalização e consumo de fontes de energia renováveis e, apela assim à redução da intensidade de consumo de combustíveis fósseis no setor público. Este trabalho permite solucionar um dos problemas com que a sociedade se depara, contribuindo para a adaptação, ainda que lentamente, no sentido da substituição dos combustíveis convencionais de origem fóssil, por outros mais sustentáveis.

## 1.1. Contextualização

Este projeto surgiu do desejo de realizar um trabalho no âmbito da utilização de energia de fonte renovável e da possibilidade de valorização de resíduos agroflorestais, através da instalação de caldeiras alimentadas a *pellets*, tendo em vista a disponibilização de um sistema de aquecimento central de instalações de serviços, como é o caso do ISEP.

Ultimamente, tem vindo a aumentar o uso de caldeiras a *pellets*, utilizadas para o aquecimento central de edificações, bem como tem sido mais significativa a sua importância na carteira dos consumidores no que toca a necessidades de aquecimento.

Na maior parte dos casos, o aquecimento doméstico representa a maior parte dos custos energéticos para uma família normal. Assim, um sistema de aquecimento a *pellets* revela ser uma opção potencialmente eficaz para economizar dinheiro na energia consumida, reduzindo simultaneamente a pegada ecológica.

## 1.2. Objetivos

O objetivo principal deste projeto é o de avaliar a viabilidade técnico-económica da implementação de caldeiras a *pellets* nas instalações do ISEP, de forma a substituir as quinze caldeiras a gás natural existentes, das quais nove em uso e, possivelmente reduzir o seu número. Dada a complexidade inerente a este objetivo, sentiu-se a necessidade de o subdividir em múltiplas tarefas de realização mais simples, tais como:

- A reavaliação dos procedimentos de combustão existentes nas caldeiras a *pellets*;
- O estudo do mercado de *pellets* existente na região e sua disponibilidade;
- A análise laboratorial de uma amostra de *pellets* para determinação de alguns parâmetros significativos;
- O desenvolvimento do dimensionamento das caldeiras a *pellets*;

- A realização da análise económico-financeira do projeto.

### **1.3. Organização do relatório**

No capítulo 1 é feita uma abordagem introdutória ao conteúdo apresentado neste trabalho, bem como a delineação dos objetivos principais do projeto a realizar.

No capítulo seguinte é apresentado o estado de arte do trabalho, descrevendo os processos termoquímicos possíveis para a transformação da energia química da biomassa em energia elétrica, nomeadamente a combustão, processo a ser abordado neste trabalho.

No capítulo 3 é apresentado um estudo sobre o combustível a usar, os *pellets*, no qual são abordadas as matérias-primas usadas para a obtenção deste produto energético, as diferenças de preços e tendências face aos combustíveis fósseis, a sua disponibilidade em Portugal e, a seleção do fornecedor do combustível para o ISEP.

No capítulo 4 é abordado o sistema de produção de água quente/calor, contextualizando os equipamentos necessários para o efeito, bem como para a distribuição e armazenamento dos *pellets*.

No capítulo 5 efetua-se o dimensionamento das caldeiras a adquirir e o estudo do processo produtivo, respetivamente.

No capítulo 6, faz-se a análise económico-financeira do projeto e no capítulo 7 é abordada a gestão ambiental deste projeto face aos métodos de obtenção do combustível.

Finalmente, no último capítulo são reunidas as principais conclusões colhidas com a realização deste trabalho.

### **1.4. Enquadramento legal**

Existe legislação, tanto nacional como europeia, que visa fomentar o aumento do uso de energia térmica “limpa” e da sua aplicação para sistemas de aquecimento.

A nível nacional o quadro legal inclui os seguintes diplomas:

- Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013 – Aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período 2013-2016 e o Plano

Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020.

- Portaria n.º 84/2013. D.R. n.º 41, Série I de 2013-02-27 – Visa incentivar a utilização de fontes de energia não poluentes, como é o caso da biomassa florestal, aumentando a taxa do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP) aplicável ao gasóleo de aquecimento.
- Resolução da Assembleia da República n.º 70/2012. D.R. n.º 91, Série I de 2012-05-10 – Recomenda ao Governo a valorização energética da biomassa no objetivo de proteção da floresta.
- Decreto-Lei n.º 5/2011. D.R. n.º 6, Série I de 2011-01-10 – Estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa florestal.
- Comunicação da Comissão de 7.12.2005 – Plano de Ação Biomassa - Abordagem coordenada da política da biomassa. Utilização da biomassa para aquecimento, para produção de eletricidade e para produção de biocombustíveis no setor dos transportes.
- Portaria n.º 594, de 28 de abril de 2014 – Altera a Norma Regulamentadora n.º 13 (NR-13), que tem como objetivo condicionar a inspeção de segurança e operação de vasos de pressão e caldeiras.

As certificações europeias impostas para a acreditação do projeto são as seguintes:

- BS EN 303-5:2012 – Implementação britânica da norma europeia para combustíveis sólidos, destinada a caldeiras de aquecimento com potência calorífica nominal até 500 kW. Define requisitos para o desempenho, eficiência, emissões e equipamentos de teste.
- BS EN 14961-1:2010 – Norma europeia de sistema de certificação que define os requisitos gerais de utilização genérica (uso industrial incluído) e lista as propriedades que devem ser fixadas para cada tipo de biocombustível (*pellets*, briquetes, estilhas de madeira, lenha).

Os *pellets* a adquirir no âmbito deste projeto necessitam de corresponder aos requisitos da norma europeia BS EN 14961-1 anteriormente referida. Na distribuição dos *pellets* ensacados, estes necessitam de ser certificados pela *ENplus* para poderem ser comercializados por distribuidores sem certificação.

## 2. Processamento térmico da biomassa

O aproveitamento da energia térmica a partir da combustão da biomassa evoluiu desde a sua queima a céu aberto para sistemas sofisticados de combustão controlada de biomassa, como as caldeiras, por exemplo. Atualmente, a biomassa tem sido sujeita a um conjunto de transformações físicas, como a densificação, com vista à homogeneização das suas propriedades físico-químicas e facilidade e redução de custos de transporte e automatização do equipamento de combustão (Rabaçal, 2010).

No setor doméstico, os equipamentos de combustão de biomassa podem ser utilizados em duas vertentes: sistemas de aquecimento centralizado (caldeiras ou fornalhas); ou sistemas de aquecimento localizado (fogões, estufas ou lareiras), dependendo não só da necessidade térmica, mas também da necessidade de distribuição de calor.

Os sistemas de aquecimento localizado aplicam-se em pequenos espaços, especificamente para o aquecimento de zonas singulares de uma habitação. Por outro lado, os sistemas centralizados aplicam-se no aquecimento de residências unifamiliares, aquecimento de edifícios de habitação e serviços e, sistemas de aquecimento domiciliário. Nos sistemas

centralizados, situação deste projeto, a distribuição de calor é feita através de um sistema essencialmente dedicado de tubagens e radiadores, onde circula água como fluido de transporte do calor produzido (Rabaçal, 2010).

## **2.1. Processos termoquímicos**

Os processos bioquímicos (como a produção de etanol através da fermentação) e os processos termoquímicos (como a combustão, pirólise e gasificação) são os procedimentos mais apropriados para converter biomassa florestal em bioenergia, ou em biocombustíveis. A combustão e a pirólise conseguem converter todos os tipos de resíduos florestais. Contudo, os processos de gasificação e de peletização requerem matérias-primas com um teor de cinzas baixo e limpo (Clark et al., 2008).

A biomassa pode ser convertida em diferentes formas de energia (calor e eletricidade), em diferentes combustíveis para os transportes (metanol, gás de síntese), bem como outros produtos químicos, tudo isto através de processos termoquímicos. Estes processos termoquímicos podem ser divididos em vários grupos principais:

- Gaseificação, conversão da biomassa, na presença de oxigênio em proporções inferiores à estequiométrica para combustão completa, em uma mistura de gases combustíveis (gás de síntese);
- Pirólise, o aquecimento da biomassa na ausência de oxigênio para produzir diferentes produtos: sólido (carvão), líquido (óleo pirolítico) e gases de baixo poder calorífico;
- Liquefação direta da biomassa, por pirólise a altas temperaturas e pressões, em que se obtém essencialmente um combustível líquido mas também subprodutos gasosos e sólidos;
- Combustão, queima direta da biomassa (combustível) na presença de oxigênio (comburente) em proporções pelo menos iguais à estequiométrica, para converter a energia química em energia térmica (e mecânica), resultando essencialmente uma corrente gasosa não combustível, constituída pelos produtos de oxidação  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e outros óxidos, e um resíduo sólido (as cinzas).

Os materiais da biomassa, como resíduos agrícolas e florestais, são muitas vezes de difícil utilização direta nos processos de conversão termoquímica em diferentes produtos energéticos. Esta dificuldade deve-se à natureza não homogênea e volumosa destes materiais. Sendo assim, estes materiais devem passar por algum tipo de pré-tratamento antes

da aplicação de qualquer processo termoquímico, como acontece muitas vezes, em que a biomassa é esmagada, seca e moída. Frequentemente, a biomassa contém grande quantidade de água, que deve ser parcialmente removida, antes do seu tratamento termoquímico (Clark et al., 2008).

Quando se pretende uma maior produção de energia térmica para aquecimento utilizando caldeiras a biomassa, deve-se apoiar num sistema focado apenas na produção de calor, obtendo maior eficiência térmica que noutro sistema combinado, como a cogeração, tal como se pode constatar na

Tabela 2.1. A combustão constitui um processo de transformação ideal a ser considerado. Além de ser um processo termoquímico simplificado, é o processo menos exigente quanto aos requisitos de teor de cinzas e de humidade nas matérias-primas do combustível a usar, bem como consegue abranger todo o tipo de resíduos florestais, tal como podemos observar na Tabela 2.2. Contudo, é imprescindível reduzir ao máximo estes teores de cinzas e humidade nas matérias-primas, de modo a maximizar o potencial energético da biomassa.

Tabela 2.1 – Comparação da eficiência das diferentes tecnologias na conversão termoquímica e correspondentes custos fixos e variáveis (Adaptado de (Dawoud et al., 2007)).

Tipo de instalação de processamento	Capacidade	Eficiência		Custos fixos por ano (€)
		Térmica (%)	Elétrica (%)	
Caldeira a biomassa (aquecimento apenas)	2 MW <sub>th</sub>	71.3	0.0	638,692
Caldeira a biomassa + turbina a vapor (CHP)	0.5 MW <sub>el</sub>	21.7	14.5	317,225
	5 MW <sub>el</sub>	12.9	18.3	2,514,655
Caldeira a biomassa + turbina a vapor (eletricidade apenas)	0.5 MW <sub>el</sub>	0.0	18.7	317,242
	5 MW <sub>el</sub>	0.0	18.7	2,515,031

**Nota: CHP - *combined heat and power*, ou então, cogeração.**

Tabela 2.2 – Requisitos das matérias-primas para as diferentes tecnologias de conversão energética (Adaptado de (Dawoud et al., 2007)).

Processo de conversão	Tipo de resíduos florestais	Teor de cinzas	Teor de humidade	Tamanho da partícula
Combustão	Todos os tipos	<30%	10–50%	5–50 mm
Gasificação	Estilhas	<6%	<20%	<75 mm
Peletização	Estilhas	<1%	<10%	<6 mm
Pirólise	Todos os tipos	Desconhecido	<10%	<2 mm

## 2.2. Combustão

A combustão da biomassa é uma alternativa para a conversão de energia química contida na biomassa, em calor e eletricidade. A combustão produz gases quentes com temperaturas de cerca de 800-1000 °C, ou mesmo superiores. O calor produzido deve ser utilizado imediatamente para aquecimento e/ou geração de energia elétrica, visto que o seu armazenamento não é uma opção viável (Clark et al., 2008).

A eficiência da combustão de biomassa para produção elétrica varia entre 15-40%, enquanto que a sua eficiência para produção de calor é >80%. A combustão de *pellets* permite uma produção combinada de energia e de calor (cogeração, ou seja, produção combinada de energia elétrica e energia térmica num mesmo equipamento), bem como de frio (trigeração), utilizado por exemplo em hotéis (Rosillo-Calle, 2008).

O processo de combustão usado para aquecimento pode ser realizado para a produção de calor em pequena escala (em agregados familiares), em média escala (em hospitais, repartições públicas, etc.) e em grande escala (em centrais de combustão para fins industriais). Os sistemas de combustão de grande escala (industriais) usam principalmente combustíveis de baixa qualidade térmica (como serrim e aparas de madeira), devido a serem mais apropriados para queimadores de grande dimensão. Enquanto nos sistemas de pequena escala (residenciais) são utilizados combustíveis de alta qualidade térmica, como estilhas (cascas) de madeira e palha (Rosillo-Calle, 2008).

## 2.3. Propriedades essenciais para a combustão

Existem várias propriedades que são importantes para a combustão da biomassa, como por exemplo: a composição de voláteis, teor de carbono, teor de cinzas, etc. Por isso é necessária a caracterização de diferentes fontes de biomassa, de modo a ser possível avaliar o seu potencial bioenergético. A caracterização da biomassa é feita em duas categorias: as características físicas e as características químicas (Clark et al., 2008).

As características químicas são o teor de humidade, teor de cinzas, elementos produtores de cinzas, a concentração de outros elementos inorgânicos e, o ponto de fusão das cinzas durante a combustão. Estas propriedades químicas dependem do tipo de matéria-prima de biomassa, das condições agrícolas e do clima a que estiveram sujeitas. Em alguns casos, a biomassa deve ser pré-seca, de forma a reduzir o seu teor de humidade para <50%, antes da combustão.

As características físicas da matéria-prima de biomassa, após o tratamento por diferentes processos, incluem: a dimensão e forma das partículas, densidade a granel, etc. A distribuição cumulativa do tamanho das partículas da biomassa é muitas vezes determinada por diferentes métodos, de modo a determinar a qualidade da biomassa e permitir a sua classificação para diferentes fins (Clark et al., 2008).

## 2.4. Poluentes resultantes

Ao longo do processo de combustão dos biocombustíveis sólidos, são libertados poluentes, podendo ser divididos em duas classes (Pellergy, 2014):

- **A) Poluentes resultantes de combustão incompleta:** monóxido de carbono (CO), carbono (C), hidrocarbonetos e compostos de alcatrão ( $C_mH_n$ ) e partículas não queimadas.
- **B) Poluentes resultantes de combustão completa:** óxidos de azoto ( $NO_x$ ) e dióxido de carbono residual ( $CO_2$ ).

Contudo, um bom controlo deste processo pode eliminar grande parte destes poluentes antes de escaparem para o ambiente. Este controlo pode ser feito através de uma via separadora, ou ventilador, do ar primário e secundário e, com uma zona de combustão (queimador) suficientemente grande, de forma a criar condições para a redução de emissões de combustão incompleta. Muitas caldeiras a *pellets* possuem este sistema (Pellergy, 2014).

### 2.4.1. Emissão de partículas

Além dos poluentes gasosos emitidos durante o processo de combustão da biomassa, são também emitidos outros poluentes não gasosos, como partículas poluentes muito finas. Estas partículas representam uma fração muito elevada das emissões resultantes da queima da biomassa. Afetam não só a saúde humana mas também os próprios sistemas de queima, criando depósitos e aglomerações no equipamento, que podem levar à ruína deste e à deterioração do processo de combustão (Henriques, 2013).

A combustão de biomassa tem maior impacto na formação de partículas do que a dos combustíveis fósseis. Este impacto deve-se ao facto de a biomassa ter um teor de matéria volátil muito elevado, tendo por outro lado um teor de resíduo carbonoso mais baixo. A concentração de partículas depende da composição química da biomassa e da eficiência da combustão. As partículas resultam da combustão incompleta da biomassa (fuligem) e da

vaporização e condensação da matéria inorgânica (elementos voláteis) presente nas cinzas. A emissão de partículas é tanto maior quanto maior for o teor de cinzas na biomassa, pois estas também dificultam a ejeção das partículas pela grelha, por efeito de aglomeração. As cinzas são a matéria inorgânica da biomassa e são sempre um produto da combustão, independentemente de esta ser completa ou incompleta (Henriques, 2013).

## 2.5. Extração da energia térmica

A extração de energia térmica da biomassa por combustão consiste num processo de conversão termoquímica complexo, que se desencadeia da seguinte forma (Madeira, 2011):

1. **Aquecimento:** Antes que as reações termoquímicas se sucedam, é necessário aquecer as partículas dos combustíveis sólidos a uma temperatura até 105 °C;
2. **Secagem:** Etapa necessária para vaporizar a água existente no combustível sólido a utilizar, normalmente a uma temperatura entre 105 °C e 200 °C.
3. **Volatilização:** Libertação da matéria volátil existente no combustível, a uma temperatura entre 200 °C e 260 °C.
4. **Combustão:** Ignição do resíduo carbonoso do combustível (a temperatura > 260 °C).

Se a humidade relativa da biomassa for superior a 60% não existem condições para ocorrer combustão da mesma (Madeira, 2011). Por outro lado, a volatilização depende de alguns fatores, tais como, a taxa de aquecimento das partículas, as dimensões das partículas, a temperatura final e o intervalo de tempo a que estas permanecem a essa temperatura. A libertação de voláteis é proporcional a estas variáveis e inversamente proporcional às dimensões das partículas. Entre os produtos da volatilização libertam-se gases como CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, hidrocarbonetos leves (CH<sub>4</sub>) e H<sub>2</sub>. O resíduo carbonoso resultante da volatilização é constituído essencialmente por carbono e cinzas, podendo também incluir pequenas quantidades de hidrogénio, oxigénio e azoto (Madeira, 2011).



### 3. Combustível: *pellets*

Um *pellet* é uma pequena porção de bioenergia (energia derivada de fontes biológicas), contida em biomassa sem qualquer aglutinante químico. Normalmente, os *pellets* têm uma forma cilíndrica de partículas densificadas de madeira, com 6-8 mm de diâmetro e com comprimento variável, entre 15-25 mm. O valor energético de 1 tonelada de *pellets* é de cerca de 5 MWh, que é equivalente a 0,5 m<sup>3</sup> de petróleo. Como os *pellets* não emitem CO<sub>2</sub> de origem fóssil, o seu uso é privilegiado para um sistema energético sustentável. Com isto, os *pellets* têm sido utilizados tanto no setor doméstico como no setor industrial, como um recurso energético usado para aquecimento e produção de eletricidade (Deswarte, 2008).

Os *pellets* são um combustível natural e renovável, fáceis de transportar e de manusear, a solução ideal para um aquecimento seguro e sustentável. Caracterizam-se por terem um elevado teor energético e excelente valor calorífico. No entanto, contêm material inorgânico, cinzas, que reduzem o potencial térmico dos *pellets* e podem ser usadas como um valioso fertilizante para os solos (Energias Renováveis, 2015).

Os *pellets* são o combustível de eleição em alguns países da Europa, como na Áustria e Alemanha, onde tendem a ser utilizados a nível doméstico, e na Escandinávia, onde os *pellets* são utilizados em cogeração, aquecimento urbano e ainda, em instalações de co-combustão (combustão simultânea de dois combustíveis) (Dawoud et al., 2007).

### 3.1. Matéria-prima

A biomassa usada para a peletização (produção de *pellets*) é composta principalmente por culturas lenhosas (ricas em celulose, hemiceluloses, lenhina e alguns extrativos), tais como: árvores de crescimento rápido (eucaliptos), cana-de-açúcar, gramíneas, resíduos florestais (estilhas de madeira) e resíduos agrícolas (palha/feno). Todos os tipos de biomassa lenhosa são matérias-primas adequadas para a produção de *pellets*. No entanto, para manter baixos os custos de moagem, é normalmente usado o pó das serragens (serrim), aparas de madeira e outros resíduos florestais (Dawoud et al., 2007).

Estas culturas lenhosas dividem-se em três tipos de biomassa: biomassa agrícola (matéria vegetal proveniente da atividade agrícola e de jardinagem, como podas arbóreo-arbustivas), biomassa florestal (matéria vegetal proveniente da silvicultura e dos seus desperdícios, tais como: ramos, cepos, folhas, raízes e estilhas de madeira) e por fim, biomassa tradicional (lenha, estilhas de madeira/palha de arroz e outros resíduos vegetais para produção de calor). Por cada hectare de floresta explorada na silvicultura, podem ser obtidas 0,4 a 0,8 toneladas de lenha seca, a partir de resíduos florestais. Na manutenção das florestas podem também ser recolhidos, anualmente, cerca de 1,5 toneladas por hectare (Pellergy, 2014).

Uma das matérias-primas mais usadas, o serrim, possui um teor de humidade de 45-55%, necessitando de grande espaço para ser armazenado e, é suscetível a alterações criadas por atividades microbianas e químicas durante o seu armazenamento. Por conseguinte, existe um grande interesse em descobrir novas matérias-primas para a produção de *pellets*, desde o material lignocelulósico na produção de etanol, como outras fontes de biomassa: palha, diversas gramíneas, palha de milho e outros produtos agrícolas. É possível a utilização de uma mistura de diferentes materiais lignocelulósicos na produção de *pellets* (Clark et al., 2008).

### 3.2. *Pellets* vs combustíveis fósseis

Os *pellets* ganharam fama e importância nos sistemas de aquecimento na competição com os combustíveis fósseis, devido a algumas vantagens que apresentam como produto (Pellergy, 2014):

- Produto indígena, natural e renovável;
- Elevado poder calorífico;
- Fácil de manusear e de ser transportado;

- Necessitam de pouco espaço de armazenamento (inferior à lenha);
- A sua aquisição assegura a valorização regional, fortalecendo a sua economia e criando novos postos de trabalho;
- Não requer desmatamento para a sua produção, apenas o reaproveitamento das sobras de madeira, de gramíneas, resíduos florestais e de atividades agrícolas;
- Liberta menos gases tóxicos na sua queima e é muito mais vantajoso do que a lenha nas caldeiras;
- Disponível em todo o Portugal, com principal foco da sua produção no centro do país (Aveiro, por exemplo), podendo também ser entregues em casa;
- Aumenta o tempo de vida útil dos aterros sanitários e, reduz os custos de tratamento de resíduos;
- O seu preço não é (ainda) influenciado pelos mercados mundiais.

As principais vantagens e desvantagens das caldeiras a *pellets* face às caldeiras convencionais (a gásóleo ou gás natural) (Solutions, 2014) incluem:

#### Vantagens:

- Podem poupar cerca de 40 a 60% nos custos de aquecimento, tanto em uso doméstico como industrial (gás natural e gásóleo, respetivamente);
- De acordo com algumas estimativas conservadoras, um investimento em uma caldeira a *pellets* pode proporcionar um retorno sobre o investimento (ROI) tão alto quanto 49% ao ano, ao longo de 15 anos;
- A tecnologia de caldeira a *pellets* tem uma eficiência comprovada, com mais de um milhão de instalações bem-sucedidas na Europa;
- Aquecimento a partir de um combustível renovável traduz-se num impacto ecológico positivo para o nosso ecossistema;
- Valoriza uma habitação, empresa ou instituição por usufruir de energia de forma sustentável.

#### Desvantagens:

- Os *pellets* têm menor Poder Calorífico Inferior (PCI) do que os combustíveis fósseis e são por isso energeticamente menos densos, e por isso mais volumosos, do que o gásóleo (1 litro de gásóleo para aquecimento = cerca de 4,5 kg de *pellets*);

- Os *pellets* podem ser mais desvantajosos na distribuição, face ao gasóleo e ao gás, não só devido à sua menor densidade, como também à menor rede de distribuição existente. Se os *pellets* não forem entregues a granel, as caldeiras devem ser alimentadas por *pellets* ensacados;
- A queima dos *pellets* origina uma grande quantidade de cinzas, ao contrário dos combustíveis convencionais. Assim, os depósitos de cinzas devem ser esvaziados com alguma frequência. As cinzas podem ser espalhadas em relvados, jardins e bosques, atuando como ótimos fertilizantes (necessitam de testes ecotoxicológicos, antes desta utilização).

Na última década, o custo dos *pellets* manteve-se relativamente estável em comparação com os preços do petróleo, no mesmo período de tempo, como demonstrado na Figura 3.1, em que o preço de 2009 a 2011 se manteve estável (com uma pequena oscilação em 2010), variando entre 200 e 240 €/t. O petróleo, por outro lado, tem visto drásticas flutuações de preços e aumentos globais que são mais do dobro dos que se observam nos *pellets*. Como ilustrado na Figura 3.2, o petróleo e o gás propano registaram um aumento de 350% e 302% no preço, respetivamente, de 1999 a 2013 (Rosillo-Calle, 2008).

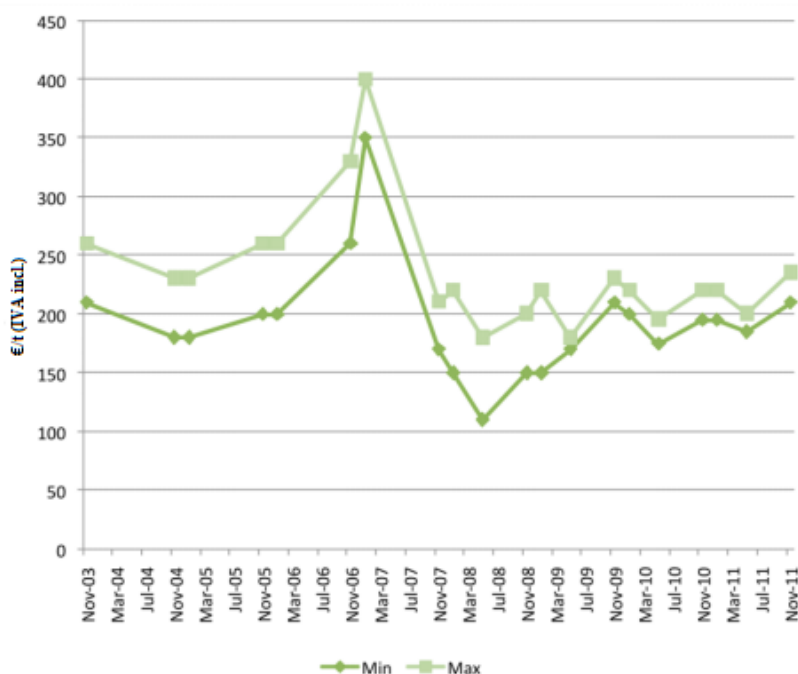


Figura 3.1 – Evolução do preço europeu dos *pellets* (2003 a 2011) com IVA (Adaptado de (Paniz, 2011)).

No mesmo período de tempo, os *pellets* registaram um aumento de 100% no preço, não só substancialmente mais baixo que os aumentos dos combustíveis fósseis, mas também mais

estável ao longo do tempo. Neste período de tempo, os utilizadores que fizeram a troca de combustíveis derivados de petróleo para *pellets*, sofreram uma redução de até 50% em custos de aquecimento doméstico por ano. Por isso, o prazo de retorno do investimento para o cliente que escolhe aquecimento a *pellets* como fonte alternativa de combustível é menor (Rosillo-Calle, 2008).

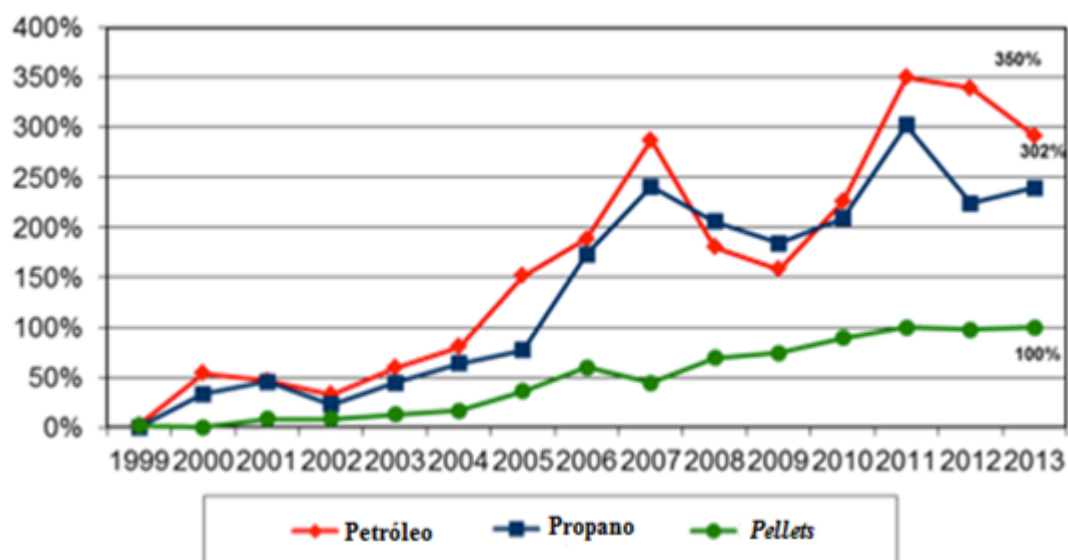


Figura 3.2 – Evolução dos preços de combustíveis de 1999 a 2013 (Adaptado de (Rosillo-Calle, 2008)).

Na Tabela 3.1 encontram-se dados atuais sobre os preços dos combustíveis mais comuns em Portugal, para fins de aquecimento, tanto para o mercado doméstico como para o mercado industrial.

Tabela 3.1 – Preços dos combustíveis mais usados em Portugal (Adaptado de Nunes et al., 2015)

Combustível	PCI (kWh)	Preço médio 2015	
		Mercado doméstico	Mercado Industrial
<i>Pellets</i> de madeira	4.97	0.035 €/kWh	0.030 €/kWh
Gás natural	9.16	0.079 €/kWh	0.034 €/kWh
Gasóleo de aquecimento	7.90	0.141 €/kWh	–
Gás propano	11.20	0.349 €/kWh	0.121 €/kWh
Fuelóleo n° 3	11.39	–	0.067 €/kWh

Relativamente ao preço do Gás Natural, segundo dados da DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), pode-se observar na Figura 3.3 a evolução do preço, entre 2009 e 2014. O aumento do preço do gás natural para uso industrial, foi de 13% (DGEG, 2015a).

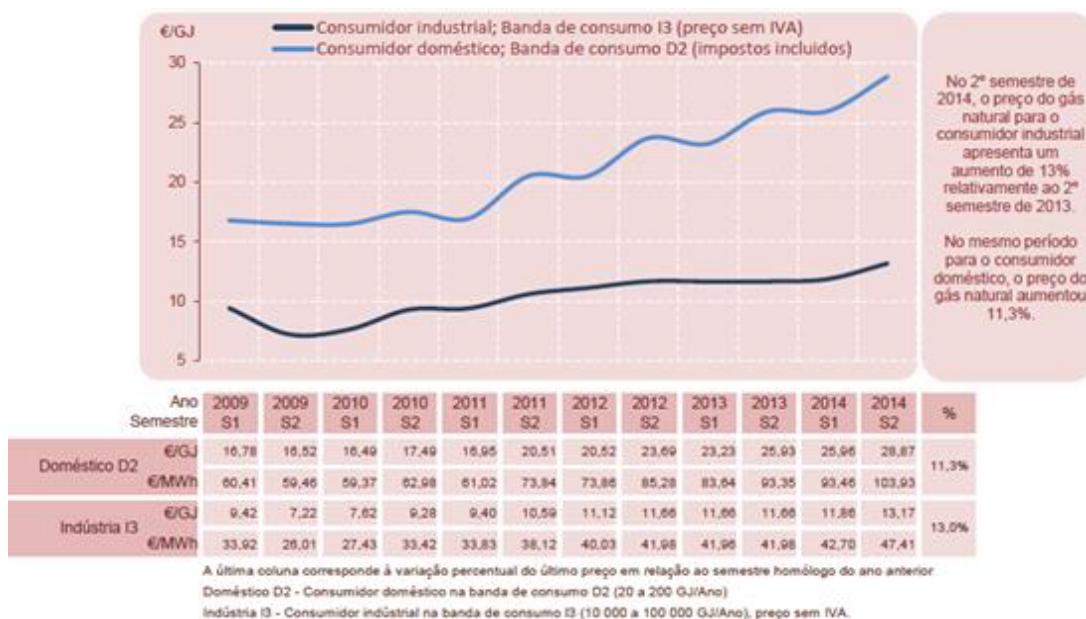


Figura 3.3 – Evolução do preço do Gás Natural, de 2009 a 2014 (DGEG, 2015a).

De acordo com as últimas estatísticas de Abril de 2015, na Figura 3.4 pode-se observar o consumo mensal global de carvão, produtos do petróleo e gás natural, de Abril de 2014 a Abril de 2015, constatando-se que o consumo de gás natural tem crescido ligeiramente, registando um aumento de 1,9% (DGEG, 2015a).

