



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Avaliação dos consumos energéticos em instalações agropecuárias**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

### **Energy consumption evaluation in livestock facilities**

**Autor**

**Filipe José Marques Pereira**

**Orientador**

**Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Jorge Campos da Silva André  
Professor da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva  
Ribeiro  
Professor da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes  
Professor da Universidade de Coimbra

**Coimbra, setembro, 2016**



À minha Mãe,  
Onde quer que estejas, estarás sempre comigo.



## Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com o apoio e incentivo de algumas pessoas sem as quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Ao Professor Doutor Ricardo Mendes pelo total apoio, disponibilidade, dedicação, por toda a paciência que teve para comigo e por toda a ajuda prestada ao longo deste trabalho.

Ao Professor João Mendes pela disponibilidade e prontidão com que facilitou o acesso ao laboratório de Hidráulica do ISEC, para os ensaios de calibração do medidor de caudal.

Ao Senhor Hugo Henrique Figueiredo Batista por toda a disponibilidade e colaboração que sempre mostrou e por ter facilitado e proporcionado as condições necessárias para o acesso às suas instalações.

À empresa JSRIBEIRO pela disponibilidade e prontidão mostrada na conceção das peças para a prensa.

Aos colegas de laboratório pelo apoio, compreensão e ajuda prestada ao longo destes últimos meses.

Aos meus amigos pela energia, companheirismo e boa disposição em momentos de desânimo e por terem estado ao meu lado durante todo o meu percurso académico.

À minha namorada, Carolina, que sempre me apoiou e incentivou a continuar durante todo este percurso. Por todo o amor e carinho que nunca se desvaneceram ao longo de todos estes anos.

A toda a minha família, em especial, ao meu pai, à minha irmã e ao meu cunhado pelo apoio incondicional, incentivo, amizade, paciência e por estarem sempre presentes nos momentos bons e principalmente nos momentos menos bons que foram surgindo ao longo da minha vida.

Obrigado a todos por me acompanharem neste percurso.



## Resumo

A presente Dissertação de Mestrado tem como objetivo analisar os consumos energéticos numa instalação agropecuária, mais concretamente um aviário.

O presente estudo segue a sequência do que já foi estudado por diversos autores, salientando que ao longo dos anos, este tipo de instalações tem sofrido enormes alterações, tanto a nível das tecnologias usadas nas instalações como a nível do conhecimento da genética das aves. Estes dois fatores fazem com que a análise energética deste tipo de instalações apresente resultados díspares de estudos realizados há alguns anos.

Neste estudo pretende-se também avaliar a influência da temperatura exterior nos consumos energéticos da instalação.

Normalmente, a análise aos consumos energéticos é feita com base nos custos reais faturados, tanto de energia elétrica como de térmica. Neste caso, optou-se por uma monitorização dos consumos de energia elétrica e tempo de funcionamento da caldeira, ao minuto, levada a cabo por equipamentos de medida instalados no aviário.

Portanto, elaborou-se uma metodologia de cálculo para a obtenção da energia térmica consumida pela instalação com base no intervalo de tempo que a caldeira se encontrou parada. Para uma análise da energia térmica mais precisa, determinou-se experimentalmente o poder calorífico dos combustíveis tipicamente utilizados na instalação alvo de estudo. No que toca ao consumo de energia elétrica na instalação, o estudo foi realizado segundo medições efetuadas pelo medidor de energia instalado no quadro elétrico geral da instalação e segundo uma análise das faturas de eletricidade.

Foram realizadas duas medições para a análise da energia térmica, uma em maio/junho e outra em junho/julho. Na medição de maio/junho a caldeira funcionou durante 106 horas, registando-se uma temperatura média exterior de 15°C, enquanto na medição junho/julho a temperatura média registada foi na ordem dos 23°C, e a caldeira funcionou, aproximadamente, 30 horas.

No período de análise, os resultados obtidos a partir das medições realizadas, permitiram constatar que o consumo de energia elétrica, num ciclo de criação com 30000 aves, foi, aproximadamente, de 5000 kWh e o consumo de energia térmica foi cerca de 10000

kWh. Em relação ao consumo específico observou-se que no caso da energia elétrica, consumiu-se  $3.383 \times 10^{-5}$  tep/ave, enquanto de biomassa, foi consumido  $3.6 \times 10^{-5}$  tep/ave.

**Palavras-chave:** Análise de consumos energéticos, Aviário, Energia térmica, Energia elétrica, Poder calorífico, Consumo específico.

## **Abstract**

This Master's thesis aims to analyze the energy consumption in livestock facility, in this particular case a poultry farm.

This study follows the sequence of what have already been studied by several authors, underlining that over the years, this kind of production has undergone many changes, both in terms of technologies used in the facilities and the level of knowledge about the genetics of the birds. These two factors influences the energetic analysis of this kind of installation and it represents a huge contribution to explain the difference between the results obtained in this study, compared with studies conducted a few years ago.

Besides, this study aims to evaluate the influence of the outside temperatures on the energetic consumption.

Usually, the analysis of energy consumption is made based on the actual billed cost, as much electric energy as thermal energy. In this case, we opted for the monitoring of electricity consumption and boiler operating time, minute by minute, carried out by measuring equipment installed in the poultry farm.

In order to obtain the thermal energy consumed by the installation a methodology has been created based in the time interval that the boiler was stopped. To achieve a more accurate analysis of the thermal energy, experimental testing was carried out to get the heating value of fuel typically used in the installation of study. In what concerns the consumption of electric energy in the farm, the study was carried out following measurements in the electrical switchboard of the installation and analyzing the electricity bills.

Two measurements were carried out in order to analyse the thermal energy, one in May/June and another one in June/July. During the first measurement (in May/June) the boiler worked for 106 hours, while the average temperature outside was 15°C, while during the second measurement (in June/July) the average temperature outside was about 23°C and the boiler worked for approximately 30 hours.

During this period of analysis the results obtained by the measurements carried out lead to conclude that: the consumption of electric energy was approximately 5000kWh

and the consumption of thermal energy was about 10000kWh. Concerning the specific consumption we concluded that electric energy we spent is  $3.383 \times 10^{-5}$  toe per bird, while biomass we spent  $3.6 \times 10^{-5}$  toe per bird.