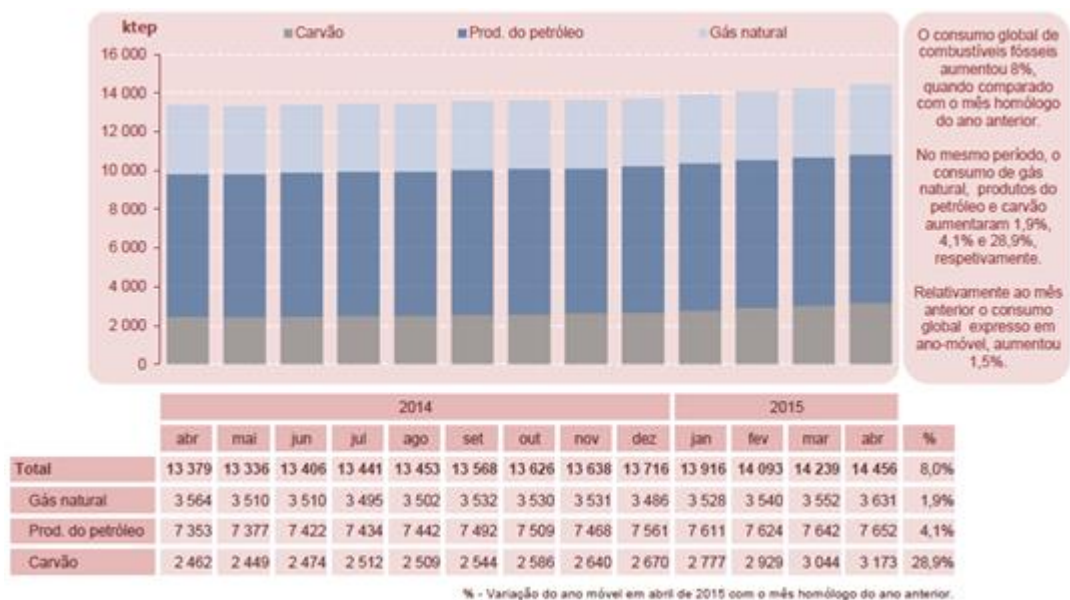


Figura 3.4 – Consumo global dos combustíveis fósseis de Abril de 2014 a Abril de 2015 (DGEG, 2015a).

No que diz respeito à produção de *pellets*, esta tem aumentado significativamente desde 2010, como se pode ver na Tabela 3.2 segundo dados da DGEG (DGEG, 2015b).

Tabela 3.2 – Produção anual de Energia Renovável (incluindo *pellets*), de 2005 a 2013 (Adaptado de (DGEG, 2015b)).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total Renovável	3 392	4 166	4 341	4 241	4 737	5 373	4 835	4 621	5 530
Energia elétrica	599	1 245	1 265	1 142	1 456	2 249	1 872	1 501	2 369
Biocombustíveis	0	70	162	149	226	284	330	276	274
Biomassa	2 773	2 829	2 891	2 924	3 019	2 791	2 571	2 775	2 812
Lenhas e resíduos vegetais/florestais	1 906	1 942	1 996	1 986	2 035	1 550	1 256	1 296	1 178
Licores Sulfíticos	738	760	760	789	825	878	878	921	986
Pellets e briquetes	nd	nd	nd	nd	nd	221	282	312	453
Biogás	11	10	16	23	25	32	46	56	65
Outra biomassa <sup>2</sup>	118	118	120	126	134	110	109	190	130
Outros renováveis <sup>3</sup>	20	22	23	26	36	49	61	69	74

<sup>2</sup> Inclui fração renovável de RSU.

<sup>3</sup> Inclui solar térmico e geotermia de baixa entalpia.

Além da sua produção, o contributo da biomassa para consumo de energia final tem liderado nos últimos anos em Portugal nas energias de origem renovável, como podemos ver para o ano de 2013 no gráfico da Figura 3.5 (DGEG, 2015b).

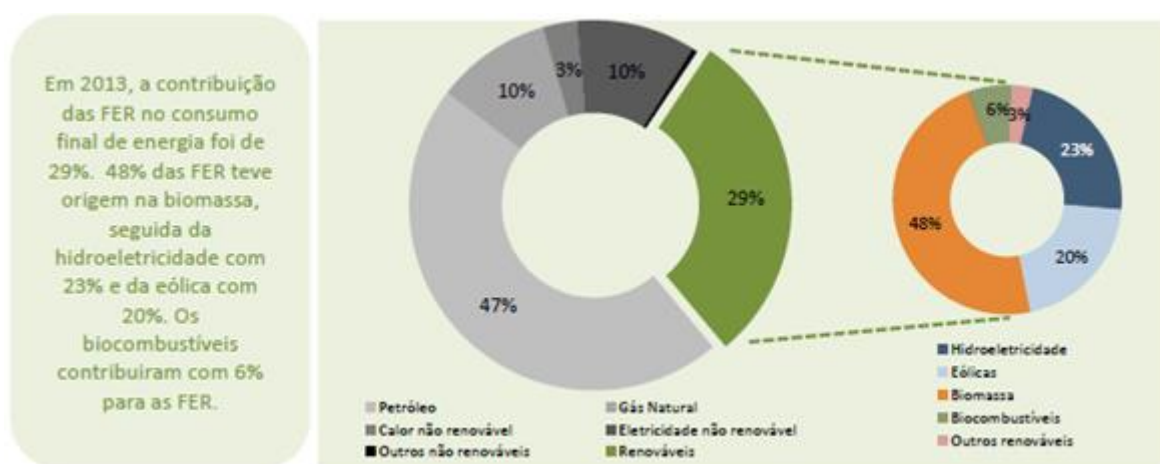


Figura 3.5 – Contributo da Energia de fontes renováveis (incluindo *pellets*) no consumo de energia final (DGEG, 2015b).

Para confirmar ainda mais a importância dada pela DGEG ao contributo da biomassa em Portugal, é possível observar na Figura 3.6, que cerca de 50% da produção renovável, entre os anos de 2006 e 2014, provém da biomassa, registando 57 % em 2013 (DGEG, 2015b).

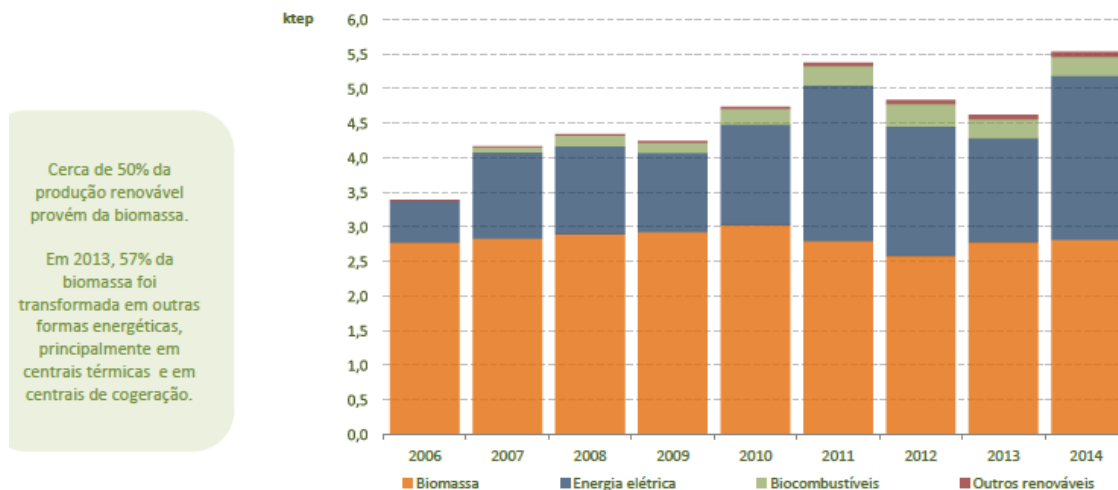


Figura 3.6 – Evolução do contributo da biomassa na produção de energia renovável, entre 2006 e 2014 (DGEG, 2015b).

Com a análise destes últimos dados estatísticos referentes aos *pellets* e ao gás natural, pode-se afirmar que a procura e a produção dos *pellets* são crescentes, com uma projeção cada vez mais positiva, aliando à forte impulsão da escolha de fontes renováveis, ripostando à crise e reduzindo o uso dos combustíveis fósseis. No que respeita ao gás natural, o seu consumo tem aumentado ligeiramente ao longo dos anos e, o seu preço perde na corrida contra os *pellets*.

Relativamente à projeção da procura da biomassa na Europa, enquadrando-a na categoria de “Biocombustíveis para aquecimento”, de 2005 a 2020, a sua evolução é bastante positiva, de acordo com dados da EUBIA – *European Biomass Industry Association*, tal como se pode verificar na Figura 3.7 (EUBIA, 2015):

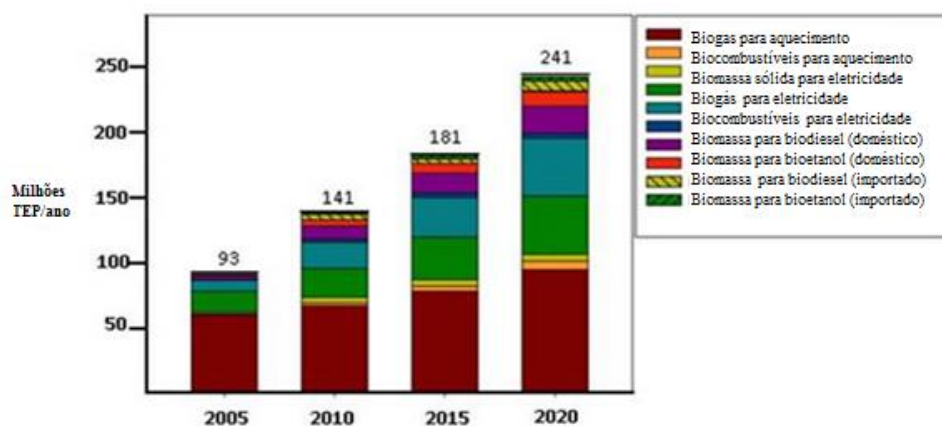


Figura 3.7 – Projeção da procura de biomassa na Europa, entre 2005 e 2020 (Adaptado de (EUBIA, 2015)).

De acordo com estes dados estatísticos, estima-se que os preços de ambos os combustíveis, *pellets* e gás natural, tendem a aumentar ligeiramente, mas o gás natural revela-se sempre mais caro que os *pellets*, principalmente na escala doméstica. Quanto ao consumo do gás natural, este tem um crescimento previsto quase residual, enquanto os *pellets* têm uma procura crescente e representam uma aposta na biomassa no consumo da energia final a prevalecer nas energias renováveis. Concluindo, pode-se verificar que a aposta nos *pellets* em substituição do gás natural traduz-se numa opção mais económica face às projeções demonstradas.

Além destas projeções, a utilização da biomassa como fonte de energia renovável orientada para a produção nacional, apresenta também a possibilidade de exploração de recursos naturais endógenos, sem estarem sujeitos a flutuações de preços internacionais pelos mercados globais, estando apenas sujeitos às leis da oferta e procura do próprio mercado nacional, aumentando por isso a segurança energética nacional. O mesmo não se pode dizer quanto ao gás natural (Nunes et al., 2015).

### **3.3. Biomassa densificada**

Os processos de densificação da biomassa são usados para converter resíduos florestais em produtos comercializáveis. Essencialmente há três tipos de produtos de biomassa densificada, *pellets*, briquetes e estilha de madeira (*wood chips*). A biomassa densificada tem diferentes características físicas e químicas. Por exemplo, os *pellets* de casca de madeira têm maior teor de cinzas que os *pellets* normais (do pó das serrações ou aparas de madeira) e também geram mais emissões na sua queima (Dawoud et al., 2007).

Em seguida, apresentam-se algumas das vantagens da biomassa densificada, sobretudo dos *pellets*, para melhor entender a sua importância comparativamente à sua forma original (Clark et al., 2008):

- Menor teor de humidade (cerca de menos 40-45% de água);
- Maior homogeneidade, resultando em menor variação no teor de humidade e no tamanho das partículas e assim, em melhores propriedades de combustão;
- Menos desigualdade na combustão com emissões indesejáveis;
- Maior densidade e menos custos de transporte;
- Maior densidade energética e muito maior facilidade na alimentação dos queimadores das caldeiras;

- Menos custos de armazenamento;
- A possibilidade de maiores tempos de armazenamento, sem quaisquer riscos de criação de mofo ou outras atividades microbiológicas e químicas.

Além destas vantagens, a divisão e a redução do tamanho dos combustíveis estimula uma combustão mais equilibrada. Ao reduzir o tamanho das partículas, a sua superfície específica é aumentada, possibilitando uma conversão termoquímica mais rápida do combustível. Entretanto, um combustível com tamanho reduzido reúne condições ideais para que decorra uma combustão com baixas emissões, na qual as fases de arranque e queima sejam minimizadas (Pellergy, 2014).

Porém, há outra matéria-prima que está a ser usada também para densificação, são as gramíneas. Estas são densificadas em fardos, podendo pesar cerca de 250-500 kg. As gramíneas estão a tornar-se cada vez mais atraentes em determinadas áreas, nas quais não há outras fontes de energia alternativa e onde os custos de energia convencional são elevados. As gramíneas são particularmente atraentes para co-combustão com carvão.

### **3.4. Caraterização dos *pellets***

Os *pellets* são constituídos por uma parte inflamável, cinzas e ainda uma parte de água. O teor de cinzas nos gases resultantes da queima dos *pellets* é geralmente inferior a 0,5% do seu peso bruto. As cinzas contêm vários elementos, tais como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si). A elevada quantidade de finos nos *pellets* aumenta o teor de cinzas, o que por consequência, induz problemas associados à sua combustão. No pior dos casos, a cinza pode derreter no queimador e destruir a salamandra (Ökofen, 2012).

Procedeu-se à determinação laboratorial da composição dos *pellets*, incidindo nos seguintes parâmetros: teor de humidade, carbono, azoto, cinzas e poder calorífico superior. O procedimento da determinação de cada um destes parâmetros numa amostra de *pellets* encontra-se descrito no Anexo A.

### **3.5. *Pellets* em Portugal**

O mercado dos *pellets* em Portugal está numa fase inicial de desenvolvimento, ainda não se encontra bem estruturado, carece de consumo doméstico e a maior parte da produção é exportada para países do norte da Europa, como Inglaterra, Dinamarca, Bélgica ou Suécia. Este mercado consiste em pequenos consumidores, com médios picos de produção/consumo

no período de Inverno, desde Outubro a Abril. Os principais setores de consumo de *pellets* em Portugal são o setor doméstico e os serviços públicos e industriais, com necessidades energéticas térmicas. Neste último setor, os maiores consumidores são principalmente lares de idosos, escolas e instalações desportivas (Nunes et al., 2015).

Recentemente, a indústria têxtil portuguesa está a tornar-se um consumidor intensivo de *pellets*, devido às suas grandes necessidades de energia térmica. Desta forma, conseguem obter a energia que procuram de forma mais sustentável e a um preço mais baixo que os combustíveis fósseis.

Em Portugal, não há centrais de energia térmica a utilizar *pellets* como combustível e não existe legislação que obrigue a partilha de recursos em novas áreas residenciais. Essa legislação seria benéfica, por exemplo, na situação de um novo prédio residencial ser apresentado para aprovação, através da obrigatoriedade de inclusão de um sistema de aquecimento comum para todas as novas casas. Com medidas como estas, o consumo de *pellets* aumentaria rapidamente (Nunes et al., 2015), aumentando também a eficiência energética.

No entanto, a produção de *pellets* tem vindo a aumentar em Portugal desde 2005 até 2015, desde as poucas e reduzidas centrais para várias e grandes centrais. O crescimento da taxa de produção tem registado um aumento exponencial, este aumento não está associado ao aumento do consumo doméstico, mas sim ao aumento da capacidade de produção. Nos últimos quatro anos, Portugal atingiu uma capacidade instalada de mais de um milhão de toneladas por ano.

Existem dois tipos diferentes de indústria de *pellets* em Portugal: as grandes fábricas com mais de 100.000 toneladas de capacidade anual, orientadas para a exportação de *pellets* industriais para grandes consumidores europeus; e, as pequenas e médias centrais de *pellets* com capacidade de 4000 – 50000 t/ano, com acesso direto aos resíduos de biomassa de variadas indústrias, tais como às centrais de produção de paletes, serralharias, indústria de mobiliário ou da cortiça. Estas indústrias abastecem a produção de *pellets* das indústrias locais e das pequenas indústrias do mercado (Nunes et al., 2015).

A indústria de *pellets* em Portugal consiste em 9 centrais de grande capacidade (> 100 kt/ano) e 18 pequenas e médias centrais (< 40 kt/ano) com uma capacidade total de produção instalada de 1,2 Mt/ano. A produção de *pellets* para fins domésticos aumentou

constantemente a partir de 120 kt/ano em 2006 e chegou a 1,2 Mt/ano em 2012. O consumo de *pellets* tem crescido a um ritmo muito mais lento e é estimado em 150 kt/ano em 2015.

Quanto à produção de energia a partir de *pellets*, devido ao baixo tarifário para produção de energia, esta ainda não se revela numa tarefa financeiramente atraente em Portugal, onde a taxa média é 119 €/MWh para a energia das centrais a biomassa, ao contrário do que acontece por exemplo em Inglaterra, onde, devido a uma tarifa de 105 £/MWh (cerca de 148 €/MWh), a produção de energia elétrica a partir da biomassa e da conversão de centrais de energia a carvão para queima de biomassa é altamente compensatória (Nunes et al., 2015).

### **3.6. Estudo de mercado**

Muitas empresas de produtos petrolíferos estão atualmente a expandir a sua produção para incluir a entrega de *pellets* a granel, bem como a instalação e manutenção dos sistemas de aquecimento central. Esta opção de expansão deve-se ao facto da escolha de *pellets*, como combustível, ser uma opção vantajosa, tanto para o cliente como para o mercado produtor (Rosillo-Calle, 2008).

A produção de *pellets* oferece empregabilidade em todas as fases do seu ciclo, desde a exploração florestal local, até à moagem local, incluindo no transporte por camião a curta distância, na conceção dos sistemas, na instalação, nos retalhistas locais. Além disso, a escolha do mercado produtor de *pellets* contribui para a preservação do meio ambiente e das poupanças dos consumidores nos custos com combustível.

As caldeiras a *pellets* são mais caras que as caldeiras a combustíveis fósseis, no entanto, não se deve focar apenas no preço de compra ao estabelecer uma comparação. Vários são os fatores que devem ser considerados antes de adquirir uma nova caldeira (Rosillo-Calle, 2008):

- Preços de mercado

Os preços do petróleo e dos seus derivados têm vindo a aumentar aceleradamente nos últimos anos, prevendo-se preços cada vez mais altos dadas as variações de mercado. O preço dos *pellets* também tem aumentado, mas regista uma taxa de inflação muito menor que os combustíveis fósseis. Principalmente por isto, o investimento neste combustível tem vindo a ser reconsiderado e, valorizada a poupança gerada com o uso dos *pellets*.

- Descontos e incentivos

Uma das razões pelas quais as caldeiras a combustíveis fósseis são mais baratas do que as caldeiras a *pellets* é o facto de existirem em maior quantidade. Outra razão é a forma como o governo subsidia a indústria petrolífera. Porém, a fim de equilibrar o negócio das caldeiras a *pellets*, são criados descontos e programas de incentivo para compensar o aumento do custo das caldeiras.

### 3.7. Preço dos *pellets*

O preço dos *pellets* tem pequenas flutuações, devido a variações de distâncias, desde a recolha, produção e distribuição dos *pellets*. Contudo, não é dependente de acontecimentos geopolíticos, e estas flutuações à qual está sujeito, são menores do que no petróleo ou gás. Como a fabricação de *pellets* aproveita restos vegetais, arbóreos e da indústria de madeira, o seu preço é mantido baixo, face aos recursos fósseis.

Não é possível determinar um valor fixo que defina o preço dos *pellets* num determinado ano. No entanto, é possível obter um valor médio, calculado com base numa pesquisa junto aos fornecedores de *pellets* em Portugal. Mas, para ter uma noção a quanto os *pellets* são vendidos atualmente em Portugal, é necessário averiguar o seu preço nos estabelecimentos públicos de venda ao cliente. Assim, no supermercado “Continente”, cada saco de 15 kg de *pellets* da marca “Nova Lenha” custa 3,69 €, o que equivale a um preço por tonelada de 246 €/t (Continente, 2015).

Quanto ao estabelecimento “Leroy Merlin”, o preço do saco de *pellets* de 15 kg, varia de 3,49 € (marca “Rubro”) a 5,99 € (marca “eco Pellet”), sendo estes últimos classificados como ecológicos. Estes preços por unidade equivalem a uma variação de 232,67 €/t para 399,33 €/t, respetivamente (L.Merlin, 2015).

Com estes valores de venda ao cliente em estabelecimentos públicos mais populares, os *pellets* têm um custo mínimo médio de **239,34 €/t**, atualmente. Porém, neste projeto, o abastecimento das caldeiras necessita de grandes quantidades de *pellets*, logo a sua aquisição será feita diretamente a um fornecedor de *pellets*, invés de fazer a sua compra em estabelecimentos públicos. O fornecedor escolhido e o preço dos *pellets* para este projeto, encontra-se no subtópico 3.9.

### 3.8. Distribuição e quantificação do recurso

Cerca de 38% do território português é ocupado por terrenos florestais. A quantificação deste recurso não é fácil de determinar com precisão, devido à aquisição de dados ser proveniente de fontes com informação desigual e, também pelas dificuldades desta mesma quantificação. Esta dificuldade na quantificação deve-se a factores como: extensão do território, existência de inúmeras propriedades privadas, variabilidade de espécies, quase "abandono" de terrenos florestais, diferenças de critério na quantificação de "recurso sustentável", etc. Por isso, é difícil quantificar o verdadeiro potencial energético da biomassa florestal e fazer com que os valores obtidos revelem o cenário atual do aproveitamento deste recurso.

Atualmente, o potencial quantificável da biomassa passa sobretudo pela biomassa florestal, não havendo números para alguns aproveitamentos de resíduos lignocelulósicos em que têm um interesse exploratório considerável, tanto do setor agrícola como da indústria do vinho, de azeite e árvores de fruto, por exemplo. No entanto, na Tabela 3.3, encontram-se apresentados valores da disponibilidade deste recurso energético de acordo com a fonte de biomassa florestal (Energias Renováveis, 2015):

Tabela 3.3 – Disponibilidade do potencial da biomassa florestal (Energias Renováveis, 2015).

Fonte de biomassa florestal	Quantidade [milhões de t/ano]
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e Bicadas	1,0
Indústria Transformadora da Madeira	0,2
<b>Total</b>	<b>2,2</b>

A floresta portuguesa apresenta contextos consideravelmente diferentes de Norte a Sul do país. Segundo a Direção Geral de Recursos Florestais (DGRF), o mapeamento da distribuição da floresta portuguesa pode-se dividir nas principais espécies vegetais, são elas o eucalipto, pinheiro bravo, azinheira e sobreiro (Teixeira, 2009).

Como se pode observar na Figura 3.8, a distribuição das espécies é bastante díspar: o pinheiro bravo apresenta-se principalmente a norte do Tejo, concentrando-se no centro do

país; o eucalipto distribui-se ao longo do rio Tejo, sobretudo nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu; o sobreiro e a azinheira estão maioritariamente presentes a sul do Tejo, nos distritos de Beja, Évora, Santarém e Setúbal.

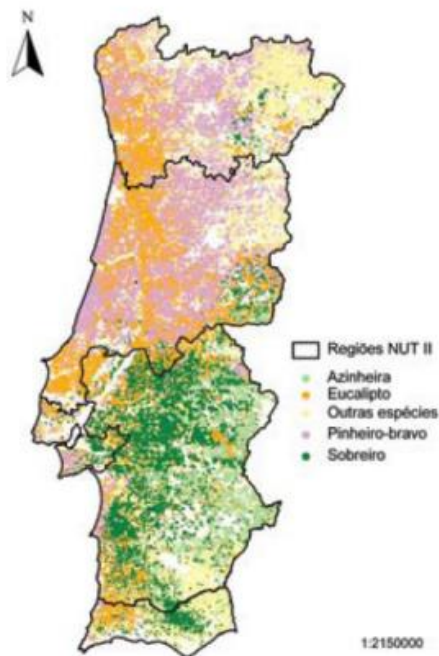


Figura 3.8 – Distribuição territorial por espécie (Teixeira, 2009).

Em 2006, foi apresentado o Inventário Florestal Nacional (IFN), que atualmente é o mais recente. Do estudo sobressai um potencial de produção média anual de biomassa em Portugal Continental de 8,3 milhões de toneladas de peso seco. A nível da NUT II, a biomassa florestal é distribuída conforme a Figura 3.9 e, a distribuição ao nível de cada espécie, na Tabela 3.4 (Teixeira, 2009).

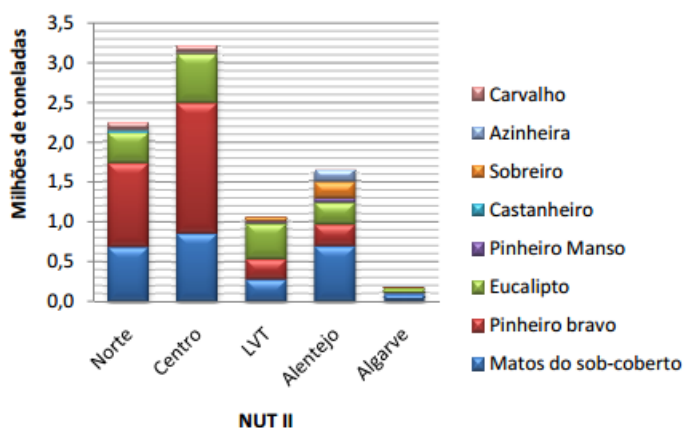


Figura 3.9 – Potencial de produção média anual a nível da NUT II (Teixeira, 2009).

Tabela 3.4 – Potencial de produção média anual por espécie (Teixeira, 2009).

Espécie	Peso seco [t/ano]
Matos do sob coberto	2.573.292
Pinheiro bravo	3.206.070
Eucalipto	1.775.205
Pinheiro Manso	83.653
Castanheiro	49.269
Sobreiro	295.029
Azinheira	191.044
Carvalho	157.072
<b>Total</b>	<b>8.330.634</b>

Na Figura 3.10, podemos observar a distribuição da produção nacional de espécies florestais, destacando a liderança da produção de pinheiro bravo com quase metade da produção total.

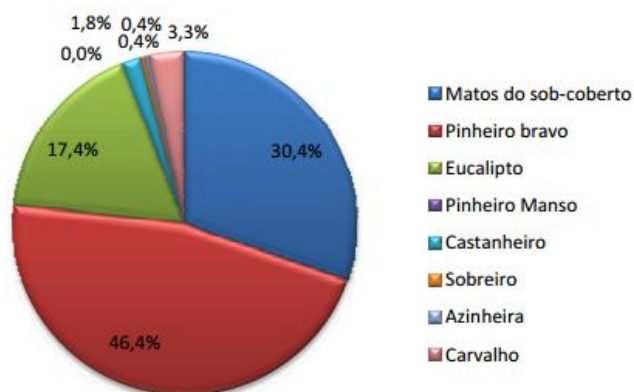


Figura 3.10 – Distribuição da produção por espécie (Teixeira, 2009).

No entanto, existem alguns obstáculos no aproveitamento deste potencial energético, tais como: a falta de equipamentos adequados e de estrutura para os sistemas de recolha, grande concorrência dos outros setores energéticos e, falta de tratamento fiscal adequado (taxa de IVA para matérias-primas da biomassa bastante superior às fontes energéticas fósseis) (Teixeira, 2009).

### 3.9. Fornecedor de *pellets*

Para a escolha do fornecedor de *pellets* para alimentar as caldeiras a implementar neste projeto, foram tidos em consideração os seguintes aspetos: proximidade e disponibilidade do recurso. Assim, valorizando a redução dos transportes efetuados pelo fornecedor, dos

*pellets* até aos equipamentos, prevaleceu uma forte intenção de adquirir a um fornecedor na zona Norte de Portugal Continental, combinando com a sua capacidade de produção anual de *pellets*. No entanto, a seleção do fornecedor de *pellets* para este projeto apenas servirá para se obter o preço dos *pellets* a usar nos cálculos e avaliação financeira do projeto. As especificações técnicas dos *pellets* a usar foram avaliadas experimentalmente a partir de uma amostra de *pellets* disponibilizada para este projeto. Os cálculos experimentais encontram-se no Anexo A, e as especificações dos *pellets* da empresa fornecedora, no Anexo B.

Para escolher uma empresa fornecedora, foi necessário consultar capacidades de centrais de produção de *pellets* em vigor, face à sua proximidade com as instalações do ISEP e a sua capacidade de produção anual. Assim, listam-se estas centrais na Tabela 3.5 (Nunes et al., 2015):

Tabela 3.5 – Centrais de produção de *pellets* ativas ou em comissão em Portugal (Adaptado de (Nunes et al., 2015)).

Centrais de <i>pellets</i>	Local	Capacidade (kg/ano)
ADL	Celorico de Basto	20.000
AFS <sup>2</sup>	Oliveira de Azeméis	100.000
Biobranco II	Vila Velha de Rodão	50.000
Biomad	Guimarães	5.000
Briquetes Raro	Vila Nova de Gaia	10.000
Castro & Filhos	Guimarães	5.000
CMC Biomassa	Alcobaça	10.000
Douropellets	Lamego	10.000
Enermontijo	Pegões	120.000
Enerpellets	Pegrogão Grande	150.000
Fourpellets	Barcelos	5.000
Glowood	Cercal do Alentejo	50.000
JAF/Nova Lenha	Oleiros	80.000
Jungle Power	Lousada	120.000
Melpellets	Melgaço	5.000
Nicepellets	Ilhavo	5.000
Omnipellets	Leiria	40.000
Pellets Power	Mortágua	100.000
Pellets Power 2	Alcácer do Sal	100.000
Pelletsfirst	Alcobaça	120.000
Pinewells	Arganil	120.000
Sol Total	Coimbra	10.000
Stellep	Chaves	40.000
Tecpellets	Póvoa de Varzim	100.000
Thermowall II	Braga	5.000
Vimasol	Celorico de Basto	10.000
XPZ	Esposende	5.000
YGE <sup>2</sup>	Oliveira de Azeméis	5.000

<sup>2</sup> *Pellets torreficados.*

Analisando estes dados, a central a corresponder à maior proximidade do ISEP, em conjunto com um dos maiores valores de produção anual de *pellets*, é a unidade de produção situada em Lousada, *Jungle Power* ou *Pellets Power 1*, da empresa Gesfinu. Esta central selecionada para alimentar as caldeiras a implementar no projeto, usa como matéria-prima dos *pellets*

que produz, a biomassa proveniente de resíduos florestais, inclusive serrim. No subtópico 5.4 deste trabalho é apresentado o preço proposto por esta unidade de produção por tonelada de *pellets*, bem como a quantidade necessária para alimentar as caldeiras a implementar no projeto.

## 4. Sistema de produção de água quente/calor

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento são responsáveis pela maior parte do conforto ambiente de um edifício, bem como por uma parte significativa da sua fatura energética e pelas emissões de gases poluentes para a atmosfera, logo a sua eficiência energética é fundamental.

Um sistema de aquecimento central serve para aquecer as divisões nos meses frios (de Outono a Março, aproximadamente) e, pode ainda produzir água quente para uso doméstico. É um sistema constituído pelos seguintes componentes (Isolani et al., 2008):

- Unidade geradora de calor (caldeira);
- Sistemas de distribuição do calor (tubagens) e sua utilização (radiadores, piso radiante, etc);
- Unidades de regulação e controlo.

As caldeiras a *pellets* servem para aquecer edificações, especialmente em casas domésticas, com operação totalmente automática. Podem ser adaptadas para sistemas de piso radiante a água quente, sistemas *hydro-air* (combinação de água e ar quente) e sistemas de ar quente

forçado. As caldeiras a *pellets* são adequadas a quem está interessado em economizar dinheiro no aquecimento e diminuir o impacto ambiental (Ökofen, 2012).

Tipicamente, as caldeiras queimam os *pellets* quando necessário, através de um sistema de ignição automática. O queimador é alimentado com determinadas doses de *pellets* (quando necessário), através de um parafuso sem-fim ligado a um silo, ou a um depósito de armazenamento adjacente. Quase todas as casas podem ser equipadas com uma caldeira a *pellets*, quer como fonte de calor independente, quer como fonte primária de calor em conjunto com uma caldeira secundária, a servir de fonte de calor suplementar (Solutions, 2014).