**Keywords** Analysis of energy consumption, Poultry farm, Thermal energy, Electric energy, Heating value, Specific consumption.

## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Simbologia e Siglas .....	xv
Simbologia.....	xv
Siglas .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ESTADO DA ARTE .....	3
2.1. Sector Energético e Políticas Ambientais .....	3
2.2. Combustíveis .....	5
2.2.1. Biomassa.....	6
2.3. Produção de Frangos em Aviário.....	9
2.4. Caldeiras a Biomassa .....	15
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS .....	17
3.1. Determinação Experimental do PCS/PCI .....	17
3.1.1. Teor de Humidade .....	18
3.1.2. Poder Calorífico Superior.....	18
3.1.3. Poder Calorífico Inferior .....	22
3.2. Caracterização da instalação agropecuária .....	22
3.2.1. Equipamentos da Instalação .....	23
3.3. Descrição do Processo Produtivo .....	26
3.4. Análise dos Consumos Energéticos .....	28
3.4.1. Análise da Energia Elétrica Consumida na Instalação .....	29
3.4.2. Análise da Energia Térmica Requerida pela Instalação .....	31
3.4.3. Indicadores Energéticos.....	34
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	37
4.1. Determinação Experimental do PCS/PCI .....	37
4.1.1. Teor de Humidade .....	37
4.1.2. Poder Calorífico Superior.....	38
4.1.3. Poder Calorífico Inferior .....	40
4.2. Análise dos Consumos Energéticos .....	42
4.2.1. Análise da Energia Elétrica Consumida na Instalação .....	42
4.2.2. Análise da Energia Térmica Requerida pela Instalação .....	46
4.2.3. Indicadores Energéticos.....	53
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
5.1. Conclusão.....	57
5.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXO A .....	63

ANEXO B .....	67
ANEXO C .....	69
ANEXO D .....	71
ANEXO E .....	73
ANEXO F .....	75

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Evolução na meta de incorporação de Renováveis no consumo final bruto de energia. [1].....	4
Figura 2.2 Evolução da Dependência Energética de Portugal [%] [1].....	5
Figura 2.3 Ciclo do CO <sub>2</sub> resultante da combustão de biomassa [10]. ....	6
Figura 2.4 Equipamento utilizado para a obtenção do poder calorífico [13]. ....	9
Figura 2.5 Relação entre a temperatura ambiente e conforto térmico dos frangos [21].....	11
Figura 2.6 Caldeira com alimentação horizontal [10]. ....	15
Figura 2.7 (a) Caldeira com alimentação na base; (b) Caldeira com alimentação no topo [10]. ....	15
Figura 3.1 Balança analítica utilizada.....	19
Figura 3.2 (a) Calorímetro PARR 1266, utilizado nos ensaios experimentais; (b) Bomba de oxigénio. ....	20
Figura 3.3 (a) Localização geográfica do aviário; (b) Aviário em estudo.....	23
Figura 3.4 (a) Caldeira da instalação; (b) Permutador de calor da instalação. ....	24
Figura 3.5 Bagaço de azeitona consumido na instalação. ....	24
Figura 3.6 (a) Ventiladores de extração; (b) Persianas.....	25
Figura 3.7 Lâmpadas da instalação.....	25
Figura 3.8 (a) Bombas de circulação de águas quentes; (b) Comedouro da instalação. ....	26
Figura 3.9 Silo de ração da instalação .....	27
Figura 3.10 Interior do aviário após a recolha das primeiras aves. ....	27
Figura 3.11 Analisador de energia FLUKE ligado no quadro geral.....	30
Figura 3.12 Medidor de caudal ultrassónico a executar medições. ....	32
Figura 3.13 Analisador de energia PEL103 ligado no disjuntor do motor de insuflação de ar da caldeira. ....	33
Figura 4.1 Evolução da temperatura durante o ensaio da estilha. ....	40
Figura 4.2 Consumo de eletricidade [kWh], para diferentes meses de 2015. ....	43
Figura 4.3 Potência elétrica medida na instalação (1ª medição). ....	44
Figura 4.4 Potência elétrica medida na instalação (2ª medição). ....	44
Figura 4.5 Energia elétrica consumida na instalação (1ª medição). ....	45
Figura 4.6 Energia elétrica consumida na instalação (2ª medição). ....	46
Figura 4.7 Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 1ª medição. ....	47

Figura 4.8 Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 2ª medição.....	48
Figura 4.9 Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 3ª medição.....	49
Figura 4.10 Potência dissipada pela instalação na 2ª medição.....	50
Figura 4.11 Potência dissipada pela instalação na 3ª medição.....	51
Figura 4.12 Energia térmica dissipada pela instalação na 2ª medição. ....	52
Figura 4.13 Energia térmica dissipada pela instalação na 3ª medição. ....	52
Figura 4.14 (a) Energia consumida [kwh]; (b) Energia consumida [tep].....	55
Figura 4.15 Energia consumida na instalação da Lusiaves [tep]. ....	56

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Temperatura aconselhadas no interior do aviário consoante idade dos frangos [21]. .....	11
Tabela 2.2. Consumo de energia em 2014 num aviário da Lusiaves [26].....	13
Tabela 2.3. Consumo de eletricidade num aviário durante um ciclo de criação entre junho/julho [27].....	14
Tabela 2.4. Consumo de eletricidade num aviário durante um ciclo de criação entre outubro/novembro [27].....	14
Tabela 3.1. Caracterização da 1ª e 2ª medição. ....	28
Tabela 3.2. Caracterização da 3ª medição. ....	28
Tabela 3.3. Divisão dos períodos de faturação segundo o horário e o custo.....	29
Tabela 4.1. Massa das amostras antes e depois da secagem.....	37
Tabela 4.2. Teor de Humidade das amostras em estudo. ....	38
Tabela 4.3. Capacidade calorífica do calorímetro. ....	39
Tabela 4.4. Massa das amostras para o ensaio no calorímetro. ....	39
Tabela 4.5. Valor do poder calorífico superior (PCS) das amostras em estudo.....	40
Tabela 4.6. Análise elementar dos diferentes combustíveis.....	41
Tabela 4.7. Valor do poder calorífico inferior (PCI) em base seca das amostras em estudo. ....	41
Tabela 4.8. Valor do poder calorífico inferior (PCI) das amostras com diferentes percentagens de humidade.....	42
Tabela 4.9. Potência real para os dois FP assumidos. ....	45
Tabela 4.10. Consumo específico de energia elétrica. ....	53
Tabela 4.11. Consumo específico de energia térmica. ....	54
Tabela 4.12. Consumo específico da instalação da Lusiaves.....	55



---

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$P$  – Potência real

$S$  – Potência aparente

$FP$  – Fator de Potência

$P_{\phi}$  – Potência de fase

$V_{\phi}$  – Tensão de fase

$\dot{Q}$  – Potência térmica

$\dot{m}$  – Caudal

$c_p$  – Calor específico

$\rho$  – Densidade

$V$  – Volume

$m$  – Massa

$\Delta T$  – Variação de temperatura

$t$  – Tempo

$\Delta t$  – Variação de tempo

$T.H.$  – Teor de humidade

$r$  – Raio

$W$  – Capacidade calorífica

$H_g$  – Poder calorífico superior

### Siglas

BTN – Baixa Tensão Normal

CEN – Comité Europeu de Normalização

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EDP – Energias de Portugal

EUA – Estados Unidos da América  
GEE – Gases com Efeito de Estufa  
ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra  
LAI – Laboratório de Aerodinâmica Industrial  
GPL – Gás de Petróleo Liquefeito  
PC – Poder Calorífico  
PCI – Poder Calorífico Inferior  
PCS – Poder Calorífico Superior  
PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética  
PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis  
TS – Technical Specifications  
UC – Universidade de Coimbra

## 1. INTRODUÇÃO

Presente e essencial no dia-a-dia do Planeta, a energia, tem vindo, ao longo dos tempos a sofrer alterações nos hábitos de consumo, fruto da evolução do Homem, da Sociedade e das diferentes condições que se colocam.

Na atualidade, fatores económico/financeiros alteram a forma de olhar para os consumos energéticos, nomeadamente, a necessidade de encontrar alternativas energéticas mais baratas e/ou utilizar processos com menor consumo de energia.

Também a preservação do ambiente e, nomeadamente, as alterações climáticas são tema sensível, intimamente ligado ao consumo energético global e condicionante da forma com que temos todos que olhar o consumo energético, com especial atenção à urgente contenção das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Tem se vindo verificar uma tendência dos responsáveis políticos de criarem legislação mais apertada nesta área.

Portugal tem vindo a apresentar preocupações de contenção e regulação dos consumos energéticos nacionais, sendo exemplos desta realidade: quer a redução no consumo de energia primária em 2,8%, em 2014, quando comparado com 2013, quer a estagnação do consumo de energia final [1].

As preocupações com a preservação do meio ambiente num planeta cada vez mais industrializado e regido por valores e objetivos cada vez mais económico/financeiros, faz com que seja fundamental olhar para o consumo energético de forma a conciliar ambos os interesses.

Assim se verifica já no seio da indústria agropecuária, setor no qual as instalações se vão tornando já exemplo desta forma de pensar, através da utilização de caldeiras mais eficientes, isolamentos mais eficazes, iluminação mais eficiente, combustíveis com menores emissões de GEE, entre outros.

É neste contexto que surge a presente dissertação que tem como temática: **“AVALIAÇÃO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS EM INSTALAÇÕES AGRÓPECUARIA”**.

O presente trabalho terá como objeto o estudo de uma unidade de produção de aves, conhecida comumente por aviário.

A questão relativa ao consumo energético neste tipo de unidades industriais revela especial interesse em virtude do fato deste tipo de produção ter necessidades muito específicas: por um lado de energia térmica, produzida por uma caldeira; e por outro lado, de energia elétrica, necessária em todos os equipamentos da instalação.

É possível observar na literatura a existência de alguns estudos com esta temática, contudo este estudo torna-se importante no seio desta indústria, visto que as tecnologias empregues nestas unidades têm vindo a ser otimizadas. Outro fator que torna importante a realização deste estudo é o facto de haver uma grande influência das temperaturas exteriores nos consumos destas instalações, ou seja, os consumos energéticos da instalação em estudo irão apresentar resultados diferentes de estudos realizados em instalações com condições climatéricas diferentes.

No que respeita às necessidades de energia térmica, este estudo irá avaliar o funcionamento da caldeira, verificar os períodos de atividade da mesma, a produção de energia térmica e o consumo de combustível na atividade da referida caldeira. Em relação ao combustível, neste caso biomassa, será feito um levantamento e quantificação energética de quatro tipos de biomassa, sendo eles: estilha, casca de pinho, bagaço de azeitona e casca de pinhão.

Já no que às necessidades de energia elétrica diz respeito, visto não ter sido possível avaliar os consumos de eletricidade de forma isolada para cada um dos equipamentos em funcionamento, optou-se por uma análise global do aviário, em diferentes períodos do ciclo de criação.

Na sequência de uma análise detalhada sobre o tema da dissertação, revelou-se interessante avançar para uma investigação sobre a viabilidade de aplicação de um sistema de produção de energia elétrica e energia térmica, vulgarmente conhecida como cogeração, na instalação em estudo. Tal não foi possível, visto a extensão da análise aos consumos energéticos. Contudo, fez-se um levantamento das metodologias de cálculo da legislação em vigor, o Decreto-Lei nº68-A/2015. Esta análise encontra-se descrita em anexo.

## 2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo vai-se abordar o que já foi realizado por outros autores no âmbito do tema da presente dissertação, começando por uma revisão ao setor energético e às políticas ambientais. Será feita uma breve revisão sobre estudos já realizados a unidades de produção de frangos, no que diz respeito à evolução do sector e dos consumos energéticos.

### 2.1. Setor Energético e Políticas Ambientais

O mundo enfrenta atualmente vários obstáculos no setor da energia, provocados pela falta de uma oferta segura e adequada de energia a preços acessíveis e pelos danos infligidos ao ambiente pelo excessivo consumo de energia.

O desenvolvimento da sociedade, mais concretamente a atividade industrial de onde se pode destacar a produção de energia, está diretamente ligado às alterações climáticas, que como é do conhecimento comum são na sua maioria provocadas pelas excessivas emissões de GEE.

Questões de cariz ambiental e a constante necessidade de energia tornaram-se temas sensíveis e de extrema importância tornando incontornável a necessidade de uma forte intervenção por parte de toda a comunidade internacional.