#### **4.1. Conversão do sistema de aquecimento a *pellets***

A substituição dos combustíveis fósseis tradicionais por biomassa exige que as empresas e particulares se comprometam à substituição completa de equipamentos, levando a investimentos. Contudo, a crise económica internacional e a dificuldade que as empresas têm ao recorrer a fontes de crédito e financiamento, faz com que a necessidade deste investimento seja um obstáculo para muitas empresas, podendo impedir a adoção da biomassa como fonte de energia, se não houver apoio para a conversão de energia.

A tecnologia de aquecimento doméstico a *pellets* permite aos clientes atualizarem facilmente as suas caldeiras convencionais, simplesmente trocando o queimador a gás/óleo por um queimador a *pellets*. Convertendo um sistema de aquecimento doméstico de gás/óleo, ou a gás, para *pellets* não é necessário nenhuma modificação permanente para o sistema de aquecimento doméstico existente. Todos os controlos do sistema e funcionalidades de segurança são mantidos. O queimador convencional original pode ser desinstalado e pronto a ser reinstalado noutra residência, em minutos (Rosillo-Calle, 2008).

Porém, para o cenário com caldeiras de maiores potências (normalmente acima dos 200 kW), já não é possível apenas a substituição dos queimadores, mas sim a substituição completa do equipamento, devido à limitação da potência destes queimadores suplentes. Neste projeto é escolhida a opção de substituir a totalidade das caldeiras por outras a *pellets*. No entanto, apesar de serem raros os exemplos que não possuem uma tecnologia compatível, nem todas as caldeiras domésticas a gás/óleo, ou a gás, são adequadas para a conversão a *pellets*, devido à incompatibilidade de algumas versões.

### 4.1.1. *Queimadores externos*

A opção de trocar apenas o queimador das caldeiras convencionais por um a *pellets* dá-se através da instalação de queimadores externos nas caldeiras. Estes têm várias vantagens, mas também desvantagens, além da sua limitação para caldeiras com elevadas potências. As suas vantagens, nas caldeiras convencionais, são (Santos, 2009):

- Menos suscetibilidade de avarias na caldeira (devido à queima dos *pellets* se dar no queimador e não na caldeira);
- Manutenção mais facilitada no conjunto queimador/caldeira;
- Alternativa de queimar estilhas de madeira;
- Alternativa mais económica para a substituição de um combustível poluente e mais caro por *pellets*.

Nota: Na caldeira apenas entram os gases da combustão que resultam da queima dos *pellets* no queimador.

Por outro lado, os queimadores externos apresentam as seguintes desvantagens, como opção de implementação nas caldeiras convencionais (ThermoWatt, 2013):

- Ausência de depósito de cinzas resultantes da combustão dos *pellets* (as caldeiras convencionais não possuem câmaras de combustão preparadas para a queima de resíduos sólidos);
- As passagens de fumos não admitem incrustações e podem obstruir;
- Rendimento energético reduzido (aproximadamente 30%);
- Limpeza das caldeiras não automatizada e com manutenção intensa (Santos, 2009).

Por isso, muitas vezes é mais aconselhável a aquisição de uma caldeira a *pellets*, preparada para a combustão de biocombustíveis sólidos (*pellets*), do que a simples substituição do queimador, pelos problemas que pode acarretar e o baixo rendimento prometido.

## 4.2. Equipamentos necessários na produção

Por norma, os sistemas de combustão de biomassa são mais complexos que os sistemas de aquecimento convencionais (gás, gasóleo, eletricidade), especialmente no armazenamento e manuseamento do combustível e, quanto ao tipo de câmara de combustão. Para identificar os principais componentes de uma caldeira a *pellets*, de uma forma pouco elaborada e acessível, podemos observar a

Figura 4.1. Em seguida, irá ser explicado de forma simples e breve, alguns dos equipamentos

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Ar primário                      | 8. Tubagem do permutador                 |
| 2. Ar secundário                    | 9. Isolamento                            |
| 3. Refratário                       | 10. Ventilador                           |
| 4. Extração de partículas suspensas | 11. Sonda Lambda (controlo de combustão) |
| 5. Coletor de cinzas                | 12. Chaminé                              |
| 6. Depósito de cinzas               | 13. Controlador de pressão               |
| 7. Motor do sistema de limpeza      |  |

acima descritos.

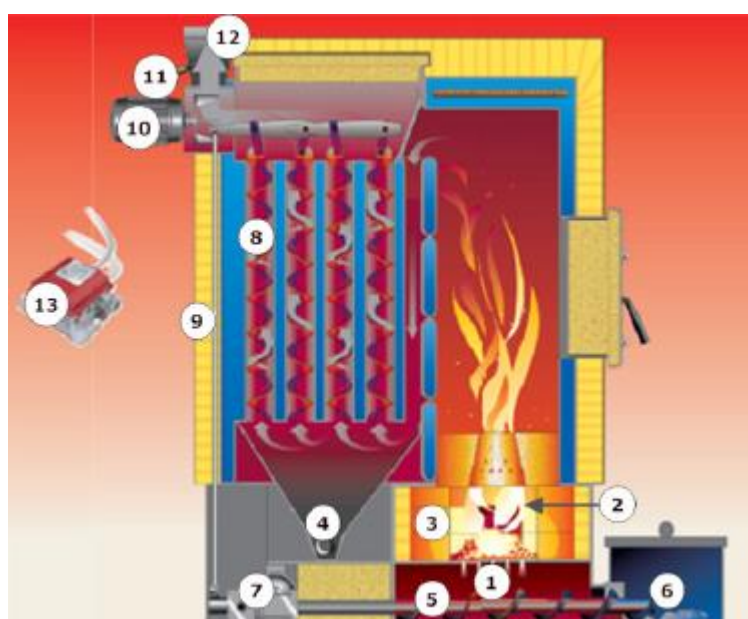


Figura 4.1 – Esquema representativo de uma caldeira a *pellets* (Santos, 2009).

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Ar primário                      | 8. Tubagem do permutador                 |
| 2. Ar secundário                    | 9. Isolamento                            |
| 3. Refratário                       | 10. Ventilador                           |
| 4. Extração de partículas suspensas | 11. Sonda Lambda (controlo de combustão) |
| 5. Coletor de cinzas                | 12. Chaminé                              |
| 6. Depósito de cinzas               | 13. Controlador de pressão               |
| 7. Motor do sistema de limpeza      |  |

### Refratário

A necessidade de existir uma via separadora do ar primário e secundário deve-se à necessidade de controlar a emissão de poluentes resultantes da combustão dos *pellets*. À

entrada do ar primário denomina-se de zona de combustão primária, devendo a quantidade de ar ser mínima, de forma a garantir a volatilização e minimizar a formação de óxido nítrico (NO), através da queima do combustível. Na zona de combustão secundária, onde há entrada do ar secundário, a quantidade de ar deve ser elevada, garantindo a oxidação dos produtos da combustão primária (Rabaçal, 2010).

### **Permutador**

O permutador de calor serve para transferir o calor produzido na combustão para o fluido presente nos seus tubos, este fluido quando aquecido irá ser distribuído para os equipamentos destinados a aquecer as divisões.

### **Sonda Lambda**

Este equipamento é nada mais que um sensor de oxigênio, permitindo a regulação da quantidade de ar na combustão. Se houver excesso de ar, provoca uma diminuição da temperatura de queima, se por outro lado, houver falta de ar, induz a uma baixa fonte de alimentação da queima do combustível (Rabaçal, 2010).

### **Queimador de *pellets***

Os queimadores de *pellets* fornecem uma combustão totalmente automatizada, através da incorporação de um dispositivo eletrónico de ignição, um ventilador de combustão e um sensor de chama fotoelétrico. As características projetadas para o queimador permitem temperaturas de combustão muito elevadas sem sofrer efeitos de corrosão ou de degradação térmica. Pode ser instalado no queimador um sistema de limpeza automática, para remover a formação de clínqueres (partes não combustíveis dos *pellets*) sem a intervenção do utilizador, alargando drasticamente o tempo entre a manutenção necessária (Rosillo-Calle, 2008).

### **Parafuso sem-fim**

Os sistemas de parafuso sem-fim para alimentação de *pellets* são modificados a partir da tecnologia utilizada na indústria agrícola, sendo também otimizados para a utilização nos *pellets*. O parafuso sem-fim é utilizado tanto para encaminhar as cinzas para o seu depósito de recolha, como para medir e transferir os *pellets* a partir do silo, ou depósito dos *pellets*, diretamente para o queimador. É um sistema flexível e projetado com funcionalidades de segurança inovadoras, impedindo os *pellets* de incinerarem no armazenamento se o sistema

de ventilação da caldeira falhar. Para esse efeito de prevenção existe uma válvula termostática acoplada em alguns sistemas (Rosillo-Calle, 2008).

### **Controlador**

Existe um controlador no sistema que permite que a operação seja totalmente automatizada, com a mínima participação do proprietário. O controlador é baseado em um microprocessador que controla a entrada de energia no termostato e no queimador da caldeira. O controlador fornece resultados para indicar em que fase do ciclo de queima o sistema está a operar, bem como, mensagens de erro em caso de encerramento do sistema.

### **Termostato**

Num sistema de aquecimento a *pellets*, o aquecimento central é controlado por um termostato, permitindo uma monitorização constante das temperaturas no interior e exterior das caldeiras. Ter um sistema controlado por termostato não é apenas uma questão de comodidade para o utilizador, é uma estratégia financeira (Rosillo-Calle, 2008).

## **4.3. Armazenamento dos *pellets***

Os *pellets* são normalmente armazenados em silos (Figura 4.2) para a proteção contra a absorção de água. Durante o armazenamento por longos períodos ou no transporte de *pellets* (contentores), podem ocorrer algumas emissões de compostos orgânicos voláteis (aldeídos e ácidos carboxílicos de baixo peso molecular), causando odores desagradáveis, além de problemas de saúde. Estes compostos orgânicos são produzidos pela oxidação de ácidos gordos e de resina nos *pellets* (Clark et al., 2008).



Figura 4.2 – Silo interior de armazenamento de *pellets* (Pellergy, 2014).

O armazenamento a granel é a melhor forma de armazenar os *pellets*, relativamente à opção de alimentar a caldeira por *pellets* ensacados, devido aos resíduos originados por estes sacos

e à probabilidade de os *pellets* se partirem devido ao manuseamento. As unidades de armazenamento a granel fazem parte de um sistema que alimenta automaticamente o silo da caldeira através de uma mangueira. Além do mais, é um sistema quase livre de poeira, porque os silos são devidamente fechados (Rosillo-Calle, 2008).

Existem silos interiores, silos exteriores e depósitos de armazenamento que permitem acomodar todas as necessidades de aquecimento e armazenamento do proprietário, se a alimentação das caldeiras não for feita através de *pellets* ensacados. Os depósitos de armazenamento existem em uma variedade de tamanhos, para atender às diversas necessidades energéticas e espaço existente (Rosillo-Calle, 2008).

#### 4.4. Alimentação das caldeiras

A alimentação das câmaras de combustão das caldeiras a *pellets* pode ser realizada de três modos diferentes: por alimentação inferior, alimentação superior e alimentação lateral (retorta). Estes sistemas de alimentação requerem um sistema de transporte de combustível específico e a câmara de combustão também é alterada para o efeito (Santos, 2009).

##### - Alimentação Inferior:

Este tipo de alimentação de caldeiras a *pellets* possui os sistemas de transporte e de controlo situados no exterior da caldeira, facilitando a monitorização dos *pellets*. Os *pellets* são levados para a câmara de combustão através de um parafuso sem-fim. O ar primário e secundário alimentam diretamente a zona de queima, resultando na queima completa dos *pellets* (Figura 4.3). Após a queima, as cinzas caem sobre a grelha (Santos, 2009).

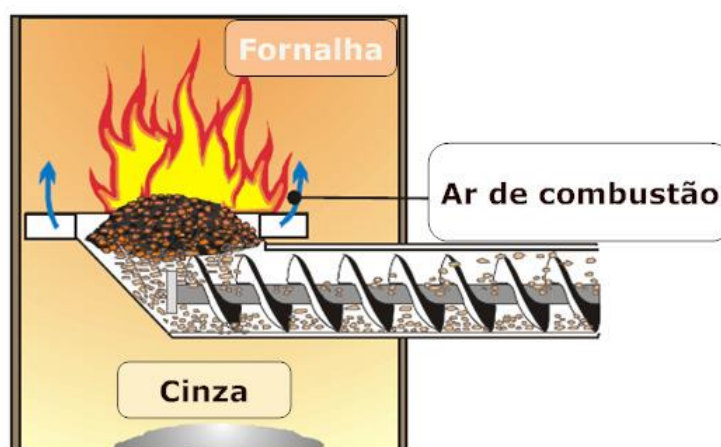


Figura 4.3 – Sistema de alimentação inferior (Alakangas, 2009).

Este tipo de sistema tem algumas desvantagens, a saber:

- Contacto direto dos *pellets* com a combustão – Pode haver o risco de estes retornarem acesos para a tremonha. A combustão é morosa porque a placa de queima está sempre cheia, a uma temperatura elevada.
- O movimento contínuo ou intermitente do transportador – Pode compactar ou destruir *pellets*, além de ser possível formar uma base de combustão pouco homogénea, permitindo que os *pellets* acabem na zona de cinzas sem serem queimados.
- Risco de acumulação de cinzas no leito – As cinzas vão sendo depositadas após a queima, formando uma camada que não deve ser espessa, de forma a não comprometer a eficiência da combustão.

- Alimentação Superior:

Neste sistema de alimentação, os *pellets* são também introduzidos na caldeira através de um parafuso sem-fim, mas neste caso os *pellets* caem para a zona de queima através de um tubo ou calha, como se pode observar na Figura 4.4 (Santos, 2009).

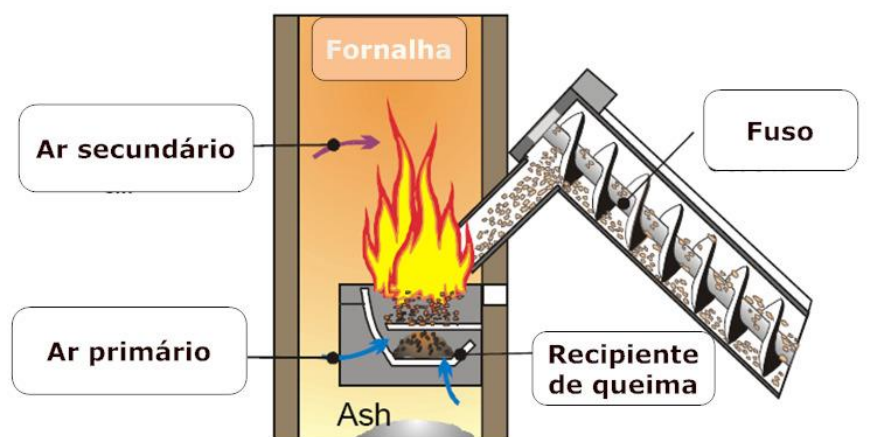


Figura 4.4 – Sistema de alimentação superior (Alakangas, 2009).

Neste sistema de alimentação, o ar secundário alimenta a zona acima do leito dos *pellets*, enquanto o ar primário permite a volatilização e reduz a formação de gases poluentes resultantes da combustão incompleta. Uma desvantagem técnica apontada a este sistema é a dificuldade de monitorizar o nível de *pellets*, devendo este ser verificado com um indicador de nível. No entanto, este sistema apresenta algumas vantagens face ao sistema de alimentação inferior, tais como (Santos, 2009):

- Não haver risco de formação de escórias – Devido às cinzas permanecerem na zona arrefecida pelo ar primário, por baixo do leito dos *pellets*.
- Não haver risco dos *pellets* voltarem acesos para a tremonha de armazenamento – Pelo facto de o mecanismo transportador não estar diretamente ligado à zona de combustão.

- Alimentação lateral (retorta):

Um sistema de alimentação lateral tem uma construção similar a um sistema de alimentação inferior, porém a entrada do ar de combustão é idêntica ao sistema de alimentação superior. O seu mecanismo transportador e a eletrônica de controlo estão situados no exterior da caldeira, favorecendo a monitorização do nível dos *pellets* (Figura 4.5) (Santos, 2009).

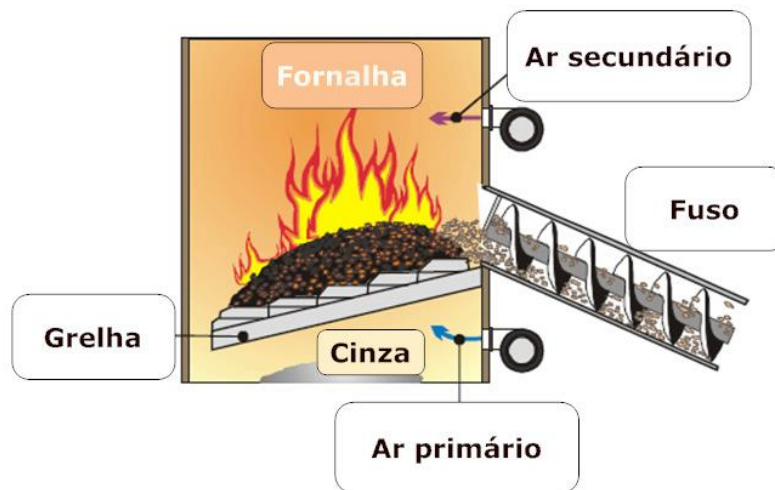


Figura 4.5 – Sistema de alimentação lateral (Alakangas, 2009).

As desvantagens deste sistema são semelhantes às do sistema de alimentação inferior, ou seja, o transportador compacta o combustível, o que pode criar uma base de combustão pouco homogênea com combustão incompleta. Porém, como o ar primário arrefece as cinzas, não há risco de formação de escórias por baixo do leito. Para resumir o assunto abordado neste subtópico, pode ser consultada a

	Vantagens	Desvantagens
Alimentação Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade em monitorizar o nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco dos <i>pellets</i> voltarem à tremonha acesos.</li> <li>• Risco de compactação ou destruição dos <i>pellets</i>.</li> <li>• Risco de formação de cinzas no leito.</li> </ul>

Alimentação Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não haver risco de formação de escórias.</li> <li>• Não haver risco dos <i>pellets</i> voltarem acesos para a tremonha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade de monitorização do nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>
Alimentação Lateral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não haver risco de formação de escórias.</li> <li>• Facilidade em monitorizar o nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco de compactação ou destruição dos <i>pellets</i>.</li> </ul>

Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Vantagens e desvantagens dos tipos de alimentação de caldeiras a *pellets*.

	Vantagens	Desvantagens
Alimentação Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade em monitorizar o nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco dos <i>pellets</i> voltarem à tremonha acesos.</li> <li>• Risco de compactação ou destruição dos <i>pellets</i>.</li> <li>• Risco de formação de cinzas no leito.</li> </ul>
Alimentação Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não haver risco de formação de escórias.</li> <li>• Não haver risco dos <i>pellets</i> voltarem acesos para a tremonha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade de monitorização do nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>
Alimentação Lateral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não haver risco de formação de escórias.</li> <li>• Facilidade em monitorizar o nível dos <i>pellets</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco de compactação ou destruição dos <i>pellets</i>.</li> </ul>

#### 4.5. Distribuição dos *pellets*

Os *pellets* podem ser entregues a granel, por camião, comboio ou barco, em sacos de 15 kg para venda ao público, ou em sacos "big bag" de 1 tonelada. Face à proximidade do local onde são produzidos os *pellets*, o seu preço de aquisição tende a ser mais barato. Além disso, a distribuição local dos *pellets* evita o desperdício de energia no transporte a longas distâncias, como em navios ou camiões. Como já foi referenciado no subtópico 4.4, a opção da distribuição e armazenamento de *pellets* é a que oferece mais vantagens, simplificando a vida dos clientes, transportando os *pellets* até aos consumidores (Clark et al., 2008).

Existe a opção de entrega dos *pellets* aos consumidores através de abastecimento automático, assim como o petróleo ou gás propano nas estações de abastecimento. Este abastecimento é realizado por um camião com uma mangueira pneumática flexível, de 23 m e com uma conexão de 10 cm, transferindo os *pellets* do camião diretamente para o depósito de armazenamento ou silo do consumidor (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Distribuição de *pellets* a granel (Pellergy, 2014).

Esta opção é a ideal, mais fácil e cómoda. À medida que surgem mais casas a adotarem aquecimento central a *pellets*, este tipo de distribuição tornar-se-á mais atrativo para as empresas ampliarem o seu mercado (Rosillo-Calle, 2008).

Nas restantes opções de distribuição em sacos *big bag* e sacos de 15 kg, os primeiros necessitam de grande espaço para armazenamento e apresentam dificuldades no manuseamento e transporte, pois cada um pesa 1 tonelada. Quanto aos sacos de 15 kg, estes são mais facilmente manipuláveis e transportáveis, e ocupam menos espaço de armazenamento (Clark et al., 2008). Pode-se encontrar *pellets* ensacados em lojas de artigos agrícolas, associações agrícolas, retalhistas de produtores de *pellets* ou mesmo em supermercados. O consumidor pode abastecer o silo da caldeira facilmente com estes sacos.

#### **4.6. Manutenção e limpeza do sistema**

Todos os sistemas de aquecimento a *pellets* produzem cinzas, e assim, requerem limpezas mais frequentes do que os sistemas a combustíveis fósseis. A frequência de limpeza necessária para um sistema de aquecimento varia entre pouco mais de uma semana e um mês ou mais, dependendo do tipo de caldeira. A limpeza da caldeira demora cerca de 20 minutos e não requer nenhum cuidado especial (Rosillo-Calle, 2008).

A limpeza da câmara de combustão é essencial para o bom funcionamento da caldeira a *pellets*. Manter a câmara de combustão limpa é uma forma de preservar o equipamento e de conservar o seu rendimento. A cinza em demasia pode formar uma camada isolante que reduzirá o rendimento do equipamento (M.L.E., 2015).

Há uma série de opções de manutenção para um sistema de aquecimento a *pellets*, desde limpeza feita por técnicos especializados a limpeza manual feita pelo consumidor, para quem desejar fazer a limpeza autonomamente e economizar ainda mais despesas.

#### - Opção 1: Manutenção automática

As caldeiras costumam ser projetadas em que a periodicidade entre limpezas, que são normalmente realizadas pelo seu instalador como parte do contrato de serviço, seja de cerca de um mês (abastecido de *pellets*). Há modelos de caldeiras em que a remoção de cinzas é totalmente automatizada, com uma caixa de recolha de cinzas integrada para minimizar a manutenção necessária.

#### - Opção 2: Manutenção manual (pelo consumidor)

Muitos consumidores ficam satisfeitos por cuidar do seu sistema de aquecimento uma vez por semana, abastecendo a caldeira com *pellets* e fazendo eles próprios a limpeza. Esta opção, normalmente, poupa cerca de 1770 € no custo de instalação inicial (por caldeira). Na opção de o consumidor efetuar a limpeza manual da câmara de combustão de *pellets*, é possível utilizar um aspirador de cinzas vulgar, disponível no mercado de eletrodomésticos. Esta tarefa deve ser efetuada com o cumprimento de algumas etapas, incluindo (M.L.E., 2015):

- Aspirar os resíduos presentes no queimador;
- Remover o queimador do seu compartimento de encaixe;
- Aspirar as cinzas do compartimento de encaixe e da câmara de combustão;
- Usar o atiçador de brasas, fornecido com o equipamento, para limpar todos os furos do queimador;
- Reposicionar corretamente o queimador no seu lugar respetivo.

Nota: Dependendo da caldeira em questão, poderá ser menos fácil a execução desta tarefa.

#### - Opção 3: Híbrido das opções 1 e 2

Existe ainda a possibilidade de combinar os aspetos de ambas as opções com vantagem para o orçamento do consumidor.

A importância da manutenção anual das caldeiras deve-se à acumulação de cinzas no interior do equipamento a *pellets*, sendo necessário uma limpeza mais rigorosa, efetuada por pessoal especializado. Esta deve ter em conta a verificação e limpeza dos circuitos de fumos, a

revisão e limpeza dos filtros de água e, a revisão do sistema de controlo automático (CYPE Ingenieros, 2015).

#### **4.7. Implantação das caldeiras**

Os locais da instalação das caldeiras necessitam de alguma atenção, pois devem ter o tamanho adequado e ser suficientemente ventilados, para permitir a entrada do oxigênio consumido na combustão dos *pellets* e de forma a reunir as condições necessárias para a evacuação dos produtos da sua combustão, ou seja, possuírem uma conduta de extração de fumos corretamente dimensionada e construída (Isolani et al., 2008).

As caldeiras podem ter três tipos de ventilação: ventilação natural, forçada ou estanque. Na ausência de uma caldeira com ventilação natural por janelas e grelha e sem entrada de oxigênio, é aconselhável uma caldeira do tipo estanque, ou seja, com um ventilador na conduta da exaustão, acoplado no equipamento, de forma a expelir para o exterior, por convecção forçada, os produtos originados na combustão e, em conjunto, recolher o oxigênio necessário ao processo de combustão (Solarcondicionado, 2015).

# 5. Dimensionamento e seleção do sistema de aquecimento

Conforme anteriormente exposto, o intuito deste projeto é o de avaliar a viabilidade técnica e económica da substituição das caldeiras a gás natural existentes nas instalações do ISEP, instaladas em vários edifícios, por caldeiras a *pellets*, destinadas ao aquecimento central dos edifícios. Esta opção potencialmente valoriza a sustentabilidade e a eficiência energética proveniente deste investimento, bem como preza a redução e despromoção da utilização de combustíveis fósseis em favor de outros mais ecológicos e renováveis. A aposta nos *pellets* valoriza também o reaproveitamento de resíduos de madeira, a partir da sua prensagem em combustíveis granulados, traduzindo-se em vantagens como a sua valorização como combustível, a facilidade de transporte e de armazenamento.

## 5.1. Caraterização do sistema existente

Nas instalações do ISEP estão a ser utilizadas 15 caldeiras a gás natural, instaladas em 10 edifícios, das quais apenas 9 ficam a funcionar simultaneamente, pois são ligadas alternadamente com as restantes que existem. Por exemplo, existem 2 caldeiras a aquecer os edifícios G e H, mas só uma é ligada para o aquecimento destes edifícios, durante um certo período por semana, após este período estimado é ligada a outra caldeira até ao final da semana. A distribuição destas caldeiras, bem como a sua respetiva potência nominal é apresentada na Tabela 5.1.

Segundo os registos de consumo energético do ISEP em 2014, presentes nas faturas mensais, o consumo de gás natural foi de cerca de 64350 m<sup>3</sup> (Tabela 6.1). Uma percentagem ínfima do consumo anual de gás no ISEP é utilizada para o aquecimento de águas sanitárias, cerca de 0,4%, apontando um valor aproximado a 250 m<sup>3</sup> de gás. Para este efeito, a água aquecida é direcionada para abastecer o restaurante e a cantina do Edifício F, onde se encontra um depósito de 300 litros.

Tabela 5.1 – Caldeiras instaladas no ISEP e correspondentes potências nominais.

Edifícios	Potência nominal (kW)
Edi. G e H	250 + 250
Edi. B	200 + 200 + 200
Edi. L	200 + 200
Edi. I	250
Edi. J	250
Edi. C	100
Edi. D	100
Edi. E	450
Edi. F	235 + 235

Neste tópico serão estudadas as necessidades energéticas do ISEP, os consumos mínimos correspondentes do combustível para as caldeiras a *pellets*, de modo a encontrar a melhor solução para implementação das caldeiras a *pellets*.

Os equipamentos emissores de calor existentes nas instalações do ISEP, que partilham o calor gerado pelas caldeiras ligadas ao sistema de aquecimento central, são: radiadores, termoventiladores, aerotermos e painéis solares. A regulação térmica dos equipamentos é realizada manualmente.

Sendo assim, como ponto de partida, procurar-se-á a distribuição ideal das potências nominais previstas para as caldeiras a *pellets* a implementar com a realização deste estudo de caso, de forma a rentabilizar o projeto, atendendo à minimização do investimento total.

## 5.2. Distribuição das caldeiras

Para entender onde estão instaladas as 15 caldeiras a gás natural existentes no ISEP, para além da informação constante na Tabela 5.1, apresenta-se a sua distribuição em planta na Figura 5.1. Na referida figura, as letras dentro dos círculos representam as localizações dos edifícios do ISEP, os quadrados vermelhos com número representam os locais onde estão instaladas as caldeiras a gás natural e, os traços a negro, indicam os edifícios que as caldeiras servem. No local assinalado como “1” das caldeiras, existem 2 caldeiras que abastecem ambos os edifícios G e H, no local assinalado como “4” existem 3 caldeiras a abastecer o edifício F, no local assinalado como “3” existem 2 caldeiras a abastecer o edifício E. Por fim, no local assinalado como “2” existem 9 caldeiras, com as seguintes funções:

- 3 caldeiras abastecem o edifício B;
- 2 caldeiras abastecem o edifício L;
- 2 caldeiras abastecem ambos os edifícios I e J;
- 2 caldeiras abastecem ambos os edifícios C e D.

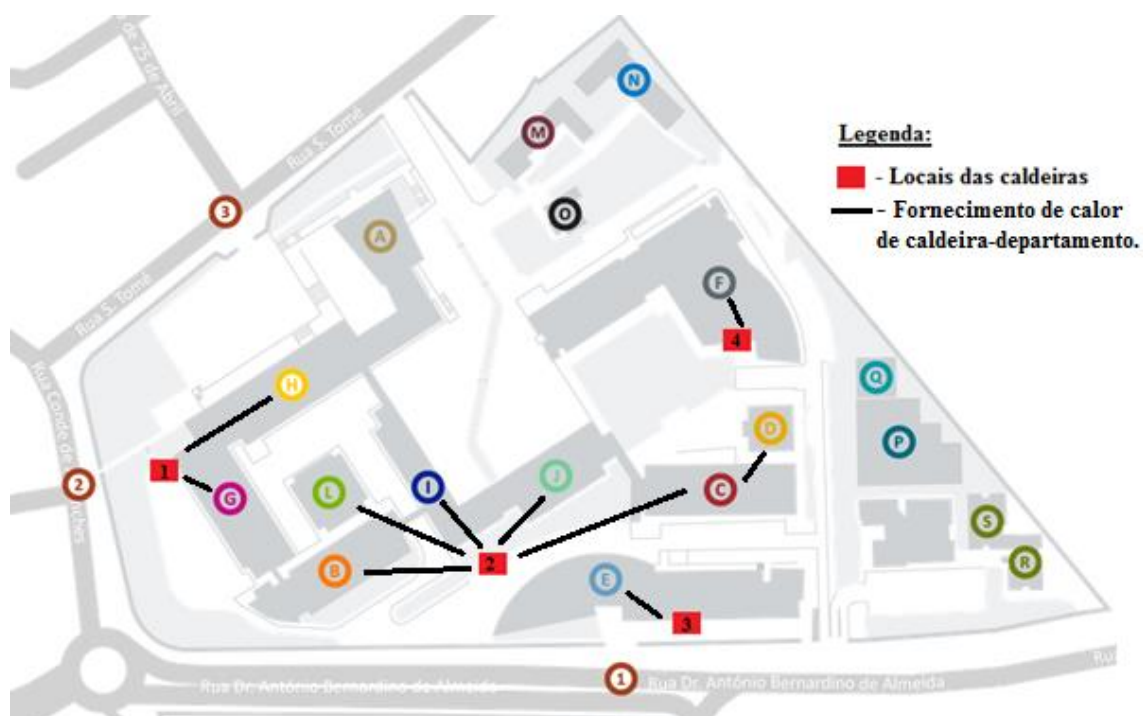


Figura 5.1 – Locais onde estão instaladas as caldeiras a gás natural no ISEP e edifícios que servem.

Os restantes edifícios estão equipados com unidades de ar condicionado ou outros sistemas de aquecimento diferentes. Existe uma caldeira no edifício A mas encontra-se desativada, sendo assim, estes edifícios foram excluídos do plano de substituição de caldeiras.

As caldeiras responsáveis pelo aquecimento dos edifícios E, F e I estarão responsáveis por fornecer água quente para unidades de tratamento de ar (UTA) já existentes, tal como as atualmente existentes, distribuindo calor na forma de ar quente por condutas metálicas até às divisões dos edifícios. A caldeira responsável pelo aquecimento do edifício F terá que alimentar 6 UTAs, no edifício E serão 5 UTAs e no edifício I serão 3 UTAs. As restantes caldeiras destinam-se a enviar a água quente para os radiadores e outros equipamentos que aquecem as divisões.

A caldeira responsável pelo aquecimento do edifício E estará sempre ligada, todo o ano, pois alimentará tanto o *chiller* para arrefecimento, como as UTAs para aquecimento, quando necessário. As restantes caldeiras apenas serão ligadas quando necessário, nas temporadas de aquecimento (tipicamente de Novembro a Abril).