Já em 1992 na conferência do Rio de Janeiro, também conhecida por Earth Summit, se discutiram os métodos para a proteção do meio ambiente de forma mais eficaz, tendo sempre em vista a redução das emissões de GEE. Foi a primeira conferência global em que as atenções se viraram para a necessidade de melhorar a eficiência e a sustentabilidade da indústria [2].

Posteriormente, em 1997, aprovou-se o protocolo de Quioto, em que os países presentes se comprometiam a proteger o ambiente [3].

Este protocolo foi a base para todo o trabalho desenvolvido pela União Europeia nesta área.

Em 2008, o Conselho Europeu publicou um documento, intitulado *Europe's Climate Change Opportunity* que incluía os objetivos traçados para os países da União

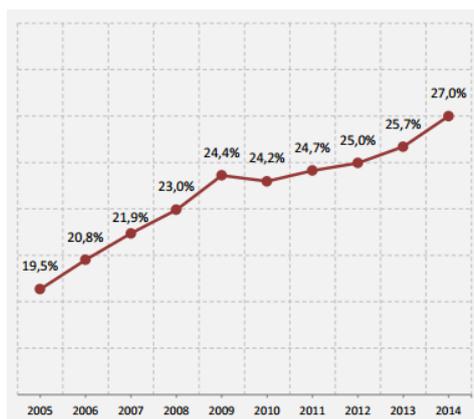
Europeia, na área da proteção climática. Este documento tem três grandes objetivos: reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 20% (podendo chegar aos 30%) relativamente a 1990; aumentar para 20% o consumo de energia proveniente de energias renováveis; e o aumento de 20% da eficiência energética, até 2020 [4].

A 23 de abril de 2009, o Parlamento Europeu, através da Diretiva 28/2009/CE, vem impor a obrigatoriedade dos países da UE submeterem um plano de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

Na sequência desta imposição, surge em Portugal, o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), que foi aprovado a 30 de julho de 2010 e que fixa os objetivos nacionais [5]. Neste plano prevê-se a geração de energia térmica e elétrica, a partir da combustão de biomassa de diferentes origens, tendo em conta a matriz energética nacional, bem como os respetivos ritmos de implementação e ações previstas para cada setor de atividade, tendo em atenção outras políticas relacionadas com a Eficiência Energética no consumo de energia.[1]

Este plano foi o primeiro do género a ser implementado em Portugal, no qual se assumiu o compromisso de atingir os objetivos estabelecidos na Diretiva 28/2009/CE, tal como a meta de 31% de consumo de energia renovável até 2020.

Em 2014 este valor encontrava-se nos 27%, como comprova a Figura 2.1, valor que foi de encontro às expectativas europeias [1].



**Figura 2.1.** Evolução na meta de incorporação de Renováveis no consumo final bruto de energia. [1]

A 10 de abril de 2013, a Resolução do Conselho de Ministros n°20/2013 apresentou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) [6], documento cujo teor visa tornar a eficiência energética uma prioridade da política energética. Esta

Resolução do Conselho de Ministros prevê ainda a integração do PNAER e do PNAEE em simultâneo, o que permite uma ação concertada para o cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, minimizando o investimento e aumentando a competitividade nacional [7].

Para além de todas as políticas impostas pela União Europeia, um dos desafios da política energética nacional prende-se com a redução da dependência de energia proveniente do exterior, sendo que, neste sentido, a aposta em energias renováveis toma um papel importante na temática da energia em Portugal.

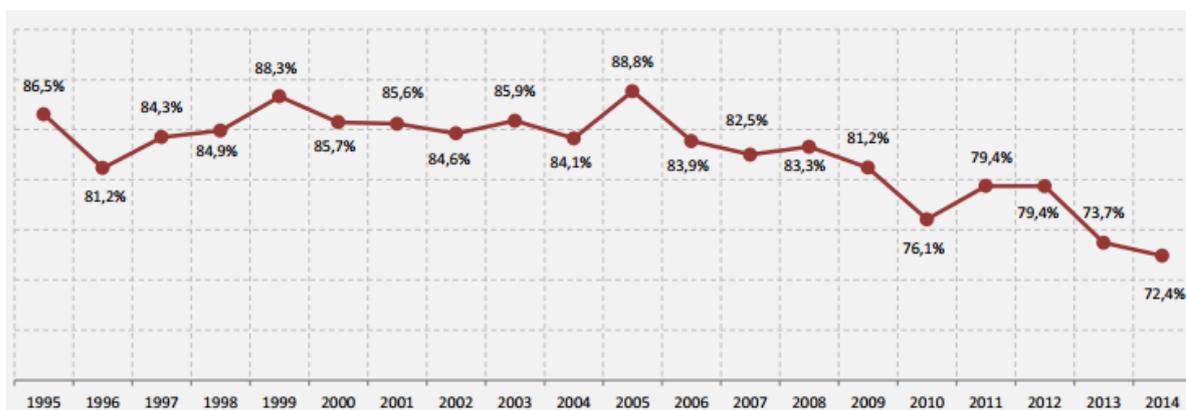


Figura 2.2 Evolução da Dependência Energética de Portugal [%] [1].

É possível observar na Figura 2.2 que a dependência energética nacional tem vindo a diminuir ao longo dos anos, tendo atingido o seu pico mínimo em 2014.

Esta redução deve-se em grande parte ao aumento da produção Hídrica e Eólica, sendo que, de forma a reduzir ainda mais esta dependência, podemos olhar para a biomassa como uma alternativa viável aos combustíveis fósseis, tendo em conta a evolução das tecnologias de conversão de energia primária.

## 2.2. Combustíveis

O consumo de energia a nível mundial tem vindo a crescer de forma progressiva, um crescimento relacionado com o aumento populacional e com a procura de melhores condições de vida.

A escolha dos combustíveis nas suas múltiplas aplicações depende da ponderação, por parte dos seus utilizadores, de diversos fatores. Esta procura de combustíveis depende fortemente da sua aplicação, localização e dos recursos regionais, custos, fatores de impacto ambiental, fatores socioeconómicos e políticos [8].