### **5.3. Estudo de caso: Caldeiras a selecionar**

Quanto à possibilidade de instalação de um menor número de caldeiras para o mesmo número de edifícios que necessitam de aquecimento, neste projeto serão aproveitadas as tubagens condutoras de água quente já existentes, que alimentarão os radiadores disponíveis (regulados por cabeças termostáticas). Sendo assim, na posse de uma bomba de circulação de água quente, já existente, é possível distribuir esta água, aquecida com o calor retirado das caldeiras a *pellets*, através dos tubos circuladores, já existentes, para aquecer as várias divisões dos edifícios.

Para determinar quais as potências nominais necessária para as novas caldeiras a *pellets*, de forma a selecionar as caldeiras a instalar no projeto, é necessário calcular as necessidades energéticas do ISEP. Sendo assim, com base nos registos das potências das caldeiras instaladas nos vários edifícios das instalações do ISEP, decidiu-se como ponto de partida, substituir estas 15 caldeiras a gás natural por 6 caldeiras a *pellets*. Como apenas 9 caldeiras serão ligadas simultaneamente, a repartição das 6 caldeiras a *pellets* foi apoiada pelas potências instaladas das 9 caldeiras a utilizar, ou seja, para cobrir um somatório de potência nominal de 2035 kW, substancialmente menor do que os atuais 3355 kW.

A razão de serem 6 caldeiras a *pellets* deve-se à ideia de reduzir o número total de caldeiras instaladas no ISEP, para além da substituição do combustível, bem como à distribuição prevista das caldeiras perante as instalações do ISEP, patente na Figura 5.2. Haverá uma caldeira a abastecer 2 edifícios simultaneamente, exceto nos edifícios E e F, que terão uma caldeira a abastecer cada um.

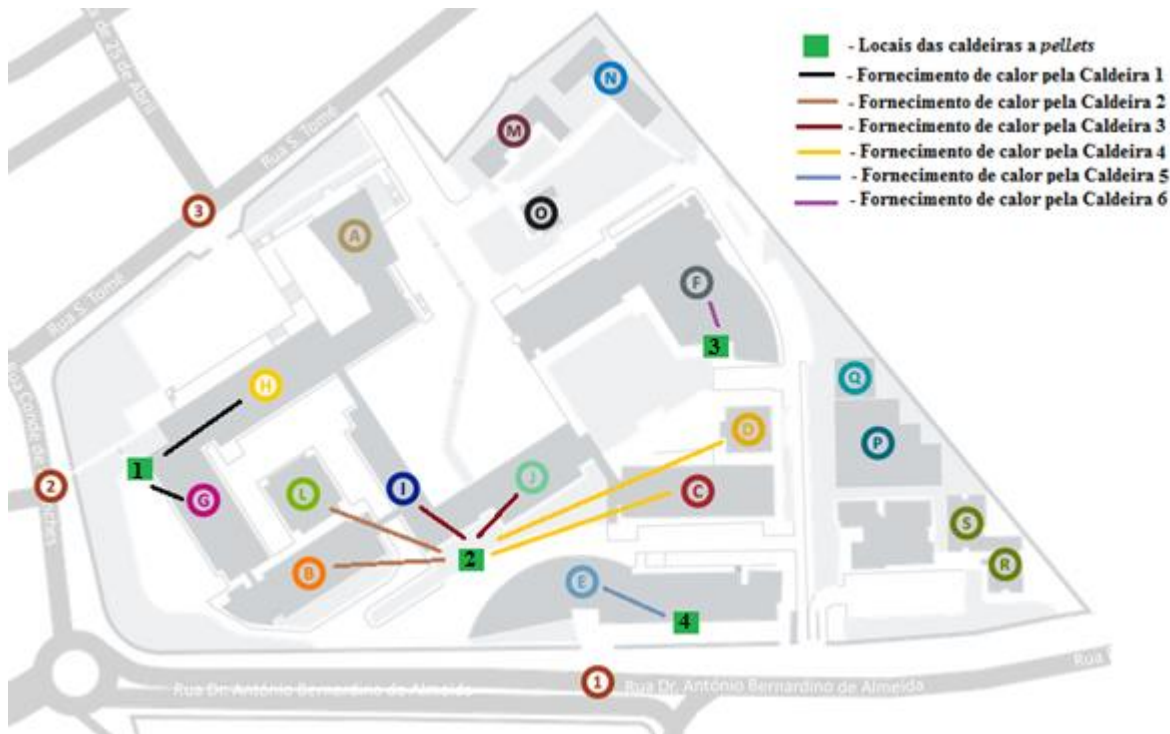


Figura 5.2 – Localização das caldeiras a *pellets* a instalar e edifícios servidos pelo aquecimento.

Assim, para conseguir satisfazer as necessidades de potência instalada total equivalente à das caldeiras a gás natural no ISEP, optou-se por escolher 6 caldeiras a *pellets* de 400 kW, totalizando um valor total de 2400 kW de potência instalada em caldeiras. Estas são caldeiras industriais de biomassa da série *Quioto*, da empresa internacional Zantia (Figura 5.3) (Zantia, 2015h).



Figura 5.3 – Caldeira a Biomassa Quioto Industrial (Zantia, 2015h).

As caldeiras Zantia Quioto são destinadas à produção de água quente para aquecimento e/ou produção de águas quentes sanitárias (AQS), a partir da combustão de biocombustíveis, como *pellets* ou estilhas de madeira (queimador próprio). A garantia destas caldeiras é de 2 anos, no entanto, a sua instalação tem de ser executada por uma empresa especializada. A empresa Zantia não se responsabiliza pela instalação das caldeiras. As caldeiras selecionadas para o estudo de caso apresentam os seguintes dados técnicos (Tabela 5.2):

Tabela 5.2 – Dados técnicos das caldeiras Quioto 400 (Biomassa & Industrial, 2015).

Dados técnicos	Unidade	Valor
Potência Útil Nominal	kW	400
Potência Útil Mín.	kcal/h	344
Consumo de combustível	kg/h	98,71
Rendimento	%	85
Temperatura dos gases	°C	150-90
Peso	kg	2940
Volume de água no corpo	dm <sup>3</sup>	1290
Diâmetro saída de fumos	mm	450
Pressão de trabalho Máx.	bar	3
Temperatura Máx. de trabalho	°C	85
Temperatura Mín. de trabalho	°C	55
Depressão	Pa	30
Ligações Impulsão	“	3”
Ligações Retorno	“	3”
Alimentação Elétrica	V/Hz	230/50
Potência elétrica instalada (s/ Acendimento Auto)	kW	0,74
Potência elétrica instalada (c/ Acendimento Auto)	kW	1,1

#### 5.4. Quantificação do combustível (*pellets*) necessário

Neste tópico será abordado o estudo efetuado para determinar a quantidade de combustível (*pellets*) necessário, bem como o preço associado à sua aquisição pelo ISEP.

Com a análise das faturas de consumos de gás no ISEP, correspondentes ao ano de 2014, consegue-se retirar o valor do consumo em m<sup>3</sup> de gás e em kWh correspondente.

O valor do PCS (Poder calorífico superior) do gás natural, 11,8 kWh/m<sup>3</sup>, foi retirado a partir dos dados da EDP Gás Distribuição (EDP, 2015).

Para obter o valor estimado de consumo de *pellets* necessário para substituir a quantidade de energia em kWh consumida em 2014, é necessário usar os rendimentos dos diferentes tipos de caldeiras que são usadas para o efeito. As caldeiras a gás natural instaladas atualmente no ISEP têm distinta potência nominal, no entanto assumiu-se um valor de rendimento de 90%. No que diz respeito às caldeiras a *pellets* a instalar, possuem um rendimento de 85% (como indicado na Tabela 5.2).

Conhecendo o consumo de gás (em m<sup>3</sup> e em kWh) em 2014 (na Tabela 6.1), bem como o valor de PCS do gás natural e o valor de PCS dos *pellets* (determinado experimentalmente conforme descrito em anexo, na Tabela B. 3), consegue-se determinar a quantidade de *pellets* necessários, usando a equação (5.1):

$$\begin{aligned} \text{Consumo} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right)_{\text{gás}} \times PCS_{\text{gás}} \times FCV_{\text{gás}} \times \eta_{c.GN}(\%) = \\ \text{Consumo} (\text{kg/ano})_{\text{pellets}} \times PCS_{\text{pellets}} \times \eta_{c.\text{pellets}}(\%) \end{aligned} \quad (5.1)$$

E ainda:

$$\text{Consumo} (\text{m}^3/\text{ano})_{\text{gás}} \times PCS_{\text{gás}} \times FCV_{\text{gás}} \times \eta_{c.GN}(\%) = \text{Consumo} (\text{kWh/ano})_{\text{gás}}$$

$$\text{Consumo} (\text{kg/ano})_{\text{pellets}} \times PCS_{\text{pellets}} \times \eta_{c.\text{pellets}}(\%) = \text{Consumo} (\text{kWh/ano})_{\text{pellets}}$$

Notas:

- FCV = 1,4. Este valor varia de acordo com o contador em questão. No entanto, pode ser determinado através da fórmula da conversão do consumo de gás natural, isolando o FCV, sabendo os restantes fatores da equação.
- O valor do  $PCS_{\text{pellets}}$  usado para os cálculos do projeto é o determinado experimentalmente para a amostra de *pellets* caracterizada no laboratório.

O consumo em kWh de gás natural, em 2014 no ISEP, foi de 958811,00 kWh. Como 1 kWh = 3,6 MJ, e  $PCS_{\text{pellets}} = 20,6 \text{ MJ/kg}$ , então a equação (5.1) altera-se da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{Consumo} (\text{m}^3/\text{ano})_{\text{gás}} \times PCS_{\text{gás}} \times FCV_{\text{gás}} \times \eta_{c.GN}(\%) \\ & = \text{Consumo} (\text{kg/ano})_{\text{pellets}} \times \frac{PCS_{\text{pellets}}}{3,6} \times \eta_{c.\text{pellets}}(\%) \\ & \Leftrightarrow 958811,00 = \text{Consumo} (\text{kg/ano})_{\text{pellets}} \times \frac{20,6}{3,6} \times 0,85 \\ & \Leftrightarrow \text{Consumo} (\text{kg/ano})_{\text{pellets}} = \mathbf{197128,48 \text{ kg/ano}} \end{aligned}$$

O que equivale a **197,13 toneladas** de *pellets* por ano, a serem consumidas nas caldeiras a instalar. Esta quantidade anual, repartida por 6 caldeiras durante 6 meses de funcionamento, dá um valor de **5,48 ton/mês** por caldeira.

#### 5.4.1. Abastecimento das caldeiras

Pretende-se uma distribuição de *pellets* através do abastecimento automático dos silos das caldeiras por um camião, através de uma mangueira pneumática. Este tipo de distribuição oferece vantagens a todos os níveis, desde a eliminação do espaço de armazenamento de *pellets* ensacados ou *big bags*, como o transtorno de transportar e manusear estes, reduzindo também nos custos de aquisição dos *pellets* à empresa fornecedora. Salienta-se que esta opção, além de mais vantajosa em termos de espaço de armazenamento, e cómoda, comparativamente às duas restantes opções de aquisição de *pellets*, é também mais económica.

Contudo, existe o inconveniente de os silos escolhidos (ver sub-tópico 5.8) não conseguirem acomodar as quantidades mensais necessárias por caldeira. Os silos possuem uma capacidade de 5,3 toneladas, havendo assim uma falta de 180 kg por caldeira, devido à diferença para as 5,48 ton/mês necessárias por caldeira. Sendo assim, concluiu-se que a melhor solução neste caso, para abastecer as restantes necessidades energéticas das caldeiras, seria o abastecimento dos silos por *pellets* ensacados, necessitando de 12 sacos de 15 kg por caldeira, mensalmente. Com esta medida, haverá uma necessidade mensal de 72 sacos, para cobrir os 180 kg/mês por caldeira que os silos não conseguem acomodar, para todas as caldeiras. Estes sacos são vendidos em paletes de 65 sacos pela empresa fornecedora.

O plano de aquisições mensais de *pellets* ensacados encontra-se descrito na

Tabela 5.3, à aquisição de 130 sacos no primeiro mês de utilização (2 paletes), segue-se a aquisição de apenas 65 sacos mensalmente (1 palete), em virtude dos excedentes existentes.

	Mês					
	10	11	12	1	2	3
Sacos adquiridos	130	65	65	65	65	65
Sacos em excesso no final do mês	58	51	44	37	30	23
	Mês					
	10	11	12	1	2	3
Sacos adquiridos	130	65	65	65	65	65
Sacos em excesso no final do mês	58	51	44	37	30	23

Tabela 5.3 – Plano de aquisição de *pellets* ensacados.

Assim, com a visualização destes dados, pode-se optar por reduzir o número de sacos distribuídos, havendo apenas uma distribuição de 2 paletes no primeiro mês e nos restantes meses uma distribuição de apenas 1 palete (65 sacos), de forma a consumir os sacos excedentes do mês anterior.

#### 5.4.2. Preço do combustível

Após contacto com a empresa selecionada para o efeito, a Gesfinu, através da unidade de produção *Jungle Power* ou *Pellets Power 1* em Lousada, obteve-se a informação de que o preço por tonelada transportada e distribuída a granel, é de 150 €/ton + IVA, e o preço por palete transportada, com 65 sacos de 15 kg, é de 170 €/palete + IVA.

O camião distribuidor de granel tem 14 toneladas de capacidade, pelo que, com base nas 5,3 toneladas mensais previstas para cada uma das 6 caldeiras, será necessário um abastecimento mensal de 3 camiões, não usufruindo totalmente do 3º camião, sobrando 10,2 toneladas.

Sendo assim, para saber o preço do combustível anual, conjugando o abastecimento automático das caldeiras com o abastecimento de *pellets* ensacados (sacos de 15 kg), contabilizando 2 paletes no primeiro mês e 1 palete nos restantes meses até consumo total dos sacos excedentes, obtém-se um custo anual de **29.810 €/ano + IVA**.

### 5.5. Consumo mínimo necessário (teórico) das caldeiras para o caso em estudo

Como parte do dimensionamento das caldeiras a instalar neste projeto, sentiu-se a necessidade de calcular o consumo mínimo necessário (teórico) das caldeiras. Para isto, utilizou-se o valor necessário de toneladas de *pellets* para o ISEP (197,13 ton/ano), o número de horas de utilização das caldeiras e o número de dias de utilização anual destas.

As caldeiras têm um funcionamento previsto para aquecimento de Outubro a Março, 6 meses. Visto que o seu período de funcionamento coincide com o período laboral do ISEP, estas trabalham das 8 h às 23 h, perfazendo 15 horas de funcionamento diário. Tomando ainda em consideração o facto de as caldeiras só serem ligadas nos dias úteis semanais (2ª a 6ª feira), calculou-se o número de horas anuais (ha) de utilização das caldeiras:

$$ha = (15 h \times 23 d \times 3 m) + (15 h \times 22 d \times 2 m) + (15 h \times 20 d \times 1 m)$$

$$ha = 1995 h$$

(5.2)

Com isto, e assumindo como horas mensais de utilização para 22 dias úteis, obtêm-se os seguintes dados auxiliares na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 – Número de horas de utilização das caldeiras e correspondente número de dias de utilização anual.

	dia	mês*	ano
Nº horas utiliz. (h)	15	330	1995
Dias de utiliz. Anual (dias)	133	-	-

\* = Considerado para 22 dias mensais.

Para obter os consumos mínimos necessários (teóricos) para as caldeiras, repartiu-se equitativamente as 197,13 toneladas em 6 partes, para cada uma das caldeiras. Através dos dados da tabela anterior, obtêm-se os seguintes dados anuais, diários e mensais para a totalidade das caldeiras e para cada uma destas (Tabela 5.5):

Tabela 5.5 – Quantidade de *pellets* necessária para cada uma das caldeiras (diariamente, mensalmente, anualmente e diariamente).

Consumo das 6 caldeiras				
	t/dia	t/mês	t/ano	kg/h
Por Caldeira	0,25	5,43	32,85	16,47
Total	1,48	32,61	197,13	98,81

## 5.6. Análise do sistema proposto

A análise dos catálogos das caldeiras Zantia e da informação constante na Tabela 5.2, levou a identificar um consumo de biocombustível exagerado, nas condições de funcionamento em potência máxima. Este consumo é de precisamente 1.181,56 t/ano para as 6 caldeiras propostas para instalação no ISEP, à potência máxima. Como esta quantidade é totalmente desnecessária, dadas as necessidades de aquecimento que o ISEP apresenta, tal como calculado anteriormente, apenas será necessário um consumo de 197,13 toneladas de *pellets* por ano.

Face aos consumos estimados necessários (16,47 kg/h) para as 6 caldeiras a instalar nas condições de funcionamento do ISEP e com a capacidade de produção de calor das caldeiras de 400 kW, pode-se dizer que estas caldeiras estão sobredimensionadas – com uma capacidade de alimentação de biocombustível de 98,71 kg/h face às necessidades energéticas do ISEP de 16,47 kg/h, podendo ser escolhidas outras caldeiras mais adequadas, poupando

nos custos das caldeiras. Segue-se portanto a escolha e decisão final das caldeiras a instalar no projeto, face aos resultados obtidos.

### 5.6.1 Caldeiras selecionadas para o projeto

Tendo em atenção que as caldeiras irão ser operadas a cerca de 20% da sua capacidade máxima, sentiu-se a necessidade de escolher caldeiras a *pellets* mais adequadas para o efeito. Deste modo, escolheram-se caldeiras da série Quioto da marca Zantia, com consumos de combustível (atingidos à potência máxima), aproximados aos consumos mínimos necessários, mas ao mesmo tempo com uma margem razoável para picos de maiores necessidades de alimentação.

Isto é, através da consulta do catálogo das caldeiras Zantia, optou-se por escolher 6 caldeiras de 150 kW da série Quioto, visto que o seu consumo de combustível à potência máxima (37,02 kg/h) é aproximadamente o dobro do valor do consumo mínimo teórico apresentado. Esta margem serve para garantir alguma segurança para futuros possíveis aumentos de necessidade energética de alimentação.

Como se opta também por 6 caldeiras e o rendimento é também de 85%, os valores obtidos na Tabela 5.5 (nomeadamente as necessidades e os consumos totais e unitários por ano, dia e mês, bem como os consumos em kg/h das caldeiras), repetem-se para a situação de implementação de 6 caldeiras de 150 kW as que, finalmente, foram selecionadas para o projeto.

Estas caldeiras são caracterizadas pelas seguintes características principais (Biomassa & Industrial, 2015):

- Caldeira de funcionamento fácil, simples e totalmente automático, fabricada em aço inoxidável, com 3 passagens de fumos horizontais, limpeza manual do permutador e recolha manual de cinzas.
- Composta por 3 partes: Base da caldeira com queimador de afloração; Caldeira; Injetor com silo de armazenamento de combustível.
- Injetor de combustível com sistemas ativos e passivos para evitar o retrocesso de chama, dispõe de controlo de nível de combustível do injetor com sonda capacitiva.

- Pressão máxima de serviço: *Standard* - 3 bar.
- Regulação: Controlo de todas as funções próprias da caldeira, inclui programação pára-arranca e visualização de todos os parâmetros de funcionamento.
- Regulação proporcional em função da potência pedida.
- Amplas portas da câmara de combustão e do permutador que facilitam a limpeza e a manutenção.
- Admite combustíveis de biomassa como: *pellets*, casca de amêndoa, caroço de azeitona, estilhas de madeira, etc.

Sendo assim, pode-se observar os dados técnicos das novas caldeiras (Quioto 150 kW) escolhidas para o projeto na seguinte Tabela 5.6:

Tabela 5.6 – Dados técnicos das caldeiras a implementar no projeto Quioto 150kW (Biomassa & Industrial, 2015)

Dados técnicos	Unidade	Valor
Potência Útil Nominal	kW	150
Potência Útil Mín.	kcal/h	129
Consumo Combustível	kg/h	37,02
Rendimento	%	85
Temperatura de gases	°C	150-90
Peso	kg	1450
Volume de água no corpo	litros	500
Diâmetro saída de fumos	mm	350
Pressão de trabalho Máx.	bar	3
Temperatura Máx. de trabalho	°C	85
Temperatura Mín. de trabalho	°C	55
Depressão	Pa	30
Ligações Impulsão	“	2
Ligações Retorno	“	2
Alimentação Elétrica	V/Hz	230/50
Potência elétrica instalada (s/ Acendimento Auto)	kW	0,74
Potência elétrica instalada (c/ Acendimento Auto)	kW	1,10

Quanto às dimensões que estas caldeiras poderão ocupar, estas encontram-se resumidas na Figura 5.4, bem como as dimensões das conexões que permitem a ida e retorno de água nas caldeiras, 60 mm.

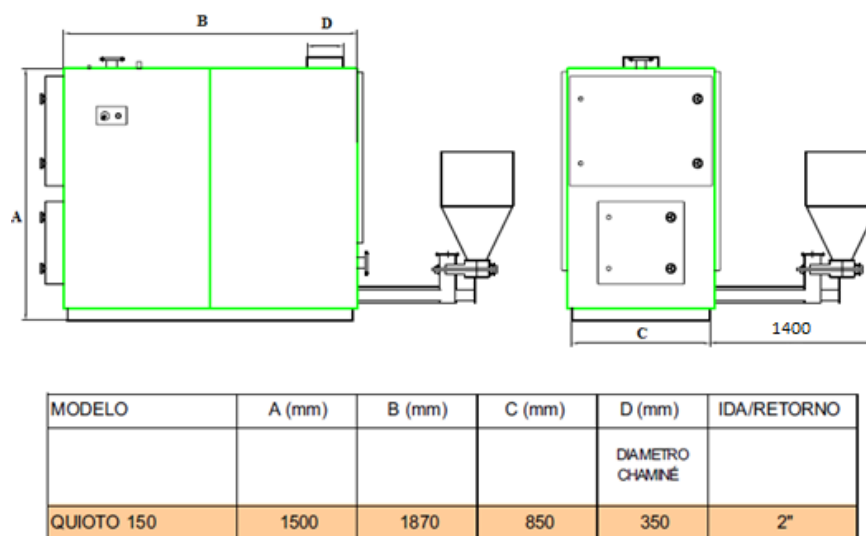


Figura 5.4 – Dimensões das caldeiras Quioto 150 kW (Adaptado de (Zantia, 2015d)).

Os componentes utilizados e a sua tecnologia de funcionamento não diferem muito das habituais caldeiras disponíveis no mercado atual. Para melhor compreender o mecanismo que estas possuem, pode-se observar a Figura 5.5:

**ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO E COMPONENTES QUIOTO:**

- 1 - Câmara de combustão;
- 2 - Permutador de tubos horizontais;
- 3 - Silo;
- 4 - Queimador;
- 5 - Salto do combustível de anti-retrocesso de chama;
- 6 - Caixa de Fumos,
- 7 - Portas amplas para limpeza e manutenção.

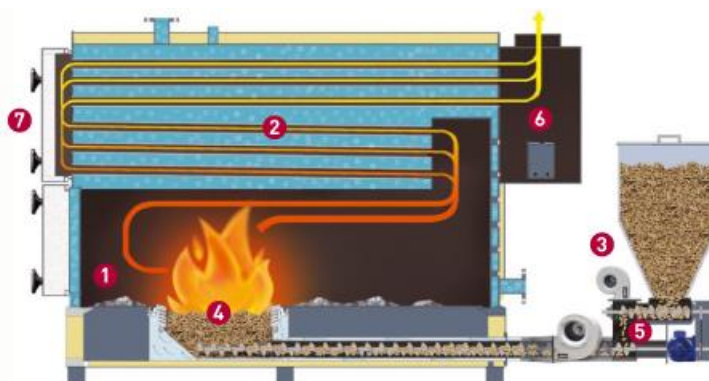


Figura 5.5 – Esquema de funcionamento e componentes das caldeiras da série Quioto (SolarWaters, 2015b).

### 5.7. Otimização da queima e elementos de regulação e controlo

De forma a rentabilizar o processo de produção de calor a partir da combustão dos *pellets* na caldeira e, a otimizar a sua queima, ou seja, o desempenho energético da caldeira, existem alguns equipamentos ou dispositivos adicionais que complementam o funcionamento da caldeira. Estes equipamentos/dispositivos podem oferecer algumas vantagens, tais como:

automatizar e controlar o processo de queima, reduzir as emissões poluentes resultantes da combustão e, reduzir a emissão de partículas para a atmosfera.

Além disso, as caldeiras permitem como função base (opcional) o acendimento automático dos *pellets* de acordo com o programado. Esta opção poupa no trajeto diário por parte dos técnicos do ISEP que fazem a ativação e desativação das caldeiras. Contudo, acarreta um maior custo energético por parte das caldeiras.

A legislação que visa o controlo de emissões de partículas por parte das caldeiras a *pellets*, em Portugal, apenas entra em vigor a partir de 2019, no entanto, será ideal instalar desde já caldeiras providas dos dispositivos necessários para garantir a qualidade das emissões gasosas, não só por questões ambientais mas também como exemplo de recurso às melhores tecnologias disponíveis para toda a classe de futuros diplomados que frequentam o ISEP.

As caldeiras escolhidas cumprem os requisitos ambientais legais, mas apenas com a implementação de ciclones para recolha de partículas sólidas + extrator, acoplados a estas (Figura 5.6). Estes ciclones são equipamentos complementares que garantem níveis de emissões baixos, e têm como dimensões máximas: 2,2(alt.)×1,014(larg.)×0,63(comp.) m. Contudo, este equipamento necessita de ser controlado por um quadro automático PLC (Zantia, 2015c).



Figura 5.6 – Ciclone Quioto (Zantia, 2015c).

Além do uso dos ciclones, para o sistema de controlo e automatização do processo de queima na caldeira, será necessário adquirir uma plataforma eletrónica adicional. Será instalada uma unidade em cada um dos 4 locais das caldeiras. Este sistema permite um controlo de todas as funções próprias da caldeira, inclui programação pára-arranca e visualização de todos os parâmetros de funcionamento, tendo também em conta os dados provenientes de sensores de temperatura (Biomassa & Industrial, 2015).

Estes quadros automáticos PLC (*Power Line Communication*) permitem uma gestão total e inteligente das caldeiras e do sistema. Permitem uma combustão modulante (PID – *Proportional-Integral-Derivative*), ou seja, a regulação automática de admissão de biomassa e ar conforme as necessidades, e um quadro de controlo com visor *touch screen*. Estes podem ser visualizados na Figura 5.7 (Zantia, 2015f).



Figura 5.7 – Quadro automático PLC (Zantia, 2015f).

Além destas funcionalidades do quadro automático, também é possível a utilização de uma ferramenta muito útil, dinâmica, interativa e cômoda, o Módulo de telegestão interativa Quioto/Osaka (Figura 5.8). Será necessária uma unidade em cada um dos 4 locais da implantação das caldeiras. Esta ferramenta permite a possibilidade de personalização da instalação, circuitos hidráulicos e silos (incluindo controlo de peso e rendimento da caldeira em função do consumo), permitindo a introdução de uma base de dados. A ligação pode ser feita a partir de um computador à caldeira ou vice-versa. Através de dispositivos móveis (como Iphone, Android, Windows-Phone, Symbian, Blackberry, etc.) é possível também aceder à caldeira, podendo alterar as configurações, as horas de funcionamento, o estado e alarmes. Permite também alertar, em caso de alarme, via mensagens ou *e-mails* (Zantia, 2015e).



Figura 5.8 – Módulo gestão interativa (Zantia, 2015e).

Este aparelho tem um sistema de controlo muito vasto, é possível fazer o controlo das 6 caldeiras apenas através de uma unidade deste sistema. No entanto, é necessário efetuar uma análise mais detalhada da situação do mapa de controlo pretendido para as caldeiras, para que se possa incluir a hipótese de um controlo de todas as caldeiras através de apenas uma unidade. Sendo assim, colocando sempre em vista o pior cenário para o projeto, considerou-se a aquisição de 6 unidades deste sistema, para um controlo mais dinâmico.

Além do quadro de controlo eletrónico mencionado anteriormente para a regulação da caldeira, existem nestas caldeiras, outros dispositivos de segurança e controlo, tais como: uma válvula termostática, um termostato de segurança e uma sonda de fumos da caldeira. A válvula termostática permite extinguir possíveis incêndios em caso de recuo da chama da caldeira, através de inundação com água. A sonda de fumos permite detetar a temperatura dos fumos dentro da caldeira (Zantia, 2015g).

Junto ao manómetro existente (para medir a pressão na água da caldeira) há um termostato de segurança calibrado a 110 °C, impedindo o funcionamento da caldeira acima desta temperatura. Além disto, o controlo da caldeira pode parar também o funcionamento do sistema de combustão se os gases de combustão atingirem uma temperatura de 240 °C (Zantia, 2015g).

A diferença da temperatura da água das caldeiras, entre a ida e o retorno nestas, não deve exceder os 30 °C. Sendo assim, como se considerou 25 °C para a temperatura de água que chega à caldeira, visto que percola a uma temperatura semelhante nas canalizações de águas sanitárias domésticas, a temperatura máxima de saída da água da caldeira terá que ser 55 °C, neste caso. Além disso, 55 °C corresponde à temperatura mínima de trabalho das caldeiras, de forma a não ocorrer condensação nas mesmas (Tabela 5.6).

As caldeiras Quioto selecionadas também possuem, para otimização da queima e controlo e redução das emissões poluentes, dois ventiladores de ar: um ventilador de ar primário e um ventilador de ar secundário. O ventilador primário está situado no queimador e o secundário no corpo da caldeira (parte inferior). A entrada de ar é regulada com uma aba instalada na entrada de ar desta mesma (refratário). Apesar destes constituintes, é recomendado uma técnica inteligente para auxílio do acendimento dos *pellets*, que é introduzir uma acendalha ou outro meio, para que se avive a chama mais rapidamente (Zantia, 2015g).

## 5.8. Instalação do sistema de produção de calor

A instalação deste sistema vai ser contratada a uma empresa especializada na área, a Euroavac, Lda. Além de trocar as caldeiras, será necessário também adquirir alguns equipamentos para auxiliar o funcionamento adequado deste sistema de produção do calor.

Para o caso específico das caldeiras Zantia a implementar no ISEP, a alimentação das tremonhas, já incluídas nas mesmas, terá de ser feita pela parte superior, por um silo de dimensões superiores. Sendo assim, será executada uma alimentação superior nas caldeiras Quioto. É necessário adquirir um silo para cada caldeira.

Serão colocados silos interiores flexíveis de capacidade para 5,3 toneladas (Figura 5.9), com dimensões: 1,6 (altura)×2,4×2,3 m. Estes silos são construídos em material de poliéster de alta resistência e durabilidade, com cobertura superior filtrante, com boca de enchimento superior e boca de saída central inferior. O seu tecido evita condensações, mesmo com grandes variações de temperatura. Não necessita de manutenção nem é necessário estar abrigado dos raios UV (Zantia, 2015i).



Figura 5.9 – Silo interior flexível de 5,3 toneladas (Zantia, 2015i).

Estes silos serão alimentados, como já referido anteriormente, pelo abastecimento automático a granel proporcionado pelos camiões especializados da empresa fornecedora de *pellets*, bem como por sacos de 15 kg, para completar as necessidades energéticas mensais previstas.

As caldeiras Quioto possuem uma tremonha, que serve de reservatório intermédio entre a caldeira e o silo de abastecimento. No entanto, para fazer chegar os *pellets* do silo à tremonha, é necessário adquirir um sistema de transporte (Figura 5.10) e um sistema de

controlo de nível (Figura 5.11), para acionar o referido sistema de transporte. Este sistema de transporte de combustível permite que haja um abastecimento automático da caldeira.



Figura 5.10 – Esquema dos acessórios do sistema de transporte de combustível (Zantia, 2015b).



Figura 5.11 – Esquema do sistema de controlo de nível (Zantia, 2015a).

O sistema de transporte a adquirir vem equipado com um conjunto de acessórios, tais como o próprio motor de transporte (0,7 cv Monofásico) e os primeiros 6 metros de transporte, que incluem: bandeja dupla para o tubo de 90 mm (diâmetro), 1 tubo reto de 3 m x 90 mm e 2 curvas de 1,5 m x 90 mm/45°. Este tubo é apropriado para *pellets* e caroços de azeitona.

Além destes equipamentos, será adquirido um *kit* de cinzas para cada uma das caldeiras, que fará o transporte das cinzas da gaveta de cinzas de cada caldeira para um depósito exterior com maior capacidade. Salienta-se que é necessário haver alguma manutenção por parte do pessoal técnico do ISEP, responsável pela ativação e desativação das caldeiras, recomendado uma vez por semana, após a remoção das cinzas da gaveta para o contentor móvel a elas destinado. Será efetuada uma limpeza manual do sistema, visto ser uma tarefa simples, focada na limpeza do queimador da caldeira e na verificação da estanquidade de fecho entre o queimador e a caldeira.

Mesmo assim, deverá também ser feito um contrato de manutenção por parte dos técnicos da empresa de instalação, devendo a manutenção do sistema de aquecimento central ser efetuada anualmente pela empresa instaladora, de 6 em 6 meses, no início e fim de cada época de aquecimento, em Outubro e em Março.

## 5.9. Compartimentos das caldeiras

As caldeiras a instalar enquadram-se em ambiente fechado, no entanto satisfazem as seguintes condições para a boa execução deste sistema:

- Duas saídas amplas, permanentemente desobstruídas, sinalizadas e dispostas em direções distintas;
- Acesso fácil e seguro à operação e à manutenção da caldeira;
- Sistema de captação e expulsão dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação, atendendo às normas ambientais;
- Sistema de iluminação de emergência caso opere à noite.

Como neste projeto a substituição das caldeiras a gás natural por outras a *pellets* é relativamente simples, não haverá custos associados para obras extraordinárias, dedicadas a instalações de novos tubos condutores de água quente ou de novas condutas de exaustão. As condutas e os tubos de água quente existentes serão aproveitados para utilização das novas caldeiras, tal como as bombas de circulação de água quente existentes para circulação do calor até às divisões dos edifícios.

Os compartimentos onde as caldeiras, em conjunto com os seus equipamentos auxiliares, serão instaladas, possuem espaço suficiente para a localização destas, bem como espaço para circulação de ar produzido pelas caldeiras. Este último distanciamento que as caldeiras ocupam é semelhante às de gás natural. Sendo assim, para melhor visualizar o espaço ocupado nestes compartimentos numa perspetiva a 2D (duas dimensões), a localização prevista das caldeiras e seus equipamentos no interior das infraestruturas pode ser observada na Figura 5.12, elaborada com a ferramenta AutoCAD 2012. Os locais enunciados correspondem aos locais definidos na Figura 5.2.

As dimensões dos respetivos compartimentos são as seguintes:

- Edifício G – 6 m (comp.) x 4,5 m (larg.) x 2,55 m (alt.)
- Compartimento exterior – 17 m (comp.) x 3 m (larg.) x 2,6 m (alt.)
- Edifício F – 9 m (comp.) x 2,4 m (larg.) x 4 m (alt.)
- Edifício E – 15 m (comp.) x 3 m (larg.) x 2,2 m (alt.)

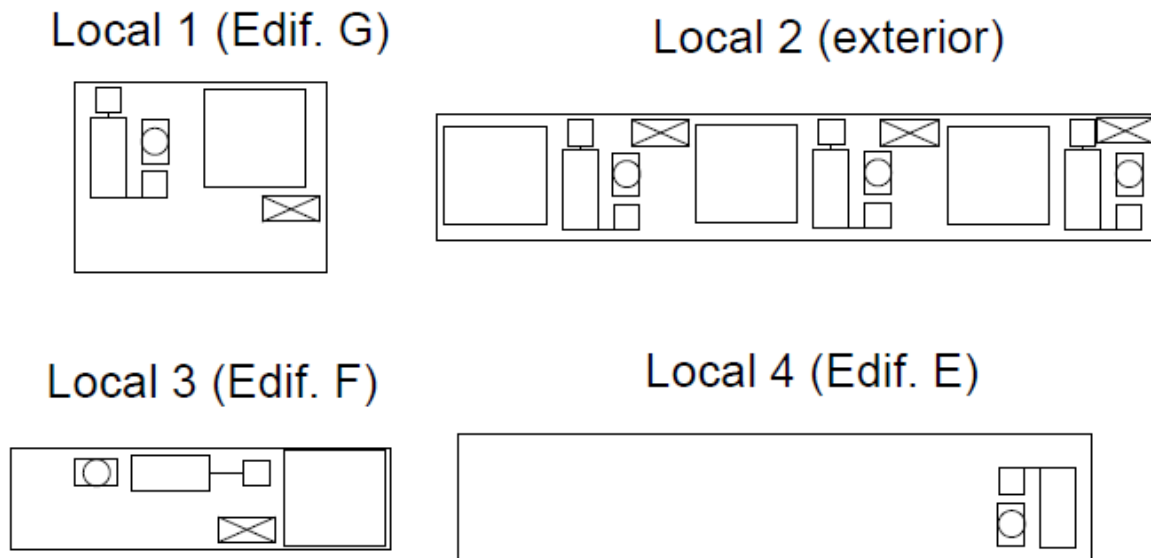


Figura 5.12 – Caldeiras e equipamentos auxiliares nos compartimentos onde serão instalados.

A Figura 5.12 teve como base as dimensões das caldeiras representadas na Figura 5.4, dos ciclones e silos enunciados anteriormente, e até do espaço ocupado pelos sacos de 15 kg. Com a visita dos compartimentos e a elaboração desta planta, com base nas dimensões dos equipamentos, pode-se confirmar que estes compartimentos possuem as dimensões necessárias para albergar estes equipamentos auxiliares. Contudo, a situação do local 4 é a mais problemática. Isto é, o compartimento da caldeira neste local, bem como as tubagens provenientes desta e do *chiller*, situa-se no topo do edifício E. Além do mais, este edifício possui uma altura um pouco limitante, de 2,2 metros. Assim, o local para implementação do silo da caldeira, terá que ser outro.

Com a situação de o silo não poder estar junto da caldeira, surgem problemas no transporte dos *pellets* para a caldeira, mediante a deslocação exclusiva de um elevador até à caldeira. Assim, para solucionar esta situação, resolveu-se instalar o silo da caldeira na garagem do edifício E. Deste modo, o abastecimento dos *pellets* até à respetiva caldeira, poderá ser efetuado através da sucção destes mesmos pela tubagem do sistema de transporte de combustível. Esta tubagem percorrerá uma conduta existente na garagem até ao topo do edifício, no mesmo compartimento.

Para isso, é necessário adquirir uma série de tubos de 3 metros e curvas de 1,5 m adicionais como extensão do sistema de transporte de combustível. Sabendo que da garagem até ao compartimento são 12 metros e, mais 2 metros na horizontal, e que na conduta até ao silo são 5 metros, totaliza 21 metros. Mas como na aquisição do sistema de transporte de

combustível já inclui os primeiros 6 metros de tubos, incluindo 3 m retos e 2 curvas de 1,5 m, apenas serão necessários adquirir 15 metros de tubagem extraordinária.

Em contrapartida, há um limite de 15 metros de tubagem por parte deste sistema de transporte. Para resolução deste problema, nesta caldeira do edifício E, simplesmente trocasse o motor de 0,7 cv monofásico, destinado a *pellets*, por outro mais potente de 1,5 cv trifásico, destinado a outros combustíveis de biomassa com menor escoamento nas tubagens, como caroços de pêsego. Assim, com este motor mais potente, é possível a realização do transporte dos *pellets* através destes 21 metros de tubagem.

Pode-se visualizar na Figura 5.13 o esquema representativo desta situação, desenhado com a ferramenta AutoCAD 2012, realizada à escala.

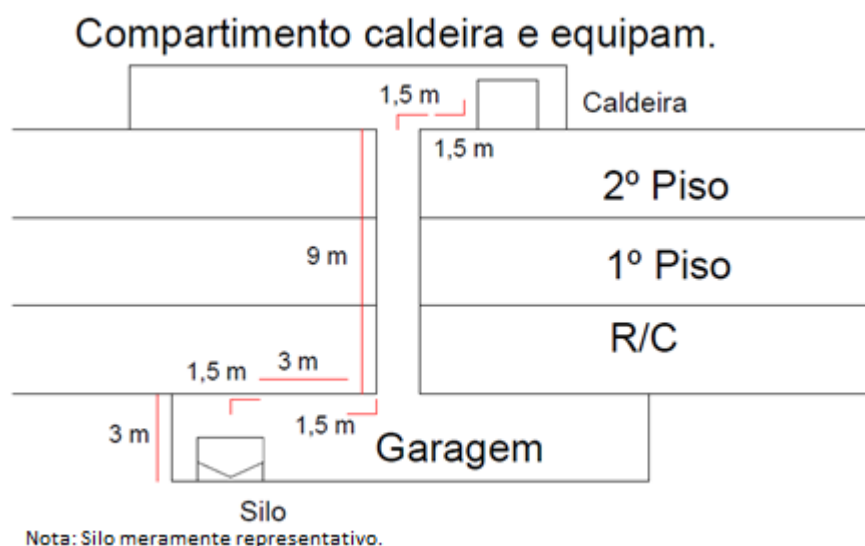


Figura 5.13 – Esquema representativo do transporte de *pellets* para a caldeira no local 4 (Edifício E).

Para a remoção da caldeira a gás natural e a instalação da nova caldeira a *pellets*, será necessário uma grua de 30 t para a transportar 9 metros até ao topo do edifício E. Para isso, contactou-se a empresa Transgrua, S.A. para o aluguer da grua, resultando num custo de 300 € + IVA por 4 horas de serviço, inclusive o transporte. Esta empresa já fez uma série de serviços para o ISEP, entre estes a colocação da caldeira atualmente existente no edifício E. O custo de horas extra de serviço é de 50 €/hora + IVA, contudo não se prevê que seja necessário.

## 5.10. Produção de cinzas

Sabendo o consumo mínimo necessário (teórico) de *pellets* nas caldeiras de 16,47 kg/h (Tabela 5.5) e usando a percentagem de cinzas para a amostra de *pellets* determinada experimentalmente, conforme descrito no Anexo A, com valor de 0,4%, consegue-se estimar a produção teórica de cinzas por cada caldeira (Tabela 5.7):

Tabela 5.7 – Produção teórica de cinzas por caldeira.

h/dia	15
dias/ano	133
Cons. Mín. teo. (kg/h)	16,47
Teor de cinzas amostra (%)	0,4%
Prod. De cinzas teo. (kg/h)	0,07
Prod. De cinzas teo. (kg/dia)	0,99
Prod. De cinzas teo. (kg/sem)	4,94
Prod. De cinzas teo. (kg/mês)	21,74
Prod. De cinzas teo. (kg/ano)	131,42

Finalizando, para a totalidade das caldeiras no projeto (6 caldeiras de 150 kW), observa-se o total de cinzas a serem produzidas (teoricamente) na Tabela 5.8:

Tabela 5.8 – Produção de cinzas teórica para o projeto.

Para a totalidade das caldeiras	
Prod. De cinzas teo. (kg/h)	0,40
Prod. De cinzas teo. (kg/dia)	5,93
Prod. De cinzas teo. (kg/sem)	29,64
Prod. De cinzas teo. (kg/mês)	130,43
Prod. De cinzas teo. (kg/ano)	788,51

## 5.11. Recolha e transporte de cinzas

Como há um produto final residual resultante do funcionamento das caldeiras a *pellets*, além da produção de calor para aquecimento dos edifícios, a recolha e o encaminhamento das cinzas traduz-se numa questão importante a ser estudada. Sendo assim, é necessário contratar uma empresa que fará a recolha das cinzas e as encaminhará para um destino ambientalmente aceitável, este será a compostagem, um assunto melhor discutido adiante. A empresa escolhida para o efeito foi a TRIU, S.A., uma empresa integrada no Grupo SUMA da MOTA-ENGIL.

A empresa fará a recolha das cinzas no ISEP uma vez por ano, no fim da época de aquecimento, isto porque a quantidade de cinzas produzidas pelas 6 caldeiras ao fim de um mês é muito reduzida (118,57 kg) e não compensaria uma recolha mensal. Assim, ao fim de um ano é previsto uma quantidade de cinzas de 788,51 kg, consultando a Tabela 5.8 anterior. Será feito o aluguer de um contentor metálico de 6 m<sup>3</sup> pela mesma empresa, equivalendo a uma capacidade de cerca de 4.470 kg de cinzas, sabendo o peso volúmico de 745 kg/m<sup>3</sup> considerado para cinzas industriais (Dinis, 2008). Este contentor (Figura 5.14) terá como objetivo armazenar as cinzas em um ponto comum, no parque de resíduos do ISEP, e facilitar a recolha e transporte por parte da mesma. Tem as dimensões: 4 metros (comprimento) x 1,18 metros (largura) x 1 metro (altura). A colocação deste contentor será feita no local assinalado na Figura 5.15, e estará coberto por um toldo. A recolha das cinzas por parte da empresa será feita por meio de uma viatura *Multibenne*, que fará a troca de um contentor metálico vazio por um cheio de cinzas.



Figura 5.14 – Contentor metálico para o armazenamento das cinzas (TRIU, 2015).

Para transportar as cinzas das caldeiras para o contentor metálico, serão posicionados estrategicamente 4 contentores móveis de 120 litros (Figura 5.16), no interior dos quais serão colocados 4 sacos do lixo extra-fortes de 120 litros (Figura 5.17). Com uma visualização estratégica do zoneamento das caldeiras, na Figura 5.2, e face aos valores da Tabela 5.8, consegue-se prever quando e quantas vezes o contentor será abastecido pelas contentores móveis. Com estas observações e após alguns cálculos simples, chegou-se à conclusão do posicionamento de um contentor móvel no local das caldeiras numerado como “2” na Figura 5.2, para recolher as cinzas das 3 caldeiras a *pellets* lá posicionadas, e um contentor móvel nos restantes locais das caldeiras. Totalizando assim os 4 contentores móveis de 120 litros mencionados, bem como os correspondentes sacos de 120 litros.

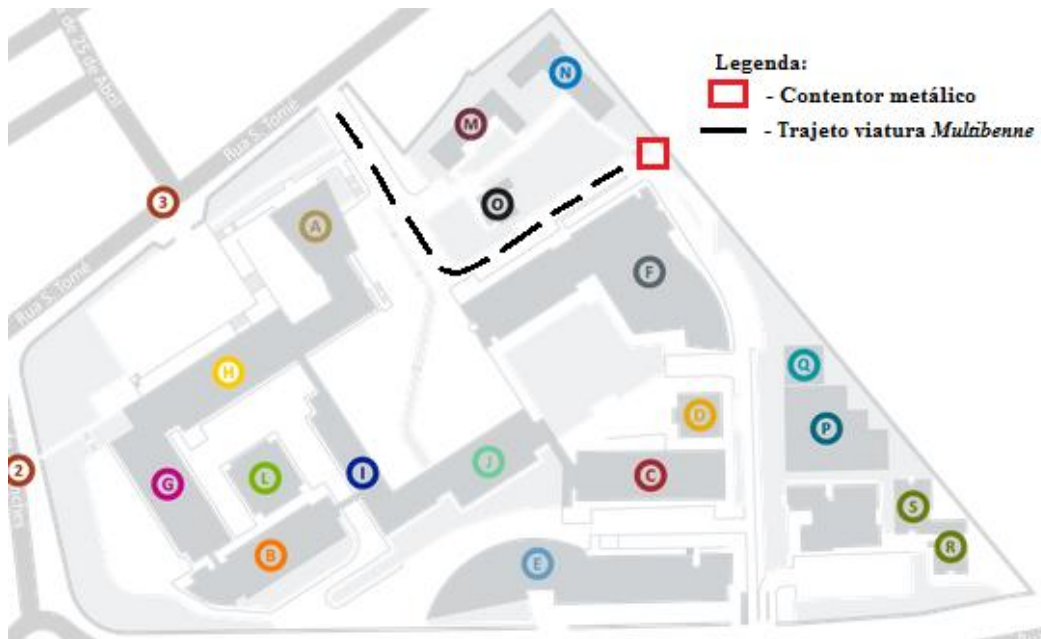


Figura 5.15 – Localização do contenedor metálico para armazenamento das cinzas e trajeto da viatura *Multibenne*.



Figura 5.16 – Contenedor móvel de 120 litros (Manutan, 2015).



Figura 5.17 – Sacos do lixo extra-forte de 120 litros (SacoPlex, 2015).

A aquisição dos sacos do lixo de 120 litros prevê 10 sacos, mas é proposta uma reutilização dos 4 sacos para a recolha das cinzas para os respetivos 4 contentores móveis, posicionados nas caldeiras. Estes possuem uma capacidade prevista de 89,4 kg de cinzas.

Com este posicionamento, será necessário recolher as cinzas para o contenedor metálico uma vez por mês no local “2” das 3 caldeiras instaladas, prevendo uma quantidade de 59,28 kg no contenedor móvel no momento. Enquanto nos restantes locais apenas precisam de recolher as cinzas para o contenedor metálico de 3 em 3 meses, com uma quantidade prevista nos contentores móveis de 59,28 kg, em cada um destes. Estas decisões foram tomadas

considerando os valores de consumo registados nas fichas técnicas**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

## 6. Análise económico-financeira do projeto

Para avaliar a viabilidade económica do projeto é necessário consultar, estruturar, analisar e comparar os dados das faturas de consumo de gás natural pelas caldeiras no ISEP, nos últimos anos, e fazer uma análise comparativa com os resultados financeiros obtidos na implementação das novas caldeiras, a *pellets*. Nomeadamente, o foco da análise das faturas emitidas pela EDP nos últimos 3 anos é no consumo de gás, em m<sup>3</sup> e em kWh, e no correspondente valor total a pagar.

Neste tópico será elaborada a avaliação financeira da implementação das caldeiras Quioto 150 kW e Quioto 400 kW, apesar do facto de as caldeiras de menor potência (150 kW) serem suficientes para atender às necessidades atuais de aquecimento.

Através da compilação dos dados das faturas, referentes ao consumo de gás no período de 2012 a 2014, obteve-se a Tabela 6.1. Esta tabela agrupa os valores de consumo registados nas faturas para cada contador em cada mês, desde o início do período de faturação realizada pela EDP nos referidos anos de 2012 a 2014, bem como o valor total a pagar nas faturas. Aos custos anunciados nos três anos foi incluído IVA à taxa de 23%.

Tabela 6.1 – Compilação dos dados das faturas de gás natural entre 2012 e 2014, no ISEP: a) consumo em m<sup>3</sup>; b) consumo equivalente em kWh e c) custo correspondente.

Consumo (m <sup>3</sup> )	2012	2013	2014
<b>Janeiro</b>	12 942,00	209,00	16 764,77
<b>Fevereiro</b>	8 713,00	11 350,00	15 490,00
<b>Março</b>	1 821,00	8 668,00	7 206,00
<b>Abril</b>	2 876,00		967,00
<b>Mai</b>	806,00	1 379,00	229,00
<b>Junho</b>	650,00	552,00	
<b>Julho</b>	295,00	434,00	213,00
<b>Agosto</b>	91,00	52,00	57,00
<b>Setembro</b>	236,00	1 058,00	458,00
<b>Outubro</b>	3 099,00	924,00	469,00
<b>Novembro</b>	9 809,00	10 958,00	12 466,00
<b>Dezembro</b>	9 015,00	11 335,00	10 208,00
<b>Total</b>	<b>50 353,00</b>	<b>46 919,00</b>	<b>64 527,77</b>

Consumo (kWh)	2012	2013	2014
<b>Janeiro</b>	196 503,02	3 385,00	249 722,00
<b>Fevereiro</b>	131 825,00	172 539,00	229 214,00
<b>Março</b>	27 660,00	131 879,00	106 894,00
<b>Abril</b>	43 566,00		14 396,00
<b>Mai</b>	13 468,00	21 717,00	3 330,00
<b>Junho</b>	10 159,00	8 611,00	
<b>Julho</b>	4 606,00	6 827,00	3 220,00
<b>Agosto</b>	1 411,00	783,00	831,00
<b>Setembro</b>	3 722,00	16 767,00	7 063,00
<b>Outubro</b>	47 594,00	13 772,00	6 490,00
<b>Novembro</b>	149 201,00	161 708,00	184 386,00
<b>Dezembro</b>	136 680,00	168 806,00	153 265,00
<b>Total</b>	<b>766 395,02</b>	<b>706 794,00</b>	<b>958 811,00</b>

Custos c/ IVA (€)	2012	2013	2014
<b>Janeiro</b>	12 227,75	284,72	19 694,39
<b>Fevereiro</b>	8 279,61	13 031,02	18 088,48
<b>Março</b>	1 993,38	10 070,19	8 795,99
<b>Abril</b>	3 007,30		1 763,98
<b>Mai</b>	1 069,64	2 275,28	1 141,23
<b>Junho</b>	989,34	1 183,03	
<b>Julho</b>	661,92	1 162,21	1 478,03
<b>Agosto</b>	429,68	753,86	1 105,27
<b>Setembro</b>	303,59	2 028,71	1 704,91
<b>Outubro</b>	3 935,70	1 672,15	1 696,44
<b>Novembro</b>	10 474,35	12 896,26	18 003,81
<b>Dezembro</b>	10 142,71	13 422,06	12 252,48
<b>Total</b>	<b>53 514,97</b>	<b>58 779,49</b>	<b>85 725,01</b>

Através da análise dos dados da Tabela 6.1, conclui-se que os consumos de gás natural têm vindo a aumentar nos últimos três anos, sendo evidente a necessidade da redução do consumo, valorizando a implementação deste projeto para a racionalização do consumo de energia necessária para aquecimento das instalações do ISEP.

De notar ainda que os meses em que se consumiu mais gás correspondem aos meses de Novembro a Fevereiro e, quanto aos meses em que menos se consumiu gás natural, correspondem aos meses de Junho a Setembro, o que confirma a informação de que a quase totalidade do consumo de gás natural se deve ao consumo para aquecimento.

Salienta-se que a emissão de faturas da EDP, por vezes, atrasa-se relativamente aos períodos de faturação, por isso, é possível em pleno ano de 2015, antes de obter faturas de consumo para o ano de 2015, ainda não possuir todas as faturas mensais relativas ao ano de 2014. Na emissão de faturas da EDP, é costume obter a totalidade das faturas de um dado ano apenas na emissão das faturas no ano seguinte. Logo, como por exemplo no mês de Maio de 2014, nota-se falta de faturas para alguns contadores do ISEP, mesmo que os valores possam não ser relevantes na contabilidade da sua faturação.

### **6.1. Diferenciação de consumos de 2013 para 2014**

Os edifícios G e H das instalações do ISEP partilham o mesmo contador para uma só caldeira a gás natural, cujo número de identificação é: 5124247. No entanto, este contador até Janeiro de 2014 fazia o registo apenas para o edifício H, ou seja, o edifício G só começou a ter aquecimento central a partir desta data. Sendo assim, com a análise da Tabela 6.2, pode ser visualizada a diferenciação das faturas nos últimos três anos para o contador do edifício G e H. Aos custos anunciados nos três anos foi incluído IVA à taxa de 23%.

Tabela 6.2 – Diferenciação das faturas entre 2012 e 2014 para o contador dos edifícios G e H.

Consumo (m <sup>3</sup> )	2012	2013	2014	Consumo (kWh)	2012	2013	2014	Custos c/ IVA (€)	2012	2013	2014
Janeiro	1814,00		2821,00	Janeiro	26834,00		40925,00	Janeiro	1580,21		3621,01
Fevereiro	1139,00	2057,00	2624,00	Fevereiro	16749,00	30533,00	37898,00	Fevereiro	988,42	2545,87	3353,41
Março	0,00	1242,00	837,00	Março	0,00	18389,00	12080,00	Março	7,10	1534,51	1074,45
Abril				Abril				Abril	7,81		
Mai				Mai				Mai	7,33	3,36	0,41
Junho				Junho				Junho	8,12	2,76	
Julho				Julho				Julho	7,74	3,05	
Agosto				Agosto				Agosto	8,27	3,26	
Setembro				Setembro				Setembro	7,03	2,95	7,48
Outubro	149,00	0,00		Outubro	2215,00	0,00		Outubro	153,57	2,95	
Novembro	1416,00	1706,00	4164,00	Novembro	20895,00	24581,00	60674,00	Novembro	1387,65	2150,76	5494,92
Dezembro	1489,00	1676,00		Dezembro	22002,00	24280,00		Dezembro	1484,71	2129,49	
<b>Total</b>	<b>6007,00</b>	<b>6681,00</b>	<b>10446,00</b>	<b>Total</b>	<b>88695,00</b>	<b>97783,00</b>	<b>151577,00</b>	<b>Total</b>	<b>5647,96</b>	<b>8378,96</b>	<b>13551,68</b>

Pela análise da Tabela 6.2, o consumo de gás no contador 5124247, correspondente à caldeira responsável pelo aquecimento dos edifícios G e H, aumentou nos últimos três anos, especialmente de 2013 para 2014. Este aumento é devido à entrada em funcionamento do edifício G, que tinha estado em obras no período de 2012 a dezembro de 2013 e que anteriormente às obras não tinha aquecimento centralizado. Desde o mês de abril até outubro, o valor a pagar é, sobretudo, devido à taxa de ocupação de solo que é aplicado ao contador, não tendo havido consumo nesse intervalo mensal. A falta de faturas em 2014 deve-se ao atraso da sua emissão por parte da EDP, como já mencionado.

Para ter uma melhor noção das oscilações do consumo do gás natural no ISEP, no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2014, encontra-se o somatório do valor do seu consumo, sem adições na fatura do IVA ou do imposto especial de consumo de gás natural, apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Valor do consumo medido de gás natural (s/ IVA) para o período de 2012 a 2014, no ISEP

<b>Data faturação</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Valor consumo s/ IVA (€)</b>	42 710,99 €	42 483,73 €	62 046,79 €

Analisando a referida tabela, observa-se o aumento acentuado do consumo de gás natural em 2014, face aos anos anteriores, apesar de ter havido uma pequena redução entre 2012 e 2013. Assim, salienta-se a necessidade de redução do consumo de gás natural para o aquecimento central e o interesse deste projeto para a racionalização do consumo de energia necessária para o efeito, apostando numa solução mais amiga do ambiente e benéfica para os mercados nacionais locais.

O registo dos consumos de gás natural no edifício G é realizado no mesmo contador (5124247) que para o edifício H. Deste modo, os dados da Tabela 6.4 permitem identificar a diferença dos consumos e custos totais de 2013 a 2014, que nos dizem, por outras palavras, os acréscimos de consumos e custos totais resultantes da implementação de aquecimento central no edifício G, em 2014.

Tabela 6.4 – Diferença dos consumos e custos no contador 5124247, no ano de 2014.

<b>Ano: 2014</b>	<b>Edifício G</b>
<b>Consumo (m<sup>3</sup>)</b>	3 765,00
<b>Consumo (kWh)</b>	53 794,00
<b>Custos c/ IVA (€)</b>	5 172,72 €

## 6.2. Indicadores financeiros de avaliação de projetos

Para fazer uma análise da rentabilidade de um projeto de investimento, normalmente confia-se na utilização de quatro indicadores financeiros, a saber: o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o *Payback Period* (PBP) ou Período de Retorno do Capital (PRC) e, o Índice de Rentabilidade (IR), ou Retorno do Investimento (ROI – *Return On Investment*). O VAL corresponde à diferença dos valores atualizados, para um momento comum, de todas as despesas e receitas inerentes a um determinado projeto. A TIR representa a taxa máxima de rentabilidade do projeto, corresponde ao valor da taxa de atualização do investimento, que torna o VAL de um investimento igual a zero. Já o PBP representa o prazo de tempo necessário para que o investidor tenha reembolsado o capital investido, ou seja o período de retorno do capital investido. Por fim, o IR, ou ROI, exprime a relação entre a quantidade de dinheiro ganho (ou perdido) como resultado de um investimento e, a quantidade de dinheiro investido (Rodrigues, 2006).

O período de vida útil estimado das caldeiras a *pellets* foi fixado em 10 anos. A determinação deste parâmetro das caldeiras é muito importante, pois depende de vários fatores que podem afetar a duração do queimador, tais como o tipo de combustível utilizado, o regime de funcionamento e o cumprimento das manutenções. No entanto, a caldeira é constituída por muitos componentes elétricos e eletrónicos que podem avariar e ser substituídos, sem que tal afete o período de vida útil da caldeira.

### 6.2.1 Técnicas de previsão do consumo

Para o cálculo das receitas anuais (R) é necessário projetar o custo do gás natural. Para isso calcula-se a diferença do custo do gás natural projetado nos próximos 10 anos através do método dos mínimos quadrados. Este é um método de regressão linear (exemplificado abaixo), com base nos registos de consumo de 2012 a 2014 e com o valor do preço anual de *pellets*, de acordo com as toneladas contratadas por mês à empresa de distribuição, conforme anteriormente exposto no capítulo 5 (Rodrigues, 2006).

Com o recurso a este método procura-se, através da análise do consumo de gás natural no ISEP, num dado período de tempo (neste caso de 2012 a 2014), obter a evolução futura do seu custo, nas faturas do ISEP, nos próximos 10 anos (vida útil das caldeiras a *pellets*). Este método é um método de previsão econométrica da procura, cujo objetivo é a obtenção da relação de uma ou mais variáveis explicativas, determinando assim o seu comportamento futuro previsível, com um certo grau de certeza. Sendo assim, a determinação do

ajustamento, de uma função linear, entre a variável dependente ( $y$ ) e as variáveis independentes ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), faz-se pelo método dos mínimos quadrados, através da seguinte função de regressão linear (Rodrigues, 2006):

$$y = \hat{a} + \hat{c} \times x \tag{6.1}$$

Em que

- $y$  = variável dependente (consumo);
- $\hat{a}$  e  $\hat{c}$  são estimadores calculados;
- $x$  = variável independente (número de anos).

Além da utilização deste método, considerado como um método econométrico fidedigno pela área da estatística, foi também usada uma técnica estatística para projeção de valores desejados, para comparação de valores e de técnicas, esta técnica é o método da Projeção da Tendência. Este método permite basear-se nos dados históricos de um consumo e projetar a sua evolução futura, através do cálculo de uma taxa média de crescimento anual. Porém, este método admite que as condições que se verificaram no passado se verificarão no futuro, o que muitas vezes é improvável, limitando a sua utilidade. O método de cálculo deste método é o seguinte:

$$i(\%) = Ct/Cn^{1/(t-n)} - 1 \tag{6.2}$$

Onde:

- $i(\%)$  = taxa média de crescimento anual;
- $Ct$  = Consumo no ano  $t, t+1, t+2$ ;
- $Cn$  = Consumo no ano  $n$ .

Os resultados registados por ambos os métodos encontram-se na Tabela 6.5, em que  $Y$  corresponde ao consumo de gás natural nas faturas e  $X$  corresponde ao número de anos desde 2012.

Tabela 6.5 – Estimativas de consumo de gás natural (€) usando 2 métodos para projeção do custo:

a) método dos mínimos quadrados e b) método da projeção da tendência.

Método mínimos quadrados		Projeção da tendência	
Y	X	Y	X
53 514,97 €	1	53 514,97 €	1
58 779,49 €	2	58 779,49 €	2
85 725,01 €	3	85 725,01 €	3
98 216,53 €	4	108 498,48 €	4
114 321,55 €	5	137 321,90 €	5
130 426,57 €	6	173 802,47 €	6
146 531,59 €	7	219 974,36 €	7
162 636,61 €	8	278 412,15 €	8
178 741,63 €	9	352 374,38 €	9
194 846,65 €	10	445 985,20 €	10
210 951,67 €	11	564 464,43 €	11
227 056,69 €	12	714 418,52 €	12
243 161,71 €	13	904 209,02 €	13

Comparando as estimativas propostas pelos dois métodos estatísticos, constata-se que a projeção da tendência conduz a resultados muito mais elevados, porque esta não ajusta os desvios, ao contrário do método dos mínimos quadrados, logo opta-se por escolher os resultados do método de regressão linear, tanto mais que a evolução de consumos entre os anos 2012 a 2014 sofreu de alterações nos hábitos de consumo de aquecimento central que não deverão repetir-se noutros edifícios.

Na projeção do custo da fatura de gás natural do ISEP nos próximos 10 anos, utilizou-se o valor referente ao ano 2016 para o cálculo das receitas, ou seja 114321,55 €. Foi também considerada uma taxa de inflação no preço do gás natural de 3%, para estimar o preço do gás natural nos cálculos das receitas anuais.

### 6.2.2 *Receitas anuais*

Para o cálculo das receitas anuais, isto é, da poupança gerada com a substituição do gás natural pelos *pellets*, ou seja, a diferença entre o que se irá pagar (se não fizer o investimento) e o que se irá pagar se o investimento for feito, pretendeu-se uma aproximação realista do cálculo. Assim, além do valor do custo da fatura do gás natural para 2016 e do custo de aquisição dos *pellets* por ano, é também necessário saber o custo de manutenção atual das caldeiras a gás natural, bem como a diferença de custos de energia elétrica por parte das caldeiras a *pellets* face às caldeiras a gás natural, que se refletirá em rendimento obtido. Esta questão dos custos de energia elétrica é abordada com detalhe no fim do Anexo D.