Tendo em conta todos estes fatores e o facto dos combustíveis fósseis serem esgotáveis, motivo pelo qual se tem assistido a um aumento do preço destes combustíveis, torna-se preponderante uma gestão mais eficiente do petróleo, do carvão e do gás natural, tendo em vista uma utilização de combustíveis alternativos.

### 2.2.1. Biomassa

A biomassa é considerada como um promissor substituto dos combustíveis fósseis, logo de todas as alternativas de energias renováveis existentes, é a biomassa que tem despertado maior interesse dos consumidores.

A biomassa é um recurso renovável proveniente de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal. Tem como vantagens o fato de ser um recurso renovável, o baixo custo de aquisição, as cinzas são menos agressivas para o meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis, provoca menor corrosão nos equipamentos (caldeiras, fornos) e as suas emissões não contribuem para o efeito de estufa [9]. Esta última afirmação só pode ser considerada verdadeira se for tido em consideração o facto de o CO<sub>2</sub> libertado na combustão ser posteriormente absorvido pelas plantas, tornando estas emissões praticamente residuais, como se pode observar na Figura 2.3.

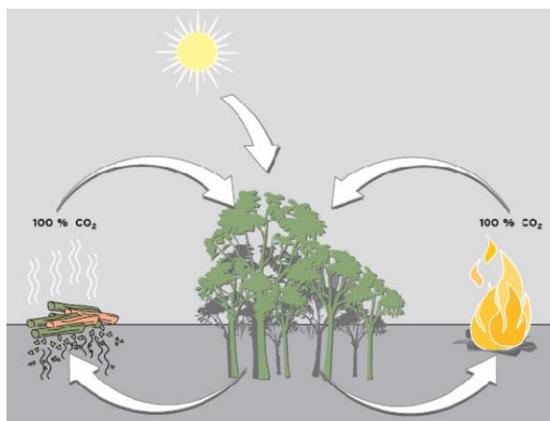


Figura 2.3 Ciclo do CO<sub>2</sub> resultante da combustão de biomassa [10].

A biomassa quando comparada com a maioria dos combustíveis fósseis apresenta menor poder calorífico, PC, isto acontece graças às suas propriedades químicas, mais concretamente ao facto de a biomassa conter menor quantidade de carbono e maior quantidade de oxigénio [11].

As principais fontes de biomassa derivam de produtos florestais (abate de árvores, aproveitamento de estilha), de resíduos agrícolas (palha, bagaço de azeitona, casca de arroz) e de resíduos das indústrias de transformação de madeira (serrações, fabricas de papel e celulose, fabricas de mobiliário).

Como explicado anteriormente, a biomassa pode ser proveniente de vários processos, logo existe uma grande variedade de materiais que podem ser considerados biomassa, o que leva a que a sua valorização energética possa ser feita através de diversos processos, sendo eles: a combustão direta; os processos termoquímicos, por exemplo gaseificação e pirolise; e os processos biológicos, exemplo disto são os biodigestores. Este estudo focar-se-á na combustão direta da biomassa.

No estudo da biomassa é necessário ter em atenção que a sua constituição e propriedades influenciam o comportamento na combustão. Desta forma as diversas propriedades como a quantidade de água (humidade), as cinzas e os gases voláteis libertados têm que ser levados em conta.

Atualmente, em Portugal, a biomassa desempenha um papel importante na produção de energia. Este cenário tem vindo a evoluir de forma positiva ao longo dos últimos anos. Um sinal desta evolução é o facto de em 2013, a capacidade instalada para a produção de energia representar cerca de 662 MW, dos quais 459 MW são produzidos em unidades de cogeração, correspondendo a restante fatia a centrais dedicadas a produção de energia térmica. A previsão para o futuro é que esta tendência se mantenha, com um aumento para 769 MW de capacidade instalada até 2020.[12]

#### **2.2.1.1. Humidade**

A humidade é a quantidade de água por unidade de massa de um combustível. Existem duas formas de classificar a humidade:

1. Humidade intrínseca
2. Humidade extrínseca

A humidade intrínseca diz respeito ao teor de humidade presente no material sem que esta seja influenciada pelos efeitos meteorológicos, por outro lado a humidade extrínseca é influenciada pelas condições meteorológicas.

Este parâmetro é de extrema importância na combustão da biomassa, quanto maior for a quantidade de água presente na biomassa, menor será a eficiência da combustão,

o que provoca uma diminuição no poder calorífico superior, PCS, e no poder calorífico inferior, PCI, do combustível.

A humidade na biomassa é libertada na fase inicial da combustão, o que leva a que parte do calor libertado durante as reações químicas seja absorvido no processo de evaporação.

#### **2.2.1.2. Poder Calorífico**

Para conhecer todas as características de um combustível é necessário fazer um estudo das suas propriedades energéticas. Desta forma, o indicador mais utilizado para definir a quantidade de energia que um combustível possui é o poder calorífico.

Define-se por poder calorífico a quantidade de energia libertada por unidade de massa ou de volume do combustível.

Um combustível é composto, maioritariamente, por hidrogénio e carbono, tendo o hidrogénio um poder calorífico bem superior ao do carbono, portanto quanto mais rico em hidrogénio for um combustível maior será o seu poder calorífico.

Dependendo das condições como é determinado, o poder calorífico pode apresentar-se como poder calorífico a pressão constante (a combustão ocorre a pressão constante) ou como poder calorífico a volume constante (a combustão ocorre com volume constante), apresentando este último valores superiores aos do poder calorífico a pressão constante.

Existem dois tipos de poder calorífico, o poder calorífico superior, PCS, e o poder calorífico inferior, PCI.

O poder calorífico superior representa a quantidade de calor produzido por um combustível, quando este entra em combustão completa, e os gases resultantes da combustão são arrefecidos até à temperatura ambiente, de forma a haver condensação do vapor de água, recuperando-se o calor latente da vaporização.

O PCI representa a quantidade de calor produzido por um combustível, quando este entra em combustão completa, e os gases resultantes da combustão são arrefecidos até à temperatura de ebulição da água, evitando assim a condensação da água. Este valor pode ser obtido subtraindo ao PCS a quantidade de calor relativo à condensação do vapor de água.

O PCS pode ser obtido através de uma análise experimental ou através de fórmulas semi-empíricas, da primeira lei da termodinâmica.