Conhecer o valor do custo de manutenção das caldeiras a gás natural não é fácil, pois a manutenção destas é efetuada por entidades diferentes e, muitas vezes, resolvida por pessoal técnico do ISEP, não conseguindo assim saber-se um valor exato para o custo de manutenção anual. Sendo assim, este valor terá que ser estimado, assumindo que a complexidade de manutenção das caldeiras a gás natural e a *pellets*, numa revisão anual, seja idêntica. Porém, com menor necessidade de manutenção nas caldeiras a gás natural, pois não acumulam resíduos ou cinzas como as caldeiras a *pellets*.

Assim, sabendo que o valor dos custos de manutenção das caldeiras a *pellets* (C) é de 4428 €/ano (c/ IVA) (valor este a contratar à empresa de instalação das caldeiras, que fará também a manutenção anual, Euroavac, Lda.), proposto para as 6 caldeiras, pode-se usar o mesmo método de cálculo, não para 15, mas sim para 9 caldeiras, contabilizando já a poupança obtida pelo fato de serem feitas manutenções pelo pessoal técnico do ISEP.

Sendo assim, o valor dos custos de manutenção estimados para as 9 caldeiras a gás natural do ISEP, é obtido com base no valor proposto de 4428 €/ano (c/ IVA) para as 6 caldeiras a *pellets*, sendo de 6642 €/ano (c/ IVA). Invés de acrescentar apenas o valor dos custos de manutenção das caldeiras a *pellets* como despesa, é acrescentado o valor total das despesas destas mesmas. Assim, obtém-se a seguinte equação para cálculo das receitas, ou poupança anual:

$$\begin{aligned}
 R (\text{€/ano}) &= (\text{Custos GN (2016)} + \text{Custos manutenção GN} + \text{Custos e. elec. GN}) \\
 &\quad - (\text{Custos pellets} + \text{Despesas projeto} + \text{Custos e. elec. pellets}) \\
 \Leftrightarrow R (\text{€/ano}) &= (117.751,20 + 6.642 + 7.904,22) - (36.666,30 + 5.051,99 \\
 &\quad + 6.478,67) = \mathbf{84.100,76/ano}
 \end{aligned}
 \tag{6.3}$$

O valor das despesas do projeto encontra-se na Tabela 6.7, calculado no subtópico 6.2.3.

### 6.2.3 Alternativa 1: Aquisição de caldeiras Quioto 150 kW

Para calcular o VAL é necessário recolher os dados do investimento total, a poupança anual (ou seja, as receitas), o custo de operação e manutenção anual e, a taxa de atualização (WACC – *Weighted Average Cost of Capital*), que será considerada como 3%, de acordo com as taxas de juros, de capital próprio e capital alheio em vigor no ISEP. Sendo assim, o valor correspondente ao investimento total da implementação deste projeto, acrescido ao

valor atual de IVA de 23%, ou seja, com a implementação das caldeiras Quioto de 150 kW e seus equipamentos, pode ser observado na Tabela 6.6:

Tabela 6.6 – Plano de investimentos do projeto (caldeiras Quioto 150 kW).

Investimentos	Preço (€) c/ IVA
Remoção das 15 caldeiras	5 442,75 €
Caldeiras	144 532,72 €
Silos Flexível HP 28/18G-E Biomassa	40 841,95 €
Kits Recolha de Cinzas Quioto	19 189,92 €
Sistema de transporte de combustível	13 594,33 €
Tubagem extra	990,40 €
Controlo de nível para silos	9 194,67 €
Quadro automático PLC	33 339,15 €
Ciclones+Extratores	47 453,40 €
Módulo Telegestão Interativa	7 651,58 €
Montagem e acessórios	22 140,00 €
Aluguer Grua 30 ton	369,00 €
Contentores móveis + Sacos Lixo	254,95 €
<b>Total</b>	<b>344 994,83 €</b>
Remuneração das caldeiras a GN	1 500,00 €
<b>Total deduzido</b>	<b>343 494,83 €</b>

A remoção das 15 caldeiras será efetuada pela empresa Urbanos CAT, Lda., bem como o encaminhamento destas para a sucata. O valor apresentado de 5.442,75 € (c/ IVA) pela remoção é um valor estimado pela empresa, tal como o valor proposto para a remuneração destas caldeiras. A instalação das 6 caldeiras e seus equipamentos é feita pela empresa Euroavac, Lda., tal como referido no capítulo 5. Todos os equipamentos mencionados na Tabela 6.6 se referem às 6 caldeiras, com exceção do módulo de telegestão interativa e quadro PLC, como mencionado no capítulo 5, em que serão colocadas uma unidade em cada um dos 4 locais com as caldeiras instaladas.

Existem despesas anuais do projeto (C), nomeadamente o valor do aluguer do contentor metálico para a deposição das cinzas (35 €/mês) e, o valor dos custos de manutenção das caldeiras a *pellets*, que equivale ao valor contratado à empresa de instalação das mesmas, que fará também a manutenção anual, resultando num valor de 4428 €/ano (c/ IVA). A adicionar a estas despesas existe o valor dos 60 €/ton (+IVA) para pagamento do encaminhamento das cinzas para compostagem, em que para esta situação de 788,51 kg/ano de cinzas, resultará num valor de 47,31 €/ano (+IVA). Além destas, existe o custo de 250 €/frete (+IVA) associado à recolha/transporte das cinzas. Os valores correspondentes à valorização e/ou tratamento de resíduos, bem como os custos de transporte e/ou custos de

energia, podem sofrer alterações consoante as oscilações do mercado. Sendo assim, as despesas resultantes da implementação do projeto são as seguintes (Tabela 6.7):

Tabela 6.7 – Despesas do projeto.

Despesas (C)	Preço (€/ano) c/ IVA
Custos de manutenção	4 428,00 €
Aluguer Contentor	258,30 €
Recolha/Transporte de cinzas	307,50 €
Tratamento para Compostagem	58,19 €
<b>Total</b>	<b>5 051,99 €</b>

Como o investimento total é um valor elevado para ser pago a pronto, no momento zero, optou-se por avaliar a situação económica em dois cenários. O primeiro cenário reflete a avaliação económica do projeto em que o investimento é pago no momento zero, o segundo cenário reflete a avaliação económica do projeto em que se recorre a um empréstimo bancário no valor de 75% do investimento total. Sendo assim, irá ser abordado abaixo, em primeiro lugar, o primeiro cenário previsto para o projeto.

### ➤ Cenário 1 – pagamento da totalidade do valor das caldeiras na aquisição

Reunindo os dados de R e de C, é possível calcular o VAL pela seguinte equação:

$$VAL (\text{€/ano}) = -CFI_0 + \sum [CFG_n \times (1 + WACC)^{-n}] \quad (6.4)$$

Em que:

$$CFG (\text{€/ano}) = CFE - CFI_0 \quad (6.5)$$

$$CFE (\text{€/ano}) = (R - C) - \text{Juros (E.F.)} \quad (6.6)$$

$$CFI (\text{€/ano}) = \text{Investimento total deduzido à taxa de fundo perdido}$$

Nota:

- CFG = *Cash-flow* global;
- CFE = *Cash-flow* de Exploração;
- CFI = *Cash-flow* Investimento;
- E.F. = Encargos Financeiros (ou Juros), apenas entram quando calculados no mapa de serviço de dívida na situação de empréstimo ao banco (Cenário 2).

Neste caso, como a energia consumida nos *pellets* é utilizada para produção de calor e não para energia produzida e injetada na rede, não é necessário pagar impostos para tal. Sendo

assim, para este projeto, o *Cash Flow* de Exploração resume-se à diferença das receitas anuais pelos custos de manutenção anuais.

Para o cálculo do *PBP* basta usar a seguinte equação:

$$PBP \text{ (anos)} = t + \frac{(Inv - \sum CFE_t)}{CFE_{t+1}} \quad (6.7)$$

Onde:

- $t$  = ano com último CFE negativo;
- $t + 1$  = ano a partir do qual o CFE passa a positivo.

Para o cálculo da TIR, é pretendido igualar o VAL a 0 e calcular o valor de  $x$ , de acordo com a seguinte equação:

$$TIR(\text{€/ano}): 0 = -CFI_0 + \sum [CFG_n \times (1 + x)^{-n}] \quad (6.8)$$

Onde " $x$ " representa a TIR.

Para o cálculo do quarto indicador financeiro, o índice de rentabilidade (IR) ou retorno do investimento (ROI – *Retorn On Investment*), foi usada a seguinte equação:

$$ROI = \frac{\sum [CFE_n \times (1 + WACC)^{-n}] + VR}{\sum [CFI_n \times (1 + WACC)^{-n}] \quad (6.9)$$

Em que,  $VR = 0$ .

Logo, calculam-se os seguintes indicadores financeiros para o primeiro cenário do projeto (Tabela 6.8):

Tabela 6.8 – Indicadores financeiros para o primeiro cenário do projeto (caldeiras Quioto 150 kW, pagamento da totalidade do investimento sem recurso a empréstimo bancário)

Indicadores Financeiros	
VAL (€/ano)	330 807,21 €
PBP (anos)	4,5
TIR (%)	18,96%
ROI	1,96

Nota: estes indicadores foram calculados através do mapa de *cash-flows* apresentado no Anexo D (Tabela D. 1).

Como conclusão simplista, dos indicadores financeiros resultantes do primeiro cenário previsto para este projeto, nota-se que:

- $VAL > 0$  ( $330.807,21 > 0$ );
- $PBP < n$  ( $4,5 \text{ anos} < 10 \text{ anos}$ );
- $TIR > WACC$  ( $18,96\% > 3\%$ );
- $ROI > 1$  ( $1,96 > 1$ ).

O que significa que o projeto se paga em 4,5 anos.

➤ Cenário 2 – contração de um empréstimo bancário no valor de 75% do investimento total

Neste cenário, como já foi referido, será feito o pagamento do investimento total do projeto com recurso a um empréstimo ao banco no valor de 75% do investimento, em que o capital próprio investido corresponde a 25% do investimento total. Admite-se uma taxa de juro anual de 3% ao banco. O valor total a pagar ao fim dos 10 anos, de 10 capitalizações, encontra-se na

Tabela 6.9:

Tabela 6.9 – Valor total a pagar ao fim de 10 anos após empréstimo de 75% do valor inicial (caldeiras Quioto 150 kW).

Investimento total	Juros a pagar	Total Capital+Juros Composto
343 494,83 €	44 389,42 €	387 884,25 €

O mapa de serviço da dívida para o projeto com as caldeiras Quioto 150 kW, encontra-se no Anexo D (Tabela D. 5). Este serviu para obter o valor de juros descrito na tabela acima, os juros são contabilizados no cálculo dos *cash-flows* de exploração (CFE), tal como descrito na fórmula (6.2 – 6) no Cenário 1 anterior. Com este cenário e aplicando os métodos de cálculo efetuados anteriormente para os indicadores financeiros, obteve-se os seguintes valores (Tabela 6.10):

Tabela 6.10 – Indicadores financeiros para o segundo cenário do projeto (caldeiras Quioto 150 kW, empréstimo bancário de 75% do valor do investimento)

Indicadores Financeiros	
VAL (€/ano)	291 364,93 €
PBP (anos)	5,0
TIR (%)	16,98%
ROI	1,85

Nota: estes indicadores foram calculados através do mapa de *cash-flows* apresentado no Anexo D (Tabela D. 2).

Concluindo, os valores dos indicadores para o cenário com empréstimo de 75% do valor do investimento, são:

- $VAL > 0$  ( $291.364,93 > 0$ );
- $PBP < n$  ( $5,0 \text{ anos} < 10 \text{ anos}$ );
- $TIR > WACC$  ( $16,98\% > 3\%$ );
- $ROI > 1$  ( $1,85 > 1$ ).

O que significa que, contraindo um empréstimo bancário no valor de 75% do custo inicial e com uma taxa de 3% ao ano, o projeto se paga em 5 anos.

#### 6.2.4 Alternativa 2: Aquisição de caldeiras Quioto 400 kW

Para a avaliação económico-financeira, retiram-se os valores dos cálculos efetuados anteriormente, tal como o valor das receitas anuais (R) e dos custos de manutenção (C), apenas se altera o plano de investimentos do projeto. Sendo assim, o valor correspondente ao investimento total da implementação deste projeto com a instalação das caldeiras Quioto de 400 kW e seus equipamentos, acrescido ao valor atual de IVA de 23%, pode ser visualizado na Tabela 6.11:

Tabela 6.11 – Plano de investimentos do projeto (caldeiras 400 kW).

Investimentos	Preço (€) c/ IVA
Remoção das 15 caldeiras	5 442,75 €
Caldeiras	246 051,56 €
Silos Flexível HP 28/18G-E Biomassa	40 841,95 €
Kits Recolha de Cinzas Quioto	19 189,92 €
Sistema de transporte de combustível	13 594,33 €
Tubagem extra	990,40 €
Controlo de nível para silos	9 194,67 €
Quadro automático PLC	25 731,11 €
Ciclones+Extratores	60 847,36 €
Módulo Telegestão Interativa	7 651,58 €
Montagem e acessórios	22 140,00 €
Aluguer Grua 30 ton	369,00 €
Contentores móveis + Sacos Lixo	254,95 €
<b>Total</b>	<b>452 299,59 €</b>
Remuneração das caldeiras a GN	1 500,00 €
<b>Total deduzido</b>	<b>450 799,59 €</b>

Tal como referido anteriormente, como o investimento total é um valor elevado para ser pago no momento zero (e ainda mais com as caldeiras de 400 kW), optou-se por avaliar a situação económica em dois cenários. O primeiro cenário reflete a avaliação económica do projeto em que o investimento é pago no momento zero, o segundo cenário reflete a avaliação económica do projeto em que se recorre a um empréstimo ao banco no valor de 75% do investimento total. Sendo assim, irá ser abordado abaixo, em primeiro lugar, o primeiro cenário previsto para o projeto.

➤ Cenário 1 – pagamento da totalidade do valor das caldeiras Quioto 400 kW na aquisição

Seguindo o mesmo procedimento de cálculos usado anteriormente, reagrupam-se os resultados referentes aos indicadores financeiros deste cenário na Tabela 6.12:

Tabela 6.12 – Indicadores financeiros para o primeiro cenário do projeto (caldeiras Quioto 400 kW, sem recurso a empréstimo bancário).

Indicadores Financeiros	
VAL (€/ano)	223 502,45 €
PBP (anos)	5,9
TIR (%)	11,77%
ROI	1,50

Nota: estes indicadores foram calculados através do mapa de *cash-flows* apresentado no Anexo D (Tabela D. 3).

Como conclusão, dos indicadores financeiros resultantes do primeiro cenário previsto para este projeto com aquisição de caldeiras Quioto 400 kW, nota-se que:

- $VAL > 0$  ( $223.502,45 > 0$ );
- $PBP < n$  ( $5,9 \text{ anos} < 10 \text{ anos}$ );
- $TIR > WACC$  ( $11,77\% > 3\%$ );
- $ROI > 1$  ( $1,50 > 1$ ).

O que significa que o projeto se paga em 5,9 anos.

➤ Cenário 2 – contração de um empréstimo bancário no valor de 75% do investimento total na aquisição de caldeiras Quioto 400 kW

Neste cenário, é então abordado o pagamento do investimento total do projeto com um empréstimo ao banco no valor de 75% do investimento, em que o capital próprio investido corresponde a 25% do investimento total. Admite-se uma taxa de juro anual de 3% ao banco. O valor total a pagar ao fim dos 10 anos de vida útil, de 10 capitalizações, para o projeto com as caldeiras Quioto de 400 kW, encontra-se na

Tabela 6.13:

Tabela 6.13 – Valor total a pagar ao fim de 10 anos após empréstimo de 75% do valor do investimento (caldeiras 400 kW).

Investimento total	Juros a pagar	Total Capital+Juros Composto
450 799,59 €	58 256,29 €	509 055,87 €

O mapa de serviço da dívida para o projeto com as caldeiras de 400 kW e com um empréstimo bancário de 75% do investimento inicial, encontra-se no Anexo D (Tabela D.

6). Este serviu para obter o valor de juros descrito na tabela acima, os juros são contabilizados no cálculo dos *cash-flows* de exploração (CFE), tal como descrito na fórmula (6.2 – 6) no Cenário 1 das caldeiras Quioto 150 kW. Com este cenário e os métodos de cálculo efetuados no cenário 1 para os indicadores financeiros, obtiveram-se os valores constantes na Tabela 6.14:

Tabela 6.14 – Indicadores financeiros para o segundo cenário do projeto (caldeiras Quioto 400 kW, recurso a empréstimo bancário de 75% do investimento total).

Indicadores Financeiros	
VAL (€/ano)	171 738,76 €
PBP (anos)	6,7
TIR (%)	9,72%
ROI	1,38

Nota: estes indicadores foram calculados através do mapa de *cash-flows* apresentado no Anexo D (Tabela D. 4).

Concluindo ainda a rentabilidade dos valores dos indicadores:

- $VAL > 0$  ( $171.738,76 > 0$ );
- $PBP < n$  ( $6,7 \text{ anos} < 10 \text{ anos}$ );
- $TIR > WACC$  ( $9,72\% > 3\%$ );
- $ROI > 1$  ( $1,38 > 1$ ).

Conclui-se assim que, também para este cenário, o investimento é pago em 6,7 anos, portanto num prazo inferior à vida útil das caldeiras.

### 6.3. Conclusões da análise financeira

Face aos mapas de investimento, tanto para a aquisição das caldeiras Quioto 150 kW como para as caldeiras Quioto 400 kW, nota-se obviamente que o maior investimento provém da aquisição das 6 caldeiras de tipo industrial. No entanto, como cada caldeira necessita de variados equipamentos acessórios para o seu funcionamento normal ou apenas para respeitar os valores limite de emissões de poluentes ou partículas, os indicadores financeiros obtidos são agravados, como o período de retorno do investimento. Entre os equipamentos mais caros estão os ciclones+extratores e os silos de armazenamento, bem como os quadros automáticos PLC, que são necessários para o funcionamento dos ciclones e do módulo de telegestão interativa das caldeiras, que é opcional.

Quanto aos indicadores financeiros resultantes da aposta na implementação de ambas as caldeiras, confirmam que a decisão de investimento neste projeto é favorável, pois caracterizam o projeto como rentável. Além disso, uma poupança de 84.100,76 €/ano, devido às necessidades e preços dos diferentes combustíveis, em conjunto com o período de retorno do capital investido reduzido, traduzem-se em fatores que ajudam a tornar o projeto atrativo.

Como o valor atual líquido (VAL), em qualquer cenário proposto, é superior a zero, o projeto é viável e apresenta capacidade para se iniciar e permanecer no mercado. Analisando o valor obtido do VAL, comprova-se a viabilidade do projeto, tendo-se gerado um excedente para o investidor, ou seja, lucro. A TIR vai de encontro aos resultados do VAL, como esta é superior à taxa de atualização (WACC), o projeto é viável.

Para melhor compararmos as diferentes situações de investimento para este projeto, podemos observar a Tabela 6.15 que resume os resultados dos indicadores financeiros que permitem avaliar as possibilidades de escolha do cenário e tipo de caldeiras a implementar.

Tabela 6.15 – Comparação das avaliações financeiras das caldeiras propostas para o projeto em cada um dos cenários: cenário1 - investimento total; cenário 2 – com empréstimo bancário.

Caldeiras 150 kW				Caldeiras 400 kW (Estudo de caso)			
Indicadores Financeiros				Indicadores Financeiros			
Primeiro cenário		Segundo cenário		Primeiro cenário		Segundo cenário	
<b>VAL (€/ano)</b>	330 807,21 €	<b>VAL (€/ano)</b>	291 364,93 €	<b>VAL (€/ano)</b>	223 502,45 €	<b>VAL (€/ano)</b>	171 738,76 €
<b>PBP (anos)</b>	4,5	<b>PBP (anos)</b>	5,0	<b>PBP (anos)</b>	5,9	<b>PBP (anos)</b>	6,7
<b>TIR (%)</b>	18,96%	<b>TIR (%)</b>	16,98%	<b>TIR (%)</b>	11,77%	<b>TIR (%)</b>	9,72%
<b>ROI</b>	1,96	<b>ROI</b>	1,85	<b>ROI</b>	1,50	<b>ROI</b>	1,38

Analisando os vários indicadores da avaliação para os cenários das duas caldeiras tipo, é possível concluir que o cenário escolhido para o projeto é sempre viável, não apresentando um investimento de risco. Comparativamente à análise financeira dos quatro cenários previstos para este projeto, pode-se concluir que o projeto com as caldeiras de 150 kW gera sempre maior lucro, apresentando melhores resultados financeiros, e em menor período de tempo, do que as caldeiras de 400 kW. Entre os dois cenários, o primeiro cenário (sem empréstimo bancário), além de possuir menor período de recuperação de capital, possui maior valor atual líquido do projeto (VAL), ou seja maior valor, e recupera maior unidade de capital por cada unidade de capital investido (ROI), ou seja gera mais lucro.

O PBP varia entre 4,5 e 6,7 anos, apresentando períodos aceitáveis nas caldeiras de 150 kW e outros mais duvidosos para as caldeiras de 400 kW. O cenário 1 com as caldeiras de 150 kW apresenta o período de retorno de capital mais reduzido, de 4,5 anos.

Quanto ao índice de rentabilidade (IR ou ROI), como este é sempre superior a 1, permite apresentar rentabilidade ao projeto, e assim, é possibilitada a aceitação do projeto, bem como a sua capacidade de aceitação e desenvolvimento. No caso de se obter um ROI de 1,96, por exemplo, quer dizer que o projeto recupera 1,96 unidades de capital por cada unidade de capital investido, ou seja permite gerar lucro.

Quanto maior a TIR, maior a rentabilidade do projeto, representando a viabilidade económica do mesmo. No entanto, como o segundo cenário para as caldeiras de 150 kW (empréstimo bancário de 75% do investimento total), reflete na situação mais provável de investimento no projeto, devido a um menor investimento de capital próprio no momento zero, será o possível cenário a seguir para a realização do mesmo. O seu período de retorno de capital investido corresponde a 5 anos. Porém, este cenário poderá ser alterado face ao acordado com o banco no valor do empréstimo, taxa de juro anual e número de capitalizações.

### 6.3.1 Medidas de redução do investimento e aumento das receitas

Estas análises económico-financeiras dos cenários foram sempre feitas de acordo com o pior cenário do projeto, atendendo a todas as necessidades energéticas e à maior comodidade disponível para o funcionamento destas caldeiras. Sendo assim, previu-se a aquisição de todos os equipamentos acoplados às caldeiras a *pellets* que permitam oferecer o melhor desempenho e comodidade para o utilizador. Além disso, os empréstimos atribuídos nos cenários secundários das propostas das diferentes caldeiras foram considerados para 75% do investimento total, percentagem esta que poderá ser reduzida, beneficiando nos resultados financeiros dos correspondentes cenários.

No entanto, é possível também obter melhores resultados nos indicadores financeiros reduzindo ao valor dos investimentos, dependendo das preferências do investidor, nomeadamente em equipamentos adquiridos. Como por exemplo, eliminar a aquisição das unidades do módulo de telegestão interativa das caldeiras (permitem receber alertas e controlar as caldeiras fora do ISEP) e excluir os *Kits* de cinzas (recolhem as cinzas para um depósito exterior maior). As reduções de custo previstas com a remoção destes equipamentos opcionais, bem como a alteração dos indicadores financeiros, encontram-se na Tabela 6.16

Equipamentos opcionais	
Investimentos	Preço (€) c/ IVA
Módulo Telegestão Interativa	7 651,58 €
Kits Recolha de Cinzas Quioto	19 189,92 €
<b>Total</b>	<b>26 841,50 €</b>

Tabela 6.17:

Tabela 6.16 – Equipamentos opcionais do projeto para possível redução de investimento.

Equipamentos opcionais	
Investimentos	Preço (€) c/ IVA
Módulo Telegestão Interativa	7 651,58 €
Kits Recolha de Cinzas Quioto	19 189,92 €
<b>Total</b>	<b>26 841,50 €</b>

Tabela 6.17 – Indicadores financeiros com a exclusão dos equipamentos opcionais.

Caldeiras 150 kW				Caldeiras 400 kW (Estudo de caso)			
Indicadores Financeiros				Indicadores Financeiros			
Primeiro cenário		Segundo cenário		Primeiro cenário		Segundo cenário	
<b>VAL (€/ano)</b>	357 648,71 €	<b>VAL (€/ano)</b>	321 288,55 €	<b>VAL (€/ano)</b>	250 343,96 €	<b>VAL (€/ano)</b>	201 662,37 €
<b>PBP (anos)</b>	4,1	<b>PBP (anos)</b>	4,5	<b>PBP (anos)</b>	5,5	<b>PBP (anos)</b>	6,3
<b>TIR (%)</b>	21,36%	<b>TIR (%)</b>	19,40%	<b>TIR (%)</b>	13,29%	<b>TIR (%)</b>	11,26%
<b>ROI</b>	2,13	<b>ROI</b>	2,01	<b>ROI</b>	1,59	<b>ROI</b>	1,48

Equipamentos opcionais	
Investimentos	Preço (€) c/ IVA
Módulo Telegestão Interativa	7 651,58 €
Kits Recolha de Cinzas Quioto	19 189,92 €
<b>Total</b>	<b>26 841,50 €</b>

Com a observação da

Tabela 6.17, é evidente o aumento positivo dos indicadores financeiros do projeto. Porém, é possível ainda reduzir as despesas do projeto, melhorando ainda mais os indicadores financeiros, através da opção de eliminar o aluguer do contentor para as cinzas, remediando com a solução de adquirir mais sacos do lixo e armazenar estes até à recolha das cinzas. Bem como a eliminação da opção da compostagem das cinzas, restando a opção de encaminhamento das cinzas para aterros sanitários, sem custos adicionais.

Por fim, existe também uma escolha que foi tomada, que poderá ser alterada de forma a reduzir o custo energético por parte das caldeiras a *pellets*, e que aumenta a poupança anual gerada (receitas) e os indicadores financeiros do projeto. Esta escolha foi a decisão das caldeiras funcionarem com acendimento automático, e assim aumentar os seus consumos de energia elétrica. Ao eliminar esta opção, as caldeiras invés de terem como potência instalada 1,10 kW cada uma, terião 0,74 kW cada. Assim, haveria necessidade de mais intervenção por parte do pessoal técnico do ISEP destinado à ativação e desativação das caldeiras, pois era necessário uma visita pelo menos 2 vezes por dia em cada caldeira (embora seja uma realidade atual com as caldeiras a gás natural).

## 7. Gestão ambiental

O aquecimento de uma instalação usando como combustível os *pellets* oferece ao nosso planeta três vantagens ambientais sobre a queima de gásóleo ou gás propano ou natural: os *pellets* são adquiridos localmente, são um recurso renovável e, são neutros em carbono. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA – *Environmental Protection Agency*) considera os *pellets* como neutros em carbono, pois a queima de uma árvore liberta menos dióxido de carbono para a atmosfera do que seria libertado se a árvore tivesse caído e deteriorado naturalmente (Rosillo-Calle, 2008).

Contudo, a utilização da biomassa pode apresentar alguns impactos ambientais menos favoráveis, tais como (Evans, 2001):

- Emissão de gases de efeito estufa (GEE);
- Emissão de partículas para a atmosfera;
- Impactos na fauna e flora locais.

No entanto, para que as emissões de GEE e de partículas para a atmosfera não comprometam o meio ambiente ou a saúde humana, os *pellets* e as caldeiras em que serão usados têm que cumprir certas limitações de valores de emissões antes de serem vendidas aos utilizadores. Sendo assim, pode-se visualizar os valores máximos fixados na norma europeia BS EN 14961-1 para as emissões de enxofre (S), azoto (N) e cloro (Cl), na tabela Tabela 7.1:

Tabela 7.1 – Valores limite de emissões poluentes resultantes da queima dos *pellets*, segundo a norma europeia BS EN 14961-1 (Alakangas et al., 2009).

BS EN 14961-1	
Teor em enxofre	máx. 0,2 %
Teor em azoto	máx. 3 %
Teor em cloro	máx. 0,1 %

Quanto aos possíveis impactos na fauna e flora locais, é necessário ter em consideração alguns conceitos de sustentabilidade, quando se efetuam plantações de culturas com o intuito de obter produtos de biomassa, nomeadamente para o mercado produtor de *pellets*. Sendo assim, existem métodos de "gestão florestal sustentável" implementados e gerenciados pelo Estado: os gestores devem aplicar o corte, a sementeira e os métodos de replantação projetados, para manter as florestas renovadas, proporcionando assim um futuro de aquecimento assegurado para as gerações futuras (Rosillo-Calle, 2008).

Assim, a sustentabilidade do mercado produtor de *pellets*, pode ser afetada se estas medidas não forem respeitadas. Medidas como a remoção de toda a matéria orgânica vegetal duma mata, sem recorrer à sementeira ou a alguma técnica ou método de recuperação/tratamento posterior do solo, como por exemplo: o cobrimento do solo com material de compostagem (composto).

Esta atividade de desmatção sem solução sustentável permite desproteger e empobrecer o solo. Além disto, o recurso a estas fontes de biomassa pode também não ser sustentável, isto se (Rosillo-Calle, 2008):

- Forem usados solos agrícolas para produção de culturas energéticas;
- For feita desflorestação para obter solo mais arável;
- A exploração do solo o esgotar (agricultura intensiva), ou seja, não respeitar os critérios estabelecidos por lei para o uso dos solos;
- Os custos de produção forem superiores ao valor da energia gerada;
- Não forem reunidos os critérios para a redução dos gases de efeito estufa (GEE) estabelecidos pela lei;
- Não forem produzidos a partir de matérias-primas de origem natural.

## 7.1. Destino das caldeiras a gás natural e sua remoção

As 15 caldeiras a gás natural instaladas no ISEP serão removidas para a instalação das novas para este projeto, apesar de só serem usadas atualmente em simultâneo 9 caldeiras para o aquecimento. Esta medida é tomada porque, além de ser pretendido remover estes equipamentos de consumo de combustível não renovável, libertam também mais espaço para a instalação dos equipamentos necessários para as novas caldeiras a *pellets*.

Estas caldeiras atualmente instaladas no ISEP são de ferro fundido, a empresa que fará a sua remoção e as encaminhará para a sucata, estimou um valor de 1.100 € (valor muito variável) para a remuneração de 11 caldeiras enviadas para a sucata. Para a realização desta operação, é necessário efetuar um pedido de abate das mesmas à presidência do ISEP.

No entanto, há a possibilidade de remuneração das 4 restantes caldeiras, que são semi-novas e de última geração. Estas caldeiras abastecem os edifícios G, H, I e J do ISEP. Sendo assim, é previsto um dos seguintes cenários para a sua remuneração:

- Venda direta a possíveis interessados: valor a considerar será de 1/5 do seu valor atual. Sendo necessário a referência completa do modelo e número de série.
- Venda para sucata: 400,00 € de valor estimado e também muito variável.

O valor de reembolso por 1/5 do preço destas caldeiras seria de 21612 €. Contudo, esta possibilidade é menos provável e não foi considerada para o projeto. Considerou-se assim, deduzindo nos custos de investimento, o valor remunerado pela sucata destas 4 caldeiras, juntamente com as restantes 11 caldeiras atuais.

## 7.2. Gestão das cinzas

Com a queima dos *pellets* nas 6 caldeiras propostas são produzidas cinzas numa quantidade considerável. A sua quantidade aponta para 118,57 kg/mês ou 788,51 kg/ano, segundo a Tabela 5.8 no capítulo 5. Reflete assim uma produção de cinzas que exige um estudo para determinar o seu melhor destino. Assim, é previsível o seu destino entre duas hipóteses:

- Deposição em aterro sanitário;
- Adubagem vegetativa.

Atualmente, a maioria das cinzas de biomassa são depositadas em aterros sanitários. Contudo, é necessário que estas apresentem determinadas características para poderem ser

depositados em aterro. Estas características podem ser conferidas através do documento da Decisão do Conselho 2003/33/CE, que determina quais os resíduos que podem ou não ser admitidos em aterro e, os classifica quanto à sua perigosidade. Segundo este documento, as cinzas podem ser classificadas como inertes, não perigosas ou perigosas. No caso da biomassa, as cinzas provenientes de resíduos florestais são considerados nesta categoria como inertes. Sendo assim, a opção da deposição das cinzas em aterros sanitários é uma opção plausível, porém deve apenas ser considerada para último recurso, visto que podem existir opções mais sustentáveis para o destino das cinzas (Dias, 2011).

Outra alternativa para o encaminhamento das cinzas seria a adubagem vegetativa. As cinzas possuem muitos nutrientes que as árvores absorvem durante o seu crescimento, como tal, a aplicação das cinzas em solos permite a reciclagem de alguns nutrientes, como o cálcio, o potássio, o magnésio e o fósforo. Esta medida tem vindo a ser sugerida e utilizada como forma de manter, e possivelmente melhorar, o balanço dos nutrientes nos solos florestais. No entanto, é importante compreender que as características físicas e químicas das cinzas variam significativamente, podendo inviabilizar a sua utilização na adubagem de solos. Estas dependem de vários fatores, tais como (Dias, 2011):

- A espécie vegetal ou arbórea usada;
- O local de cultivo destas mesmas e o clima a que estiveram sujeitas;
- A componente da árvore (por ex: casca, madeira, folhas);
- O tamanho e idade da árvore;
- A técnica de combustão e condições de funcionamento da caldeira.

Para determinar se um certo tipo de cinzas deve, ou não, ser aplicado para adubagem vegetativa, é recomendada a realização de ensaios ecotoxicológicos. Estes fornecem respostas relativamente ao impacto ambiental que certo resíduo poderá ter no ecossistema em que será introduzido. Após estes ensaios, se os resultados forem positivos a favor da sua aplicação na adubagem, as cinzas ainda enfrentam um tratamento para seguir para a compostagem. Assim, as cinzas podem contribuir como um fertilizante para os solos.

A empresa que fará a recolha das cinzas, TRIU, S.A., consegue encaminhá-las para o tratamento que necessitam, de forma a que estas contribuam para compostagem, atuando como um adubo vegetativo. Contudo, infelizmente para este efeito, é necessário pagar 60 €/ton de cinzas. Os resíduos serão encaminhados para instalações licenciadas para operações de gestão de resíduos, no cumprimento das disposições legais em vigor. Os valores de

tratamento incluem as taxas de gestão de resíduos (TGR), previstas no artigo 58º do Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro.

O facto de se pagar pelo envio das cinzas para compostagem, ou seja, de se pagar para uma outra entidade lucrar com estas na venda de adubos, deve-se ao facto de o mercado estar organizado desta forma, pois os custos com o processo de compostagem são elevados. No entanto, se estivéssemos a lidar com resíduos recicláveis como embalagens de cartão, plásticos, sucata, etc, já se poderia ter um retorno monetário por esta tipologia de materiais.

No entanto, poderia ser possível ainda encontrar uma terceira alternativa de valorização de cinzas que tem vindo a ser estudada, destinando-as a uma aplicação na Engenharia Civil, nomeadamente no fabrico de betões. Esta aplicação permite a substituição parcial de agregados finos e cimento, comprovando aumentos de resistência e facilidade no seu manuseamento e transporte. Contudo, a aplicação das cinzas neste caso remete-se às cinzas volantes, como neste projeto as cinzas produzidas são cinzas de fundo e não volantes (de topo), esta hipótese é excluída para o projeto (Dias, 2011).



# 8. Conclusões e sugestões futuras

## 8.1. Conclusões

Os objetivos propostos para este trabalho foram atingidos, visto que foram reunidos resultados coerentes tanto do ponto de vista experimental para determinação de parâmetros do combustível das caldeiras, bem como da análise económico-financeira do projeto e das condições para a sua implementação. A elaboração das conclusões deste projeto foi extraída na análise dos resultados dos capítulos 5 e 6 deste trabalho.

Com a redução do número de caldeiras existentes a gás natural e a instalação das caldeiras a biomassa, ou seja, reduzindo de 15 caldeiras para 6 caldeiras, respetivamente (mesmo que atualmente só estejam operacionais 9 caldeiras a gás natural) para a mesma necessidade energética de 958811 kWh (dados de 2014, em consumo de gás natural), obtém-se uma poupança anual de 84100,76 €/ano. Esta poupança foi medida com base nos custos de energia elétrica anuais por parte dos dois tipos de caldeiras, dos seus custos de manutenção e, principalmente, dos preços de combustível.

Para satisfazer a necessidade energética registada em 2014, é previsto serem consumidas 197,13 toneladas de *pellets* anualmente, registando um consumo mensal previsto de 32,61 t/mês e uma alimentação mínima teórica de 16,47 kg/h, durante as 15 horas de funcionamento diário, durante os dias úteis na época de aquecimento (6 meses, de Outubro a Março). Para estas 197,13 t/ano, prevê-se uma alimentação de 5,48 t/mês por caldeira.

A alimentação planeada para satisfazer estas necessidades energéticas, será realizada através do abastecimento automático dos silos de 5,3 toneladas de cada caldeira, bem como pela utilização adicional de 12 sacos de 15 kg de *pellets* por caldeira, mensalmente, devido aos silos não serem suficientes para cobrir a necessidade de 5,48 ton/mês por caldeira.

Com a queima dos *pellets*, estes transformam-se em cinzas, prevendo uma produção mensal de 118,57 kg/mês e anual de 788,51 kg/ano por parte das caldeiras. De forma a dar um destino ecológico a estas cinzas, que serão encaminhadas para tratamento pelo preço acrescido de 60 €/ton +IVA à empresa que recolherá as cinzas e realizará ensaios ecotoxicológicos para poderem ser aplicadas em compostagem, desviando a opção de irem para aterro sanitário e apostando numa opção ambientalmente mais correta.

Já as caldeiras a gás natural, não devem facilmente ter outro destino que não o de serem encaminhadas para a sucata, devido à falta de iniciativa das empresas de comprarem equipamentos usados, embora 4 das caldeiras a gás natural sejam recentes e de última geração. Obtém-se assim um retorno residual por parte da sucateira.

Ao longo dos 10 anos de vida útil assumidos para as caldeiras a *pellets*, haverá uma despesa de 5.051,99 €/ano, envolvendo custos de manutenção, aluguer do contentor metálico para as cinzas, a recolha e transporte destas mesmas e o seu tratamento para a compostagem. Sendo prevista a escolha do segundo cenário proposto para o projeto, com a aquisição das caldeiras Quioto de 150 kW e a contratação de um empréstimo bancário no valor de 75% do investimento, é obtido um VAL de 291364,93 €/ano, um PBP de 5 anos, uma TIR de 16,98 % e um IR de 1,85. Concluindo e verificando a rentabilidade da implementação do projeto, sem risco de investimento. No entanto, quanto menor o empréstimo acordado com o banco, sem grande aumento da taxa de juros, melhor os resultados dos indicadores financeiros.

## **8.2. Sugestões futuras**

Como este projeto tem fortes preocupações com a sustentabilidade, incentivando não só a substituição de combustíveis fósseis pelo uso de energias renováveis, nomeadamente com

recurso a fontes de biomassa, salientando a sua importância cada vez mais emergente, como também ao aumento da eficiência energética na produção e utilização de calor para o aquecimento central, é relevante que fará sentido potenciar de forma sustentável o consumo energético no ISEP.

Deste modo, no que respeita ao aquecimento central, sugere-se o uso de pisos radiantes com água aquecida pelas caldeiras a biomassa, nas instalações do ISEP. Além de ser uma medida de eficiência energética promissora, económica, segura e confortável, trabalhando a temperatura uniforme, é também uma opção mais saudável (não seca o ar), com as instalações do sistema invisíveis. Este sistema pode ainda, em conjunto com uma bomba de calor reversível, produzir frio. Apresentando como inconveniente principal a dificuldade na instalação e manutenção, devido à necessidade de remoção de todo o material de pavimento colocado acima deste sistema (SolarWaters, 2015a).

Como este projeto não teve a participação de apoios financeiros de programas ou associações de apoio à temática da eficiência energética, inovação tecnológica ou da contribuição para redução de emissões de GEE, pode-se sugerir a incorporação de outras medidas que permitam ganhar acesso a fundos financeiros, isto se não reunir condições suficientes para se apresentar rentável ou atraente o suficiente para o investidor. Sendo assim, sugere-se, e foi alvo de análise neste projeto, a candidatura a financiamento perante o programa PO SEUR (Programa Operacional para a Sustentabilidade e Eficiência no Uso dos Recursos) criado pelo acordo Portugal 2020, sugerido pela ADENE.

Este programa conta com uma taxa base de financiamento a fundo perdido de 35%, mas tem requisitos a que este projeto ainda não consegue responder. Como exigências a cumprir para ter acesso a este programa, deve-se garantir pelo menos o aumento de duas classes energéticas nos edifícios do ISEP, sendo ainda que o investimento em sistemas de energias renováveis não pode ser superior a 30% do investimento previsto para o aumento da eficiência energética. No caso em estudo, o ISEP não deve poder beneficiar desta medida. Assim, sugere-se o investimento no aumento da eficiência energética no ISEP, nomeadamente em intervenções ao nível das próprias estruturas (janelas, portas, isolamento térmico dos edifícios, etc.), como por exemplo, colocar portas automáticas rotativas nos edifícios E e F, de forma a reduzir correntes de ar.

Sugere-se também a hipótese de avaliar um destino mais sustentável para as cinzas produzidas pelas caldeiras a *pellets*, se não for aprovado o custo de 60 €/ton correspondente

ao encaminhamento e tratamento destas por compostagem, visto que é suposto haver uma remuneração e não o contrário. Além do mais, pretende-se adotar uma solução ambientalmente aceitável para estas cinzas ou outra solução mais pragmática, como a implementação destas na produções de betões para a construção na Engenharia Civil.

## Referências Documentais

- Alakangas. (2009). Wood pellets in Finland - technology , economy , and market Wood pellets in Finland.
- Alakangas, E., Iii, E., & Tc, C. E. N. (2009). New European Pellets Standard – EN 14961-1, 5, 1–9.
- Bernardes, C., & Henriques, F. (2013). Efeito da Recirculação dos Gases de Exaustão e Estagiamento de Ar nas Emissões de Gases e Partículas de uma Caldeira Doméstica Engenharia Mecânica Júri.
- Biomassa, C., & Industrial, Q. (2015). Zantia - Caldeiras a Biomassa, Quioto. Retrieved from <http://www.zantia.com/products/create.php?f=5&lang=pt-pt&product=286&prices=0>
- Clark, J., & Deswarte, F. (2008). *Introduction to Chemicals from Biomass*. (J. Clark & F. Deswarte, Eds.) (1st ed.). Belgium: Wiley, Ed. Retrieved from <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470058056.html>
- Continente. (2015). Saco Pellets - Nova Lenha - Continente Online. Retrieved April 20, 2015, from <http://www.continente.pt/stores/continente/pt->

pt/public/Pages/ProductDetail.aspx?ProductId=4495017(eCsf\_RetekProductCatalog\_MegastoreContinenteOnline\_Continente)

- CYPE Ingenieros, S. A. (2015). Utilização e manutenção. Caldeiras de biomassa. Aquecimento, climatização e A.Q.S.. Instalações. Retrieved May 27, 2015, from [http://manualdeutilizacaoemanutencao.geradordeprecos.info/Instalacoes/Aquecimento\\_\\_climatizacao\\_e\\_A\\_Q\\_S\\_/Caldeiras\\_de\\_biomassa.html](http://manualdeutilizacaoemanutencao.geradordeprecos.info/Instalacoes/Aquecimento__climatizacao_e_A_Q_S_/Caldeiras_de_biomassa.html)
- Dawoud, B., Amer, E., & Gross, D. (2007). Experimental investigation of an adsorptive thermal energy storage. *International Journal of Energy Research*, 31, 135–147.
- DGEG. (2015a). Estatísticas rápidas combustíveis fósseis, nº119 (Abril, 2015).
- DGEG. (2015b). Estatísticas rápidas Renováveis, nº126 (Abril, 2015).
- Dias, A. D. C. M. (2011). Estudo da valorização de cinzas de biomassa na produção de materiais para a construção de recifes artificiais. *Faculdade de Ciências E Tecnologias, Mestrado*, 108.
- Dinis, M. A. P. (2008). Dados sobre resíduos residenciais, comerciais, industriais e agrícolas.
- ECS. (2005). Europäische Norm Final Draft. *Management*, 1–140. Retrieved from [http://www.babelia.pt/media/norma\\_en\\_15038.pdf](http://www.babelia.pt/media/norma_en_15038.pdf)
- EDP. (2015). EDP Gás Distribuição. Retrieved July 1, 2015, from <http://www.edpgasdistribuicao.pt/index.php?id=484>
- Energias Renováveis. (2015). :: Portal das Energias Renováveis :: Retrieved March 18, 2015, from

[http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=3&ID\\_area=2&ID\\_sub\\_area=3](http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=3&ID_area=2&ID_sub_area=3)

- ENPlus. (2011). Italy - Pellet Report, Nov 2011, (November).
- ERSE. (2015). Tarifas transitórias de venda ao cliente final em Portugal Continental em 2015, 1–7.
- EUBIA. (2015). European Biomass Industry Association - About Biomass. Retrieved July 9, 2015, from <http://www.eubia.org/index.php/about-biomass>
- Evans, G. (2001). *Biowaste and Biological Waste Treatment*. (G. Boyle, Ed.) (1st ed.). London: James & James (Science Publishers), Ltd.
- Gesfinu. (2015). Gesfinu - Bioenergia, Áreas de negócio. Retrieved April 20, 2015, from <http://www.gesfinu.com/index.php?cat=11&item=24>
- Isolani, T. P., Adiconsum, R. C., Ademe, F. C., Escan, F. P., Adiconsum, A. O., & Deco, I. O. (2008). Eficiência energética nos edifícios residenciais. Retrieved from [http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE\\_EdRes\\_enerbuilding.pdf](http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE_EdRes_enerbuilding.pdf)
- L.Merlin. (2015). Leroy Merlin - Combustíveis. Retrieved April 20, 2015, from <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Construcao/Aquecimento-e-acessorios/Combustiveis.aspx/0/24/PrecoProdutoAsc/list/0/234#Tipo%3APellets>
- M.L.E. (2015). Limpeza Salamandra Pellets - Limpeza Diária - Recuperadores de Calor - M.L.E. Soluções de Climatização Lda - Cacém. Retrieved April 3, 2015, from <http://www.mle.pt/ajuda/limpeza-salamandra-pellets-diaria/>
- Machado, L. (2012). FTCEN, Combustão, 1–27.
- Madeira, J. P. dos R. (2011). Formação e Emissão de Partículas numa Caldeira Doméstica Alimentada a Pellets.
- Manutan. (2015). Contentor móvel 120 L. Retrieved from <http://www.manutan.pt/pt/map/contentor-movel-120-l>
- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., & Catalão, J. P. S. (2015). Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*, 85, 1011–1016.
- Ökofen. (2012). Pellets. Retrieved March 14, 2015, from <http://www.oekofen-usa.com/en-us/4.html>
- Pellergy. (2014). Pellergy | Auto-feed Wood Pellet Central Heating. Retrieved February 15, 2015, from <http://www.pellergy.com/>
- Rabaçal, M. (2010). Influência das características do combustível no desempenho energético e ambiental de caldeiras domésticas. Retrieved from <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/2589869386403/dissertacao.pdf>

- Rodrigues, R. (2006). Cálculo financeiro e contabilidade. Retrieved from [http://www.dei.isep.ipp.pt/~rolando/Docs/Apontamentos/Apontam.- Revistos.pdf](http://www.dei.isep.ipp.pt/~rolando/Docs/Apontamentos/Apontam.-Revistos.pdf)
- Rosillo-Calle, F. (2008). *The Biomass Assessment Handbook*. (F. Rosillo-Calle, Ed.) (1st ed.). UK: Routledge. Retrieved from <http://www.amazon.com/Biomass-Assessment-Handbook-Frank-Rosillo-Calle/dp/1844075265>
- SacoPlex. (2015). Saco de lixo preto extra-forte e Capacidade de 120 litros. Retrieved August 26, 2015, from [http://loja.sacoplex.pt/index.php?route=product/product&path=75\\_82&product\\_id=194](http://loja.sacoplex.pt/index.php?route=product/product&path=75_82&product_id=194)
- Santos, A. (2009). Dimensionamento caldeira a pellets FEUP.
- Solarcondicionado. (2015). ::Solar e Ar Condicionado – Online, Instalação de Ar condicionado Porto, Instalação de Ar condicionado Póvoa de Varzim, Reparação de Ar condicionado Porto, Reparação de Ar condicionado Póvoa de Varzim, Manutenção de Ar condicionado Porto, Manutenção de Ar. Retrieved May 23, 2015, from <http://solarcondicionado.pt/caldeiras-porto-povoavarzim.html>
- SolarWaters. (2015a). Aquecimento Central por Piso Radiante a Água. Retrieved August 14, 2015, from <http://www.solarwaters.pt/aquecimento-central-por-piso-radiante-a-agua>
- SolarWaters. (2015b). QUIOTO INDUSTRIAL - CALDEIRA DE BIOMASSA INDUSTRIAIS - SolarWaters. Retrieved April 24, 2015, from <http://www.solarwaters.pt/caldeira-de-biomassa-industriais/quioto-industrial>
- Solutions, E. (2014). The Pros and Cons of Wood Pellet Boilers. Retrieved March 14, 2015, from <http://www.ecoheatsolutions.com/heatingsolutions/woodpelletboiler.html>
- Teixeira, L. (2009). Opções de utilização da biomassa florestal no contexto energético de Portugal. Retrieved April 4, 2015, from [http://paginas.fe.up.pt/~em03072/index\\_files/Tese\\_LuisTeixeira.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~em03072/index_files/Tese_LuisTeixeira.pdf)
- ThermoWatt. (2013). Qual o melhor sistema de aquecimento central para a minha casa ? Escolha primeiro o tipo de energia que vai utilizar ;, 1–11. Retrieved from

[http://www.thermowatt.pt/linked/qual\\_o\\_melhor\\_sistema\\_de\\_aquecimento\\_central\\_p  
ara\\_a\\_minha\\_casa.pdf](http://www.thermowatt.pt/linked/qual_o_melhor_sistema_de_aquecimento_central_para_a_minha_casa.pdf)

TRIU. (2015). Ficha de equipamento Contentor metálico.

UTIRE. (2014). Sistema tarifário - UTIRE.

Zantia. (2015a). ACESSÓRIOS Controlo de Nível para Silos, 2199.

Zantia. (2015b). Acessórios Transporte de combustível, 125.

Zantia. (2015c). Ciclone Quioto, 2500.

Zantia. (2015d). MANUAL DE INSTALAÇÃO.

Zantia. (2015e). Módulo Gestão Interativa, 2199.

Zantia. (2015f). Quadro automático PLC, 2500.

Zantia. (2015g). Quioto ficha técnica do produto.

Zantia. (2015h). Quioto Industrial, ZANTIA. Retrieved from  
<http://www.zantia.com/products/?product=286>

Zantia. (2015i). Silo Flexível, 28.



# Anexos

## Anexo A - Determinações laboratoriais

### Determinação do teor de azoto

Para a realização desta determinação laboratorial, na avaliação do teor de azoto dos *pellets*, é usado o Método de Kjeldahl. Neste método, o procedimento pode ser dividido em duas partes, na primeira é usado o Digestor de Kjeldahl (Figura A. 1) e na segunda parte é usado um destilador (Figura A. 2). Nesta primeira determinação seguiu-se o procedimento seguinte:

1. Pesar duas amostras secas de *pellets* com aproximadamente ( $0,05 \pm 0,001$  g).
2. Ligar a água de refrigeração e o exaustor no Hotte.
3. Arranjar seis tubos de Kjeldahl e colocá-los no Digestor de Kjeldahl e, adicionar nestes tubos, 25 mL de água destilada, com ajuda de uma proveta.
4. As amostras contidas nos cadinhos são colocadas, em cada um dos dois tubos de Kjeldahl. \*
5. Medir numa proveta 12 mL de ácido sulfúrico concentrado a 97%, e adicionar o ácido a cada um dos seis tubos de Kjeldahl.
6. Com a ajuda de um conta-gotas, adicionar 6 a 8 gotas de octanol em cada um dos três tubos.

7. Adicionar duas pastilhas de Kjeldahl em cada um dos três tubos, funcionando como catalisador.
8. Colocar uma concha de esferas de vidro em cada um dos seis tubos, para controlar a ebulição.
9. Fechar a tampa e ligar o Digestor de Kjeldahl, durante 30 minutos a 180 °C.
10. Após este tempo, efetuar quatro incrementos de temperatura, os primeiros três incrementos são de 40 °C em 15 min, entre 240 °C e 320 °C. O 4º incremento de temperatura dura 2 horas a 380 °C.
11. Finalmente, desligar o Digestor de Kjeldahl, deixar os tubos arrefecerem totalmente e fechar a água de refrigeração.

\*Nota: Nestes seis tubos, apenas três são relevantes para a execução da determinação, os restantes auxiliam o correto funcionamento do Digestor de Kjeldahl. Dois tubos conterão as amostras, denominados por tubo 1 e 2, respetivamente, e o 3º tubo será denominado por branco, ou referência, dada a ausência de amostra.

Na 2ª parte do Método de Kjeldahl, executaram-se as seguintes etapas:



Figura A. 1 – Digestor de Kjeldahl.



Figura A. 2 – Destilador.

1. Depois dos tubos arrefecidos, com o auxílio de uma proveta, adicionar 75 mL de água destilada em cada um dos três tubos.
2. Noutro tubo de Kjeldahl, adicionar 100 mL de água destilada, com auxílio de uma proveta (tubo de limpeza do destilador).
3. Colocar no destilador este tubo e um matraz de 250 mL, devidamente posicionados.
4. Premir o comutador de destilação até começar a formar vapor, iniciando o procedimento.

5. Depois de terminado, esperar que o conteúdo do tubo pare de refluir e retirá-lo com luvas para o suporte de tubos de Kjeldahl, bem como o matraz.
6. Em seguida, com o auxílio de um doseador automático, colocar 25 mL de ácido bórico a 4% (m/m) e adicionar 4 gotas de indicador misto num matraz de 250 mL.
7. Colocar este matraz no destilador bem como um dos três tubos do ensaio. Pressionar o comando de bombagem de solução de NaOH (hidróxido de sódio) a 40% (m/m) 2 vezes, antes de acionar a produção de vapor automática, iniciando o procedimento.
8. Quando terminado o ensaio e depois do conteúdo do tubo parar de refluir, retirar o tubo quente com as luvas e o respectivo matraz.
9. Repetir o procedimento de limpeza do sistema com o mesmo tubo da limpeza.
10. Repetir as etapas 3 a 8 atrás descritas, para os restantes dois tubos do ensaio, efetuando a limpeza do sistema após cada ensaio, para não haver contaminação entre amostras. Cada tubo tem o seu próprio matraz de 250 mL (Figura A. 3).
11. Os três tubos de ensaio são despejados num depósito de resíduos.
12. Titular os matrizes, com uma bureta num suporte (Figura A. 4), utilizando a solução aquosa de HCl (ácido clorídrico) para verificar a alteração de tonalidade verde ténue para rosa ténue (Figura A. 5). Registrando os volumes necessários de HCl para esta alteração cromática para cada um dos três matrizes.



Figura A. 3 – Tubos de Kjeldahl e matrizes.



Figura A. 4 – Bureta para titulação.



Figura A. 5 – Antes e após a titulação, respetivamente.

Neste ensaio obtiveram-se os seguintes resultados:

- $m_{amostra\ 1} = 0,0504\ g$

- $m_{amostra\ 2} = 0,0514\ g$
- $Concentração\ molar\ (HCl) = 0,1083\ mol\ L^{-1}$

Tubo do branco:

- $Volume\ HCl_{inicial} = 0,5\ mL$
- $Volume\ HCl_{final} = 0,7\ mL$
- $Volume\ HCl_{total} = 0,7 - 0,5 = 0,2\ mL$

Tubo de amostra 1:

- $Volume\ HCl_{inicial} = 0,7\ mL$
- $Volume\ HCl_{final} = 1,2\ mL$
- $Volume\ HCl_{total} = 1,2 - 0,7 = 0,5\ mL$

Tubo de amostra 2:

- $Volume\ HCl_{inicial} = 1,2\ mL$
- $Volume\ HCl_{final} = 1,7\ mL$
- $Volume\ HCl_{total} = 1,7 - 1,2 = 0,5\ mL$

Para o cálculo do teor de azoto (N) pelo método de Kjeldahl, respeita-se a seguinte equação para cada uma das amostras:

$$\begin{aligned}
 N\ Kjeldahl\ 2 &= \frac{(V_{Ta} - V_b) \times N \times 14,007 \times 100}{m_{amostra\ 2} \times 1000} \\
 &= \frac{(0,5 - 0,2) \times 0,1083 \times 14,007 \times 100}{0,0514 \times 1000} = \mathbf{0,89\ \%}
 \end{aligned}$$

(A.1)

Sendo:

- $V_{Ta} = Volume\ HCl_{total}$  adicionado ao tubo com amostra.
- $V_b = Volume\ HCl_{total}$  adicionado ao tubo do branco.
- $N = Concentração\ molar\ (HCl) = 0,1083\ mol\ L^{-1}$
- $14,007\ g/mol = Massa\ molar$  de HCl.

Conclui-se que a amostra seca de *pellets* tem um teor de azoto de **0,9 %**.

## Determinação do teor de carbono

Para a realização desta determinação experimental do teor de carbono dos *pellets*, foi necessário o uso do equipamento TOC-SSM (*Total Organic Carbon Analyser – Solid Sample Module*), como podemos ver na Figura A. 6. Esta determinação pode ser dividida em duas operações, determinação do carbono total (TC – *Total Carbon*) e do carbono inorgânico (IC – *Inorganic Carbon*).



Figura A. 6 – TOC-SSM (*Total Organic Carbon analyser – Solid Sample Module*).



Figura A. 7 – Balança analítica de precisão.

Na determinação do TC foram cumpridas algumas tarefas, tais como:

1. Ligar a botija de oxigênio corresponde ao equipamento.
2. Definir a pressão de oxigênio no equipamento, correspondente a 300 kPa.
3. Programar o equipamento até o forno TC atingir os 900 °C e o forno IC atingir os 200 °C. Durou cerca de 20 minutos.
4. Pesas a amostra de *pellets* numa balança analítica de precisão (Figura A. 7), de forma a rondar os 0,020 g, secá-la na estufa e colocá-la numa barquinha refractária.
5. Colocar a barquinha com a amostra no equipamento e seguir as instruções para o seu correto funcionamento. A operação durou cerca de 7 minutos.
6. Quando a operação termina, mover o manipulador para “cooling” de modo a que a barquinha arrefeça e registar os valores.

Esta operação foi repetida mais duas vezes para confirmação dos resultados, com massa de amostra idêntica, obteve-se os valores de concentração de carbono idênticos.

Para a determinação do IC, como o equipamento já possui os fornos aquecidos à temperatura necessária, devido a anteriormente ser realizada a operação de TC, foram cumpridas as seguintes tarefas:

1. Pesar a amostra de *pellets* de forma a rondar os 0,020 g e colocá-la numa barquinha.
2. Colocar a barquinha com a amostra no equipamento, efetuar 2 bombadas de ácido fosfórico 0,5 N e, seguir as instruções para o seu correto funcionamento. A operação durou cerca de 7 minutos.
3. Quando a operação terminar, mover o manípulo para “cooling” de modo a arrefecer a barquinha e registar os valores.

Esta operação foi também repetida mais duas vezes para confirmação dos resultados, com massa de amostra idêntica, obteve-se valores de concentração de carbono também idênticos.

Concluindo, os resultados obtidos nesta determinação levaram a um valor percentual de carbono, de amostra seca, de **46,28 %**.

### Determinação do teor de humidade

Para a realização desta determinação experimental do teor de humidade dos *pellets*, foram cumpridas várias etapas, tais como:

1. Secar um cadinho em mufla (Figura A. 8) a 550 °C durante 30 minutos. Mas como demora a aquecer e a arrefecer na mufla durante 30 minutos cada, esta etapa durou cerca de 1h30.
2. De seguida, com as devidas proteções, como as luvas e a tenaz, colocar o cadinho a arrefecer dentro de um exsiccador, cerca de 15 minutos até totalmente arrefecido. O exsiccador contém um material na base para absorver humidade, permitindo uma secagem mais eficiente.
3. Quando arrefecido, pesar o cadinho numa balança analítica de precisão.
4. Colocar a amostra de *pellets* no cadinho e voltar a pesar na balança analítica de precisão. A quantidade de amostra selecionada teve como base a amostra escolhida para o ensaio experimental na determinação do poder calorífico superior (PCS), ou seja,  $(0,50 \pm 0,01 \text{ g})$  de amostra.

5. Após pesado e anotado o valor, levar o cadinho com a amostra à estufa (Figura A. 9) a uma temperatura de 105 °C, durante 2 horas.
6. Retirar, com as luvas e a tenaz, o cadinho com a amostra que é deixado novamente no exsiccador a arrefecer, durante 15 minutos.
7. Depois de arrefecido, pesar o cadinho com a amostra, na balança analítica de precisão.



Figura A. 8 – Mufla.



Figura A. 9 – Estufa.

Após a 3<sup>a</sup> e a 4<sup>a</sup> etapas, obtém-se respetivamente:

$$\begin{array}{l}
 \bullet \quad m_{\text{cadinho}} = 24,5459 \text{ g} \\
 \bullet \quad m_{\text{amostra}} = 0,5030 \text{ g}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \bullet \\ \bullet \end{array}} \right\} m_{\text{cadinho} + \text{amostra}} = 24,5459 + 0,5030 = 25,0489 \text{ g}$$

Após a 7<sup>a</sup> etapa, a ida à estufa, verifica-se:  $m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}} = 25,0251 \text{ g}$ .

Pode-se saber ainda que o valor da massa da amostra seca é:

$$m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}} - m_{\text{cadinho}} = 25,0251 - 24,5459 = 0,4792 \text{ g} \tag{A.2}$$

Assim, consegue-se determinar o teor de humidade a partir dos seguintes cálculos:

$$\begin{aligned}
 \text{teor de humidade (\%)} &= \frac{m_{\text{cadinho} + \text{amostra}} - m_{\text{cadinho} + \text{amostra seca}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \\
 &= \frac{25,0489 - 25,0251}{0,5030} \times 100 = 4,7 \text{ \%}
 \end{aligned} \tag{A.3}$$

## Determinação do teor de cinzas

Para a realização desta determinação experimental do teor de cinzas dos *pellets*, foram cumpridas etapas idênticas às da sequência do procedimento anterior, tais como:

1. Levar o cadinho com amostra seca à mufla a 550 °C durante 1 hora. Mas como demora a aquecer e a arrefecer na mufla durante 15 minutos cada, esta etapa durou cerca de 1h30.
2. Após a etapa anterior, o cadinho contém cinzas da amostra (Figura A. 10), este é levado ao exsiccador para arrefecer, cerca de 15 minutos.
3. Depois de o cadinho com as cinzas estar arrefecido, pesar na balança analítica de precisão.

Após a pesagem, obteve-se o seguinte valor:

- $m_{\text{cadinho} + \text{cinzas}} = 24,5479 \text{ g}$

Consegue-se assim determinar o teor de cinzas da amostra através dos seguintes cálculos:

$$\begin{aligned} \text{teor de cinzas (\%)} &= \frac{m_{\text{cadinho} + \text{amostra queimada}} - m_{\text{cadinho}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \\ &= \frac{24,5479 - 24,5459}{0,5030} \times 100 \cong \mathbf{0,4 \%} \end{aligned}$$

(A.4)

Com estes dois experimentos, verifica-se que esta amostra de *pellets* contém muito pouca humidade (4,732 %) e poucas cinzas (0,4 %).



Figura A. 10 – Cinzas resultantes da queima na mufla de uma amostra de *pellets*.

## Determinação do Poder Calorífico Superior (PCS)

Esta determinação respeitou o procedimento descrito na norma EN 14918 (2009), utilizando-se uma bomba calorimétrica (Figura A. 11) para a sua determinação. O objetivo desta experiência é determinar o poder calorífico superior da amostra de *pellets*. No entanto, para esta se poder realizar, foram cumpridos os seguintes passos:

1. Enchimento do depósito de água da bomba calorimétrica com 2 L de água destilada e sua colocação na bomba calorimétrica.
2. Utilização de uma pipeta eletrônica para medição de 1 mL de água destilada, para adicionar na bomba de ignição (onde se dará a ignição da amostra).
3. Seleção da amostra de *pellets* para um peso correspondente a  $(0,50 \pm 0,01 \text{ g})$ , pesada numa balança analítica de precisão e colocada numa cápsula de combustível.
4. Adição de metade de uma pastilha de ácido benzoico na cápsula de combustível.
5. Medição e corte de um fio condutor de níquel com 10 cm.
6. Colocação do fio condutor entre os dois eléctrodos, em contacto com a cápsula de combustível.
7. Garantia do contacto do fio condutor com a amostra de *pellets* e a pastilha de ácido benzoico, para dar a ignição na bomba calorimétrica.
8. Precaução para selar devidamente a tampa da bomba de ignição. \*
9. Ativação da botija de oxigênio correspondente para carregar a bomba de ignição, lentamente, com oxigênio a 30 atm, com o devido cuidado de despressurizar a válvula de pressurização antes de a remover da bomba de ignição.
10. Colocação dos fios de ignição nos seus respetivos terminais, no topo da bomba de ignição.
11. Colocação da tampa da bomba calorimétrica, fechando-a devidamente.
12. Ativação do agitador mecânico, com o devido elástico para promover o seu funcionamento.
13. Programação da bomba calorimétrica.