Para uma análise experimental é necessário recorrer a um calorímetro, que consiste num conjunto de dispositivos, entre eles uma bomba de oxigénio, localizada no interior do mesmo, onde uma porção de combustível é queimada, equipamento representado na Figura 2.4 [13].



**Figura 2.4** Equipamento utilizado para a obtenção do poder calorífico [13].

Segundo um estudo realizado com resíduos sólidos dos lagares do Alentejo pode observar-se que o PCI do bagaço de azeitona é de 4737 kcal/kg, aproximadamente 19.8 MJ/kg [14].

De acordo com um estudo realizado sobre caldeiras domésticas o PCI da casca de pinho é de 16.9 MJ/kg [15]. No caso da estilha, através da consulta de um estudo realizado com intuito de analisar a combustão de biomassa e o tratamento de efluentes gasosos, observa-se que o PCI da estilha, apresentado pelo autor é de 13.4 MJ/kg com um teor de humidade de 30%. [16].

### 2.3. Produção de Frangos em Aviário

Nas últimas cinco décadas, um pouco por todo o Mundo, a produção de aves para a alimentação tem vindo a aumentar consideravelmente. O enorme crescimento da população mundial e conseqüente procura de alimento justificam o referido aumento, sendo este tipo de criação bastante atrativo, dado que podemos obter resultados da produção num curto espaço de tempo, aproximadamente 6 semanas. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, o consumo de carne de frango *per capita* aumentou 200%, de 8.7 kg em 1960 para 26.5 kg em 2011, obrigando a que a produção acompanhe este crescimento. Já na Europa, a

produção de carne de aves é também o setor mais dinâmico no mercado das carnes, com uma produção e consumo que não deixa de crescer desde 2007 [17], [18].

O estudo dos consumos e custos energéticos em aviários é atualmente um fator de extrema importância, dado este ser um mercado extremamente competitivo, tanto a nível nacional como internacional.

Desta forma, a redução dos custos com a produção de frangos torna-se um fator preponderante para a sobrevivência de um avicultor. Faz, por isso, todo o sentido que se procurem opções energeticamente eficientes, não só para a redução dos custos como também para proteção do meio ambiente, mais concretamente na redução de GEE.

Posto isto, a medição dos consumos deve ser feita de forma isolada para cada aviário, de modo a que seja possível otimizar da melhor forma cada uma destas instalações.

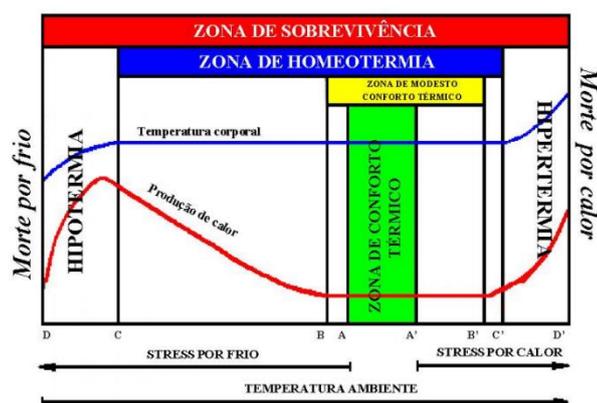
Na literatura, dados de consumos energéticos para este tipo de produção animal são limitados ou bastante antigos, tornando-se difícil a comparação com os dados analisados, visto ter havido uma evolução tecnológica enorme dos equipamentos utilizados nestas instalações.

A quantidade de aves num aviário é o fator que mais contribui para o consumo de eletricidade, por outro lado o consumo de combustível é mais influenciado pela temperatura ambiente [19].

O ciclo de crescimento das aves depende fortemente da temperatura a que se encontra o aviário. Por sua vez, a temperatura do aviário é influenciada tanto pela temperatura ambiente como também pelo calor produzido pelas aves.

Alguns estudos feitos nessa área concluem que a produção de calor das aves depende de três fatores: da massa corporal do frango; da temperatura do ar dentro do aviário e da iluminação [20].

As aves sujeitas a *stress* térmico terão problemas no seu desenvolvimento, visto que terão que despender energia para se adequarem à temperatura que as rodeia. Por exemplo, no caso da temperatura ambiente ser inferior à recomendada, as aves terão que canalizar a sua energia para manterem o corpo quente. Em casos extremos o *stress* térmico pode levar à morte das aves.



**Figura 2.5** Relação entre a temperatura ambiente e conforto térmico dos frangos [21].

Segundo a Figura 2.5 pode observar-se que as temperaturas têm de ser mantidas na zona de conforto térmico para o melhor desenvolvimento das aves. Fora desta zona de conforto as aves suportam melhor temperaturas inferiores do que superiores.

A zona de conforto térmico depende, principalmente, da idade dos frangos. À medida que crescem existe um desenvolvimento do sistema termorregulador e um aumento da atividade energética, o que conduz a uma diminuição das necessidades de aquecimento no interior do aviário, como se pode constatar na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1.** Temperatura aconselhadas no interior do aviário consoante idade dos frangos [21].

Idade [Semanas]	Temperatura [°C]
1	32-35
2	29-32
3	26-29
4	23-26
5	20-23
6	20

No Verão é necessário tomar as devidas precauções para evitar o sobre aquecimento e o stresse térmico. O arrefecimento é feito, tipicamente, recorrendo ao aumento da velocidade do ar do sistema de ventilação o que provoca uma diminuição da temperatura corporal das aves, aumentando desta forma as perdas de calor por convecção

[22]. Outro modo de arrefecimento consiste na utilização de nebulizadores de água no interior dos aviários.

No inverno, o recurso a sistemas de aquecimento, é muito importante para que seja possível manter as temperaturas ideais para o desenvolvimento dos frangos, tornando-se o sistema de aquecimento o principal consumidor de energia num aviário [23].

No que diz respeito ao aquecimento das instalações, este pode ser feito através de aquecimento central ou local [21]. O aquecimento local caracteriza-se por um aquecimento da superfície do local onde estão alojadas as aves. Esta prática é mais convencional em aviários que não recorrem a muita tecnologia e que se encontram em regiões com condições climáticas mais favoráveis durante o inverno. Por outro lado, para regiões com invernos mais rigorosos é aconselhável o uso de aquecimento central que se baseia no aquecimento de todo o volume do aviário de forma, relativamente, homogénea. Dentro deste tipo de aquecimento, as aplicações mais encontradas atualmente são caldeiras a biomassa. Esta opção por energias renováveis por parte dos avicultores deve-se, principalmente, a fatores económicos, ou seja, o baixo preço de aquisição da biomassa quando comparada com combustíveis fósseis [24].