\*Nota: A tampa da bomba de ignição deve ser muito bem fechada, de forma a quando esta for colocada no depósito de água destilada (sem comprometer o contacto do fio condutor com a amostra e a pastilha) não sejam verificadas bolhas de ar a sair da bomba de ignição.



Figura A. 11 – Bomba calorimétrica.

No entanto, se forem verificadas bolhas a sair da bomba de ignição, é necessário remover a bomba de ignição do depósito de água e abrir a válvula de pressão da bomba de ignição para realizar a sua despressurização. Com isto, pode-se abrir a tampa da bomba de forma segura, e assim, repetir os passos 3, 4, 6, 7, 8 e 9, de maneira que a bomba de ignição esteja corretamente fechada, para que na sua submersão não se verifique saída de bolhas de ar novamente.

Depois de ativada a bomba calorimétrica, é necessário aguardar cerca de 15 min para obter o valor do poder calorífico superior final. Assim, com este valor, consegue-se achar o valor do poder calorífico superior da amostra, através da seguinte fórmula:

$$PCS_{final} \times m_{final} = PCS_{amostra} \times m_{amostra} + PCS_{ácido\ benzoico} \times m_{ácido\ benzoico} \quad (A.5)$$

Sendo:

$$m_{final} = m_{amostra} + m_{ácido\ benzoico} = 0,5015 + 0,5799 = 1,0814\ g \quad (A.6)$$

Nota:

- $PCS_{final}$  = Valor obtido no fim da experiência, após 15 min de funcionamento da bomba calorimétrica.
- $PCS_{ácido\ benzoico} = 6311,2213\ cal\ g^{-1}$  (valor padronizado).
- $m_{amostra}$  e  $m_{ácido\ benzoico}$  são os valores registados pela balança analítica de precisão da amostra e pastilha de ácido benzoico usados no experimento, respetivamente.

Assim:

$$PCS_{amostra} = \frac{PCS_{final} \times m_{final} - PCS_{\text{ácido benzoico}} \times m_{\text{ácido benzoico}}}{m_{amostra}}$$
$$PCS_{amostra} = \frac{5638,9578 \times 1,0814 - 6311,2213 \times 0,5799}{0,5015} = 4861,5986 \text{ cal g}^{-1}$$

(A.7)

Decidiu-se fazer novamente o experimento para comparação do valor obtido, sendo assim, repetiu-se as mesmas etapas descritas acima, com a obtenção destes valores:

- $m_{amostra} = 0,5089 \text{ g}$
- $m_{\text{ácido benzoico}} = 0,5744 \text{ g}$
- $m_{final} = m_{amostra} + m_{\text{ácido benzoico}} = 0,5089 + 0,5744 = 1,0833 \text{ g}$
- $PCS_{final} = 5690,7705 \text{ cal g}^{-1}$
- $PCS_{\text{ácido benzoico}} = 6311,2213 \text{ cal g}^{-1}$

Assim:

$$PCS_{amostra} = \frac{PCS_{final} \times m_{final} - PCS_{\text{ácido benzoico}} \times m_{\text{ácido benzoico}}}{m_{amostra}}$$
$$PCS_{amostra} = \frac{5690,7705 \times 1,0833 - 6311,2213 \times 0,5744}{0,5089} = 4990,4622 \text{ cal g}^{-1}$$

(A.8)

Sendo assim, considerou-se o valor do poder calorífico superior da amostra como o valor médio entre estes dois valores de  $PCS_{amostra}$ :

$$PCS_{amostra} \approx 4926,0 \text{ cal g}^{-1}$$

Com este resultado, corresponde a um poder calorífico superior (PCS) de **20,624 MJ/kg**.

## Anexo B – Demonstração e comparação de resultados laboratoriais

Face aos ensaios experimentais realizados, para determinar características dos *pellets* tais como: teor de humidade, teor de cinzas, poder calorífico superior, teor em carbono e teor em azoto, é necessário comparar estes resultados com as especificações técnicas fixadas na norma europeia de referência para usos industriais. Sendo assim, na Tabela B. 1 encontram-se as especificações para os *pellets*, de acordo com a norma europeia BS EN 14961-1 (Alakangas et al., 2009).

Tabela B. 1 – Especificações para os *pellets* segundo a norma BS EN 14961-1 (Alakangas et al., 2009).

BS EN 14961-1	
<b>Valor Térmico</b>	Valor mínimo a ser definido.
<b>Massa volúmica</b>	mín. 550 kg/m <sup>3</sup>
<b>Teor de água</b>	máx. 15%
<b>Teor de cinzas</b>	máx. 10% <sup>1)</sup>
<b>Comprimento</b>	3,15 mm ≤ Comp. ≤ 50 mm
<b>Diâmetro</b>	(6 mm ± 1,0 mm) ≤ Diâm. ≤ (25 mm ± 1,0 mm)
<b>Teor de finos</b>	máx. 5% <sup>2)</sup>

Nota: <sup>1)</sup> Teor de cinzas a 550 ± 10 °C (ECS, 2005); <sup>2)</sup> Partículas < 3,15 mm.

Para haver também uma comparação a nível nacional, face aos resultados obtidos nos ensaios experimentais, foram selecionadas as especificações técnicas dos *pellets* da empresa Gesfinu, do fornecedor escolhido para alimentar as caldeiras deste projeto, como se pode verificar na Tabela B. 2:

Tabela B. 2 – Especificações para os *pellets* da empresa Gesfinu (Gesfinu, 2015).

Parâmetro	Resultado	Unidades
Diâmetro	4 a 10	mm
Densidade	600	kg/m <sup>3</sup>
Cinzas	< 1,5	%
Poder calorífico inferior	17	MJ/kg
Humidade	< 10	%

Posto isto, as especificações técnicas da amostra de *pellets* usada nos ensaios laboratoriais,

com base nos resultados obtidos, em comparação com as das tabelas anteriores, são as seguintes (Tabela B. 3):

Tabela B. 3 – Comparação de resultados da amostra de *pellets* com as especificações técnicas da norma BS EN 14961-1 e da empresa *Pinewells*.

—	Amostra	BS EN 14961-1	Gesfinu
<b>Diâmetro (mm)</b>	6	6 a 25	4 a 10
<b>Teor de humidade (%)</b>	4,7	15 (máx)	< 10
<b>Teor de cinzas (%)</b>	≅ 0,4	10 (máx)	< 1,5
<b>Poder calorífico inferior (MJ/kg)</b>	19,013 *	Valor mínimo a ser definido.	17
<b>Poder calorífico superior (MJ/kg)</b>	20,624	—	—
<b>Teor em carbono (%)</b>	46,28	—	—
<b>Teor em azoto (%)</b>	0,9	—	—

\* - Calculado no Anexo C.

Posto isto, face aos resultados obtidos nos experimentos com a amostra, comparativamente com as duas diferentes especificações anteriores, pode-se constatar que os *pellets* da amostra usada têm: o mesmo diâmetro, muito menor teor de humidade e menor teor de cinzas do que as especificações referenciadas.

O valor do poder calorífico superior é inversamente proporcional ao valor do teor de humidade. Por isso, o facto do poder calorífico superior da amostra de *pellets* ser superior às especificações da empresa Gesfinu deve-se, ao baixo teor de humidade obtido na amostra de *pellets* caracterizada, comparativamente ao dos *pellets* da empresa.

## Anexo C – Poder Calorífico Inferior (PCI)

Para saber a quantidade de teps (toneladas equivalentes de petróleo) provenientes do uso dos *pellets*, como combustível das caldeiras a implementar, para fazer a comparação com os teps provenientes do uso do gás natural, nas caldeiras atuais, é necessário determinar o PCI (poder calorífico inferior) dos *pellets*. Para isto, é necessário usar a Fórmula de Dulong, respectivamente para o caso dos combustíveis sólidos, especificamente para a amostra de *pellets* analisada (Machado, 2012):

$$\text{PCI (kcal/kg)} = 8080 \times C + 29000 \times \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 2250 \times S - 589 \times \left[ h + \left( 9 \times \frac{O_2}{8} \right) \right] \quad (\text{C.1})$$

Sendo:

- C – Percentagem de carbono da amostra de *pellets*;
- H<sub>2</sub> – Percentagem de hidrogênio da amostra de *pellets*;
- O<sub>2</sub> – Percentagem de oxigênio da amostra de *pellets*;
- S – Percentagem de enxofre da amostra de *pellets*;
- h – Percentagem de humidade da amostra de *pellets*.

Nota:

- Não há enxofre (o valor é desprezável) na amostra de *pellets*.
- Os valores de H e O, embora não calculados neste projeto experimentalmente, foram considerados por análises laboratoriais anteriores com a mesma amostra de *pellets*.

Existem os seguintes dados para o cálculo da equação anterior:

- C = 46,28%
- H<sub>2</sub> = (2 × 8,05%)
- O<sub>2</sub> = (2 × 44,74%)
- h = 4,7%

Sendo assim, o valor de PCI da amostra de *pellets* pode ser calculado, resultando no seguinte valor:

$$\begin{aligned} \text{PCI (kcal/kg)} &= 8080 \times 0,4628 + 29000 \times \left( 2 \times 0,0805 - \frac{(2 \times 0,4474)}{8} \right) + 0 - 589 \\ &\times \left[ 0,047 + \left( 9 \times \frac{(2 \times 0,4474)}{8} \right) \right] \\ \text{PCI (kcal/kg)} &= 4544,17 \end{aligned} \quad (\text{C.2})$$

Como resultado final, obtém-se um PCI de 2176,31 kcal/kg. Mas, para maior facilidade em comparação de valores, é preferível obter um PCI nas unidades de MJ/kg. Logo, equivale a um **PCI = 19,013 MJ/kg**.

Analisando resultados anteriores, pela determinação laboratorial do PCS (poder calorífico superior) da amostra, obteve-se 20,624 MJ/kg, o que mostra um valor próximo ao recente calculado PCI = 19,013 MJ/kg.

## Anexo D – Avaliação económico-financeira do projeto

### Cenário 1 e 2 (Caldeiras Quioto 150 kW)

Neste anexo serão apresentados os mapas dos *cash-flows* correspondentes aos valores dos indicadores financeiros respetivos para cada cenário, tanto na situação de investimento com as caldeiras de 150 kW como para as caldeiras de 400 kW. Em seguida são apresentados os mapas dos *cash-flows* respetivos para os cenários 1 e 2 com as caldeiras de 150 kW (Tabela D. 1 e Tabela D. 2):

Tabela D. 1 – Mapa dos *cash-flows* para o cenário 1 (Quioto 150 kW) - investimento a 100% inicial.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	343 494,83 €										
CFE		79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €
CFEa		76 746,38 €	74 511,05 €	72 340,82 €	70 233,81 €	68 188,16 €	66 202,10 €	64 273,88 €	62 401,83 €	60 584,30 €	58 819,71 €
CFG	-343 494,83 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €
CFGa	-343 494,83 €	76 746,38 €	74 511,05 €	72 340,82 €	70 233,81 €	68 188,16 €	66 202,10 €	64 273,88 €	62 401,83 €	60 584,30 €	58 819,71 €

Tabela D. 2 – Mapa dos *cash-flows* para o cenário 2 (Quioto 150 kW) – investimento inicial 25% e 75% de financiamento bancário.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	343 494,83 €										
Juros		7 728,63 €	7 054,46 €	6 360,06 €	5 644,83 €	4 908,15 €	4 149,36 €	3 367,81 €	2 562,81 €	1 733,66 €	879,64 €
CFE		71 320,14 €	71 994,31 €	72 688,71 €	73 403,94 €	74 140,62 €	74 899,41 €	75 680,96 €	76 485,96 €	77 315,11 €	78 169,13 €
CFEa	- €	69 242,85 €	67 861,54 €	66 520,46 €	65 218,45 €	63 954,35 €	62 727,08 €	61 535,55 €	60 378,72 €	59 255,59 €	58 165,17 €
CFG	-343 494,83 €	71 320,14 €	71 994,31 €	72 688,71 €	73 403,94 €	74 140,62 €	74 899,41 €	75 680,96 €	76 485,96 €	77 315,11 €	78 169,13 €
CFGa	-343 494,83 €	69 242,85 €	67 861,54 €	66 520,46 €	65 218,45 €	63 954,35 €	62 727,08 €	61 535,55 €	60 378,72 €	59 255,59 €	58 165,17 €

## Cenário 1 e 2 (Quioto 400 kW)

Em seguida são apresentados os mapas dos *cash-flows* respectivos para os cenários 1 e 2 com as caldeiras de 400 kW (Tabela D. 3 e Tabela D. 4).

Tabela D. 3 – Mapa dos *cash-flows* para o cenário 1 (Quioto 400 kW) - investimento a 100% inicial.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	423 958,08 €										
CFE		79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €
CFEa		76 746,38 €	74 511,05 €	72 340,82 €	70 233,81 €	68 188,16 €	66 202,10 €	64 273,88 €	62 401,83 €	60 584,30 €	58 819,71 €
CFG	-423 958,08 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €	79 048,77 €
CFGa	-423 958,08 €	76 746,38 €	74 511,05 €	72 340,82 €	70 233,81 €	68 188,16 €	66 202,10 €	64 273,88 €	62 401,83 €	60 584,30 €	58 819,71 €

Tabela D. 4 – Mapa dos *cash-flows* para o cenário 2 (Quioto 400 kW) – investimento inicial 25% e 75% de financiamento bancário.

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CFI	423 958,08 €										
Juros		9 539,06 €	8 706,96 €	7 849,90 €	6 967,13 €	6 057,87 €	5 121,34 €	4 156,71 €	3 163,15 €	2 139,77 €	1 085,70 €
CFE		69 509,71 €	70 341,81 €	71 198,87 €	72 081,64 €	72 990,90 €	73 927,43 €	74 892,06 €	75 885,62 €	76 909,00 €	77 963,07 €
CFEa	- €	67 485,16 €	66 303,90 €	65 157,05 €	64 043,60 €	62 962,59 €	61 913,06 €	60 894,09 €	59 904,81 €	58 944,34 €	58 011,85 €
CFG	-423 958,08 €	69 509,71 €	70 341,81 €	71 198,87 €	72 081,64 €	72 990,90 €	73 927,43 €	74 892,06 €	75 885,62 €	76 909,00 €	77 963,07 €
CFGa	-423 958,08 €	67 485,16 €	66 303,90 €	65 157,05 €	64 043,60 €	62 962,59 €	61 913,06 €	60 894,09 €	59 904,81 €	58 944,34 €	58 011,85 €

### Mapas de serviço de dívida

Neste anexo, são apresentados os mapas de serviço de dívida para as duas situações de investimento, para as caldeiras de 150 kW e para as de 400 kW. Estes mapas de serviço de dívida permitem visualizar e calcular as prestações e encargos financeiros (juros) a pagar, de forma a liquidar o empréstimo de 75% do investimento total do projeto, com uma taxa anual de 3%. Sendo assim, podemos visualizar nas tabelas (Tabela D. 5 e Tabela D. 6) os mapas de serviço de dívida calculados para o projeto, para os cenários com empréstimo ao banco, para as caldeiras de 150 kW e caldeiras de 400 kW, respetivamente.

As prestações e a amortização do capital foram calculadas da seguinte forma:

$$T (\text{€}) = \frac{\text{Empréstimo (€)}}{\frac{(1 - (1 + T. \text{juros anual}(\%))^{-10})}{T. \text{juros anual}(\%)}}$$

(D.1)

$$\text{Am. Cap. (€)} = \frac{\text{Empréstimo (€)}}{\frac{((1 + T. \text{juros anual}(\%))^{10} - 1)}{T. \text{juros anual}(\%)}}$$

(D.2)

$$\text{Juros (€)} = \text{Cap. Dív. in. (€)} \times T. \text{juros anual}(\%)$$

(D.3)

$$\text{Cap. Am.}_n (\text{€}) = \text{Am. Cap.}_n + \text{Cap. Am.}_{n-1} (\text{€})$$

(D.4)

$$\text{Cap. Dív. fin.}_n (\text{€}) = \text{Cap. Dív. in.}_0 (\text{€}) - \text{Cap. Am.}_n (\text{€})$$

(D.5)

Em que:

- T = prestação;
- Am. Cap. = amortização do capital;
- Cap. Am. = capital amortizado.

Tabela D. 5 – Mapa de serviço de dívida do projeto com caldeiras Quioto de 150 kW.

Vida útil	Capital Dívida Inicial	Encargos Financeiros (Juros)	Prestação	Amortização Capital	Capital Amortizado	Capital Dívida Final
0	257 621,12 €	-	-	-	- €	257 621,12 €
1	257 621,12 €	7 728,63 €	30 201,05 €	22 472,42 €	22 472,42 €	235 148,70 €
2	235 148,70 €	7 054,46 €	30 201,05 €	23 146,59 €	45 619,01 €	212 002,11 €
3	212 002,11 €	6 360,06 €	30 201,05 €	23 840,99 €	69 460,01 €	188 161,12 €
4	188 161,12 €	5 644,83 €	30 201,05 €	24 556,22 €	94 016,23 €	163 604,89 €
5	163 604,89 €	4 908,15 €	30 201,05 €	25 292,91 €	119 309,13 €	138 311,99 €
6	138 311,99 €	4 149,36 €	30 201,05 €	26 051,69 €	145 360,83 €	112 260,29 €
7	112 260,29 €	3 367,81 €	30 201,05 €	26 833,25 €	172 194,08 €	85 427,05 €
8	85 427,05 €	2 562,81 €	30 201,05 €	27 638,24 €	199 832,32 €	57 788,80 €
9	57 788,80 €	1 733,66 €	30 201,05 €	28 467,39 €	228 299,71 €	29 321,41 €
10	29 321,41 €	879,64 €	30 201,05 €	29 321,41 €	257 621,12 €	- €
<b>Total</b>		44 389,42 €				
It	343 494,83 €					
Empréstimo (€)	257 621,12 €					
Cap. Próprio (€)	85 873,71 €					

Tabela D. 6 – Mapa de serviço de dívida do projeto com caldeiras Quioto de 400 kW.

Vida útil	Capital Dívida Inicial	Encargos Financeiros (Juros)	Prestação	Amortização Capital	Capital Amortizado	Capital Dívida Final
0	317 968,56 €	-	-	-	- €	317 968,56 €
1	317 968,56 €	9 539,06 €	37 275,62 €	27 736,56 €	27 736,56 €	290 232,00 €
2	290 232,00 €	8 706,96 €	37 275,62 €	28 568,66 €	56 305,21 €	261 663,35 €
3	261 663,35 €	7 849,90 €	37 275,62 €	29 425,72 €	85 730,93 €	232 237,63 €
4	232 237,63 €	6 967,13 €	37 275,62 €	30 308,49 €	116 039,42 €	201 929,15 €
5	201 929,15 €	6 057,87 €	37 275,62 €	31 217,74 €	147 257,16 €	170 711,40 €
6	170 711,40 €	5 121,34 €	37 275,62 €	32 154,27 €	179 411,43 €	138 557,13 €
7	138 557,13 €	4 156,71 €	37 275,62 €	33 118,90 €	212 530,33 €	105 438,23 €
8	105 438,23 €	3 163,15 €	37 275,62 €	34 112,47 €	246 642,80 €	71 325,76 €
9	71 325,76 €	2 139,77 €	37 275,62 €	35 135,84 €	281 778,64 €	36 189,92 €
10	36 189,92 €	1 085,70 €	37 275,62 €	36 189,92 €	317 968,56 €	- €
<b>Total</b>		54 787,59 €				
It	423 958,08 €					
Empréstimo (€)	317 968,56 €					
Cap. Próprio (€)	105 989,52 €					

### Custos de energia elétrica das caldeiras Quioto 150 kW/400 kW

A totalidade de potência instalada nas caldeiras a gás natural, contabilizando apenas as caldeiras que ficam funcionais 15 horas/dia, ou seja 9 caldeiras, totaliza 2035 kW de potência nominal, apontando para um custo anual previsto de 7904,52 €/ano na fatura de eletricidade no ISEP. Enquanto o custo anual previsto para 6 caldeiras a *pellets* de 150 kW indicam um valor de 6.478,67 €/ano. Pode-se constatar na Tabela D. 7 seguinte:

Tabela D. 7 – Comparação faturas energéticas das diferentes caldeiras.

Comparação faturas energéticas		
Caldeiras	Potência Elec. Inst. (kW)	Faturas (€/ano)
Caldeiras 150 kW	6,6	6 478,67 €
Caldeiras 400 kW	6,6	6 478,67 €
Caldeiras GN	11,7	7 904,52 €

Nota: O valor associado para as caldeiras Quioto de 400 kW, do estudo de caso, é igual ao das caldeiras Quioto de 150 kW, porque apresentam valores de potência instalada iguais nos respetivos catálogos.

Estes valores da Tabela D. 7 anterior, foram usados no cálculo das receitas no capítulo 6, foram calculados com base no sistema tarifário de venda a clientes finais em Portugal Continental para 2015, publicadas pela ERSE (Tabela D. 8). Tendo a noção que na situação do ISEP remete-se para um nível de tensão de alimentação classificado como Média Tensão (MT), com tarifa de longas utilizações (> 5000 horas de utilização anuais) e tetra-horária, ou seja, difere em quatro períodos do dia: horas de ponta, cheia, vazio normal e super vazio. É também necessário contar com fatores como: o número de dias de utilização anual das caldeiras (133 dias, retirado a partir da Tabela 5.4), a última potência contratada constante nos registos de faturas de eletricidade do ISEP em 2014 (669 kW) e o período mensal estimado para a época de funcionamento das caldeiras (de Outubro a Março), que corresponde aos períodos I e IV no sistema tarifário.

Tabela D. 8 – Sistema tarifário para as caldeiras no ISEP (Adaptado de (ERSE, 2015)).

	€/mês	€/dia
TTF	46,28	1,5217
Encargos de Pot. Contr.	Longas Utilizações	
Potência	(€/kW.mês)	(€/kW.dia)
Contratada	1,516	0,0498
Horas de ponta	9,920	0,3261
Energia Ativa		€/kWh
Longas Utilizações (Período IV e I)	H. ponta	0,1335
	H. cheias	0,1048
	H. vazio n.	0,0739
	H. sup. Vazio	0,0631
Energia Reativa		€/kvArh
Indutiva	0,0263	
Capacitiva	0,0197	

Através desta tabela e dos dados necessários enunciados acima, é necessário ainda outro fator importante que auxiliará o cálculo da energia ativa e reativa, é a potência elétrica instalada pelas caldeiras, que no caso das caldeiras a *pellets*, tanto na de 150 kW como na de 400 kW, é de 1,10 kW por caldeira, correspondente ao acendimento automático das caldeiras (valor dos catálogos das Tabela 5.2 e Tabela 5.6). Já no caso das caldeiras a gás natural, como diferem quase todas de potência nominal, de marcas/modelos e de fornecedores, há falta de dados para conhecer a média deste fator. Por isso, para as caldeiras de gás natural, dadas as informações das caldeiras, assumiu-se um valor razoável de 1,30 kW de potência instalada por caldeira, como média para as 9 caldeiras (Biomassa & Industrial, 2015).

Para o cálculo da energia ativa consumida, face aos períodos IV e I correspondentes aos 6 meses de utilização das caldeiras (Outubro a Março), é necessário calcular o número de horas de ponta, de cheia, de vazio normal e de super vazio, com base nas 15 horas diárias de utilização das caldeiras (Tabela 5.4). Sendo assim, consulta-se o ciclo horário semanal no horário de Inverno para MT (média tensão) na Figura D. 2 seguinte, apenas para os dias úteis, resultando na Figura D.1 (UTIRE, 2014):

	horário de <b>Inverno</b>	horário de <b>Verão</b>
segunda a sexta		
ponta	das 09:30 às 12:00 das 18:30 às 21:00	das 09:15 às 12:15
cheias	das 07:00 às 09:30 das 12:00 às 18:30 das 21:00 às 24:00	das 07:00 às 09:15 das 12:15 às 24:00
vazio	das 00:00 às 07:00	das 00:00 às 07:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
sábados		
cheias	das 09:30 às 13:00 das 18:30 às 22:00	das 09:00 às 14:00 das 20:00 às 22:00
vazio	das 00:00 às 09:30 das 13:00 às 18:30 das 22:00 às 24:00	das 00:00 às 09:00 das 14:00 às 20:00 das 22:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
domingos		
vazio	das 00:00 às 24:00	das 00:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00

Figura D. 1 – Ciclo horário semanal para MT, AT (alta tensão) e MAT (muito alta tensão)  
(Adaptado de (UTIRE, 2014)).

	horário de <b>Inverno</b>	horário de <b>Verão</b>
segunda a sexta		
ponta	das 09:30 às 12:00 das 18:30 às 21:00	das 09:15 às 12:15
cheias	das 07:00 às 09:30 das 12:00 às 18:30 das 21:00 às 24:00	das 07:00 às 09:15 das 12:15 às 24:00
vazio	das 00:00 às 07:00	das 00:00 às 07:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
sábados		
cheias	das 09:30 às 13:00 das 18:30 às 22:00	das 09:00 às 14:00 das 20:00 às 22:00
vazio	das 00:00 às 09:30 das 13:00 às 18:30 das 22:00 às 24:00	das 00:00 às 09:00 das 14:00 às 20:00 das 22:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
domingos		
vazio	das 00:00 às 24:00	das 00:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00

Figura D. 2 – Ciclo horário semanal para MT, AT (alta tensão) e MAT (muito alta tensão)  
(Adaptado de (UTIRE, 2014)).

Tabela D. 9 – Ciclo horário semanal das caldeiras no ISEP.

Horário de Inverno	Ciclo horário (h)
ponta	5
cheia	10
vazio normal	0
super vazio	0

Sendo assim, já se consegue calcular a energia ativa correspondente para as caldeiras a 150 kW ou 400 kW (Tabela D. 10):

Tabela D. 10 – Energia ativa para as caldeiras de 150 kW/400 kW.

Pot. Elec. Inst. (kW)		6,6
Ea	kWh	€/dia
Ehp	33	4,41 €
Ehch	66	6,92 €
Ehv	0	- €
Ehsv	0	- €
Total	99	11,32 €

Com isto, calculou-se a energia reativa através da seguinte forma:

$$Er (\text{€/ano}) = (0,3 \times Ea + (Ehp + Ehch)) \times pEr \text{ capacitiva } (\text{€/kvArh}) \times \text{Dias/ano} \quad (\text{D.6})$$

Usou-se o preço da energia reativa capacitiva, que representa a energia reativa fornecida à rede no vazio, tal como é representado nas faturas de gás para o ISEP. Sendo assim, obtém-se a seguinte Tabela D. 11 que permite somar os fatores necessários para calcular a fatura anual dos custos de energia elétrica por parte das caldeiras 150 kW/400 kW:

Tabela D. 11 – Fatura de energia elétrica de 2015 para as caldeiras de 150 kW/400 kW.

Fatura (€/ano)	
TTF	202,39 €
PC	4 431,05 €
Php	2,15 €
Ea	1 505,87 €
Er	337,21 €
Fatura	6 478,67 €

O preço da PC (potência contratada) usa o último valor de potência contratada registada nas faturas de gás natural do ISEP, toma como valor de 669 kW. O preço da potência de horas de ponta foi calculado da seguinte forma:

$$Php (\text{€/ano}) = \frac{Ehp}{(\text{Dias/ano} \times hp(h/dia))} \times \text{Dias/ano} \times pEhp (\text{€/kw} \times dia)$$

(D.7)

### Custos de energia elétrica das caldeiras a gás natural no ISEP

Quanto aos cálculos efetuados para obter os custos de energia elétrica das caldeiras a gás natural, observados na Tabela D. 7 mais acima, seguiram a mesma metodologia dos cálculos anteriores, apenas alterando a potência elétrica instalada total por parte das 9 caldeiras a gás natural, todas elas diferentes. Assumiu-se assim, como já referido, um valor de potência elétrica instalada de 1,30 kW por caldeira, obtendo a seguinte energia ativa (Tabela D. 12):

Tabela D. 12 – Energia ativa para as caldeiras a gás natural no ISEP.

Pot. Elec. Inst. (kW)		11,7
Ea	kWh	€/dia
Ehp	58,5	7,81 €
Ehch	117	12,26 €
Ehv	0	- €
Ehsv	0	- €
Total	175,5	20,07 €

Com isto, e calculando a energia reativa e os restantes fatores necessários para o cálculo da fatura da mesma forma como anteriormente, obtém-se a seguinte Tabela D. 13 com o valor da fatura dos custos de energia elétrica para as respetivas caldeiras:

Tabela D. 13 – Fatura de energia elétrica de 2015 para as caldeiras a gás natural no ISEP.

Fatura (€/ano)	
TTF	202,39 €
PC	4 431,05 €
Php	3,82 €
Ea	2 669,49 €
Er	597,78 €
Fatura	7 904,52 €



## Anexo E – Calendarização do projeto

A prossecução dos objetivos enunciados no subtópico 1.2, conduziu à calendarização provisória apresentada na Tabela E. 2, de forma a conseguir uma melhor organização da realização da estrutura de trabalho. Esta tabela inclui um conjunto de tarefas, como por exemplo:

- Procura de livros relacionados com o tema;
- Elaboração de pesquisas temáticas;
- Pesquisa de legislação (decretos-lei e portarias) referente ao tema;
- Realização de experiências laboratoriais;
- Recolha de dados das caldeiras no ISEP;
- Recolha e análise das faturas energéticas do ISEP;
- Realização dos diversos capítulos do relatório.

Para uma melhor consulta da Tabela E. 2 a seguir, segue-se a sua legenda respetiva para uma observação mais conclusiva (Tabela E. 1):

Tabela E. 1 – Legenda da calendarização do projeto.

Legenda:	
Relatório preliminar	
Relatório de projeto	
Pesquisas e elaboração de dados	
Experiências laboratoriais	
Rectificações finais do relatório	

Tabela E. 2 – Calendarização do projeto.

Nome da Tarefa	Duração	Início	Fim	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª semana	6ª semana	7ª semana	8ª semana	9ª semana	10ª semana	11ª semana	12ª semana	13ª semana	14ª semana	15ª semana	16ª semana	17ª semana
Procura de livros e obras relacionadas com o tema	1 dia	Seg 23/02/15	Ter 24/02/15																	
Realização do relatório preliminar	23,88 dias	Ter 24/02/15	Sex 27/03/15																	
Construção do relatório de projeto	88,88 dias	Ter 24/02/15	Sex 26/06/15																	
Elaboração de pesquisas temáticas	1 sem	Ter 24/02/15	Ter 03/03/15																	
Pesquisa de legislações, decretos-lei e portarias referentes ao tema	1 dia	Ter 03/03/15	Qua 04/03/15																	
Compilação e elaboração dos dados recolhidos	1 sem	Qua 04/03/15	Qua 11/03/15																	
Realização de Resumo/Abstract, Índice e Introdução	2 dias	Qua 11/03/15	Sex 13/03/15																	
Estudo da produção de pellets	1 sem	Sex 13/03/15	Sex 20/03/15																	
Estudo dos processos termoquímicos	1 sem	Sex 20/03/15	Sex 27/03/15																	
Realização de experiências laboratorias	1 sem	Sex 27/03/15	Sex 03/04/15																	
Estudo de mercado	2 sems	Sex 03/04/15	Sex 17/04/15																	
Recolha de dados das caldeiras no ISEP	1 sem	Sex 17/04/15	Sex 24/04/15																	
Dimensionamento da caldeira	3 sems	Sex 24/04/15	Sex 15/05/15																	
Distribuição e armazenamento dos pellets	1 sem	Sex 15/05/15	Sex 22/05/15																	
Equipamentos necessários no projeto	1 sem	Sex 22/05/15	Sex 29/05/15																	
Avaliação Económico-Financeira	3 sems	Sex 29/05/15	Sex 19/06/15																	
Gestão Ambiental	1 dia	Sex 19/06/15	Seg 22/06/15																	
Conclusões	1 dia	Seg 22/06/15	Ter 23/06/15																	
Finalização e rectificação do relatório	3 dias	Ter 23/06/15	Sex 26/06/15																	