Investigadores analisaram dois sistemas de aquecimento, um deles em que o combustível era biomassa, neste caso lenha, e outro que funcionava com gás de petróleo liquefeito, comumente conhecido como GPL. Através deste estudo os investigadores chegaram à conclusão que o maior consumo foi do sistema a lenha, isto porque o poder calorífico da lenha é inferior ao do GPL, concluindo ainda que o sistema que acarreta menores custos é o primeiro sistema enunciado, devido ao reduzido custo da lenha [25].

Através da análise do relatório ambiental para 2014 de uma unidade de produção de frangos de uma empresa nacional, a Lusiaves, pode observar-se para cada ciclo de criação (bando) uma oscilação, não uniforme dos consumos de energia (Tabela 2.2) [26].

**Tabela 2.2.** Consumo de energia em 2014 num aviário da Lusiaves [26].

<b>Bandos</b>	<b>Período de criação</b>	<b>Número de Aves</b>	<b>Consumo de eletricidade [kWh]</b>	<b>Horas de funcionamento da caldeira</b>
1	16/12/2013 28/01/2014	63268	23992.84	567
2	21/02/2014 09/04/2014	61929	24848.24	493
3	05/05/2014 18/06/2014	64144	23831.55	420
4	10/07/2014 12/08/2014	65366	24376.00	326
5	25/08/2014 07/10/2014	65325	18508.00	231
6	31/10/2014 16/12/2014	66430	21008.00	420

De referir que cada bando corresponde a cerca de 60000 aves distribuídas por 4 pavilhões. Nos consumos de eletricidade nota-se uma diminuição no quinto bando, isto acontece, possivelmente, porque a temperatura exterior se aproxima da desejada no interior o que leva a menores utilizações da ventilação. No que toca aos períodos de funcionamento da caldeira a diminuição acontece no quarto e no quinto bando, sendo isto causado também pela temperatura exterior, visto que estes dois bandos foram criados durante meses de maior calor.

A energia elétrica é de extrema importância para este tipo de produção, não só para a iluminação, como para todos os motores da instalação.

Segundo um estudo desenvolvido durante dois ciclos de criação de frangos, um em junho/julho e outro em outubro/novembro, que tinha como objetivo estudar os consumos de energia elétrica, concluiu-se que é na iluminação que se dão os maiores consumos de energia elétrica, sendo que a ventilação também é responsável por uma fatia bastante representativa do consumo de eletricidade [27].

**Tabela 2.3.** Consumo de eletricidade num aviário durante um ciclo de criação entre junho/julho [27].

<b>Equipamentos</b>	<b>Energia activa [kWh]</b>	<b>Energia reactiva [kVArh]</b>
Ventilação	462.9	476.2
Nebulizador	0	0
Iluminação	697.5	0
Comedouros	120.3	208.6
<b>Total</b>	<b>1280.8</b>	<b>684.8</b>

**Tabela 2.4.** Consumo de eletricidade num aviário durante um ciclo de criação entre outubro/novembro [27].

<b>Equipamentos</b>	<b>Energia activa [kWh]</b>	<b>Energia reactiva [kVArh]</b>
Ventilação	704.43	957.6
Nebulizador	459.28	242.2
Iluminação	788.27	0
Comedouros	124.16	249.6
<b>Total</b>	<b>2076.1</b>	<b>1449.3</b>

Nas Tabela 2.3 e Tabela 2.4 pode observar-se o consumo de energia elétrica da instalação referida acima e é possível concluir que o fator de potência destes equipamentos é, aproximadamente, 0.88.

Na literatura podemos encontrar diferentes artigos que exploram a importância da iluminação no desenvolvimento dos frangos. Num estudo desenvolvido em 1996 concluiu-se que os frangos no escuro produzem menos calor e humidade do que frangos iluminados, sendo assim comprovado que a iluminação afeta a produção de calor e humidade do frango [28].

Deste ponto de vista, cada vez mais produtores têm optado por uma iluminação intermitente, opção esta que em muito tem contribuído para a redução da fatura de energia elétrica.

## 2.4. Caldeiras a Biomassa

Os tipos de caldeiras podem ser classificados consoante a utilização prevista, o tipo de fluido de circulação e o tipo de combustível, neste caso biomassa.

O desenvolvimento tecnológico das caldeiras a biomassa baseou-se principalmente numa procura de processos de combustão mais eficientes. Fatores tais como a forma de insuflação o ar, o modo de fornecimento de biomassa e consequente modo de ignição são os que maior influência têm nesta busca pelo aumento de eficiência.

De uma forma geral, a alimentação da caldeira é executada por um parafuso sem fim que liga o depósito de armazenamento de biomassa à caldeira. O sistema de alimentação da câmara de combustão de uma caldeira pode ser feito de três maneiras: alimentação horizontal (Figura 2.6), pela base (Figura 2.7 (a)) ou pelo topo (Figura 2.7 (b)). O modo como é levada a cabo esta alimentação influencia a forma como a biomassa é queimada.

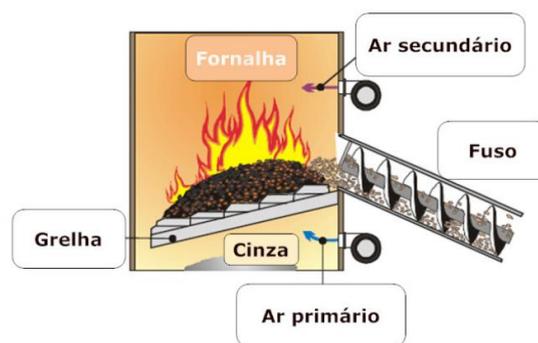


Figura 2.6 Caldeira com alimentação horizontal [10].

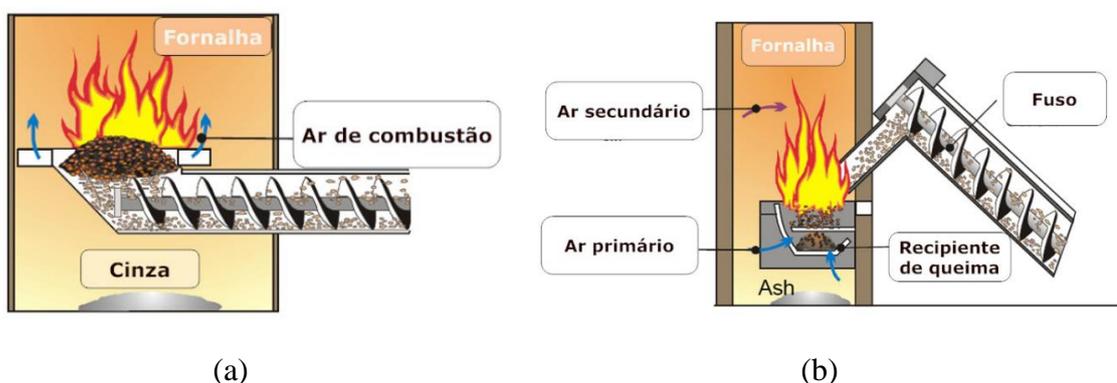


Figura 2.7 (a) Caldeira com alimentação na base; (b) Caldeira com alimentação no topo [10].

Atualmente as caldeiras para a combustão de biomassa são projetadas de modo a criarem condições adequadas para que haja uma conversão total dos combustíveis, para tal têm de cumprir alguns requisitos técnicos, que podem ser obtidos através de uma separação

espacial do fornecimento de ar e da chama (entrada de ar primária) e do fornecimento de ar à zona de combustão do gás (entrada de ar secundária), como se pode observar na Figura 2.7 (b). Desta forma, é possível garantir uma combustão uniforme e por outro lado uma redução nas emissões [29].

As caldeiras a biomassa para produção de vapor mais comuns em instalações industriais enquadram-se, principalmente, em dois grupos: caldeiras do tipo tubos de fumo e caldeiras aquatubulares [16].

De uma forma resumida, nas caldeiras do tipo tubos de fumo os gases de combustão circulam dentro de tubos, aquecendo a água que se encontra no exterior destes. No caso das caldeiras aquatubulares o fluido a aquecer circula dentro de tubos e por sua vez os produtos da combustão percorrem as paredes exteriores destes tubos, aquecendo-os.

### **3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS**

Após a análise do estado de arte, apresentada no capítulo 2, são apresentados neste capítulo os materiais e procedimentos utilizados no presente estudo de modo a clarificar como foram recolhidos e processados os dados, antes de se proceder à análise dos resultados obtidos.

Como já referido, o objetivo deste trabalho é estudar os consumos energéticos de uma unidade de produção de frangos, desde o consumo de energia elétrica até ao consumo de energia térmica, estando este último interligado ao consumo de biomassa.

#### **3.1. Determinação Experimental do PCS/PCI**

Estes ensaios experimentais foram realizados de modo a determinar o PCS e o PCI de diferentes tipos de biomassa com percentagens de humidade diferentes.

Para ser possível determinar o poder calorífico através de métodos experimentais é necessário seguir três normas, sendo elas:

1. Norma CEN/TS 14780 – Esta norma foca-se nos métodos para preparação das amostras.
2. Norma CEN/TS 14774-3 – Nesta norma são especificados os métodos para determinar a quantidade de humidade das amostras.
3. Norma CEN/TS 14918 – Esta norma contém os métodos para determinar o poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI)

O cálculo do PCS e do PCI foi realizado para 4 tipos de biomassa distintos, sendo eles:

1. Estilha
2. Bagaço de azeitona;
3. Casca de pinho;
4. Casca de pinhão.

Optou-se por analisar estes tipos de biomassa, dado que são bastante comuns nas instalações em que se foca o presente estudo.

### 3.1.1. Teor de Humidade

Para realizar o ensaio experimental do poder calorífico foi necessário, numa primeira fase, obter o teor de humidade. Este processo foi realizado segundo a norma CEN/TS 14774-3, que indica que a amostra deve ser seca a uma temperatura de  $105 \pm 2$  °C e que a percentagem de humidade deve ser calculada segundo a diferença de massa antes e depois do processo de secagem.

Para cumprir estes requisitos foi necessário recorrer a uma estufa que se encontra no Laboratório de Aerodinâmica Industrial, LAI. As amostras foram deixadas na estufa durante 24 horas a 105 °C, após a secagem procedeu-se ao cálculo da percentagem de humidade através da equação (3.1).

$$T. H. = \left( \frac{m_i - m_s}{m_i} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

Em que,  $T. H$  representa o teor de humidade [%],  $m_i$  é a massa inicial da amostra [g] e  $m_s$  é a massa da amostra depois de seca [g].

### 3.1.2. Poder Calorífico Superior

Após a secagem e o cálculo do teor de humidade da biomassa em estudo, foi feita a preparação das amostras para se dar início aos ensaios de poder calorífico, para tal seguiu-se a norma CEN/TS 14780. O tamanho das amostras de biomassa teve que ser reduzido até se obter um tamanho de grão de aproximadamente 1mm, para se cumprir os requisitos da norma. Posto isto, para a redução de tamanho das amostras de estilha, casca de pinho e casca de pinhão foi utilizada uma groza, pois foi a melhor forma encontrada para estas amostras. Já no caso do bagaço de azeitona utilizou-se um almofariz e um pilão. Para confirmar que o tamanho do grão das amostras era o indicado recorreu-se a uma peneira em que os furos têm, aproximadamente, 1mm. Após a redução do tamanho das amostras foi necessário prensá-las de modo a fazer um comprimido (amostra de forma cilíndrica), e para isso utilizou-se uma prensa manual. Para fazer o comprimido com o peso correto para o ensaio foi necessário fazer um molde. As dimensões do molde foram obtidas através das equações (3.2) e (3.3):

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.2)$$

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (3.3)$$

Em que  $V$  é o volume [m<sup>3</sup>],  $m$  é a massa [g],  $\rho$  é a densidade [kg/m<sup>3</sup>],  $r$  é o raio da circunferência [m] e  $h$  é a altura [m].

Através da densidade da estilha e da massa de amostra necessária para o ensaio, obteve-se o volume, volume este que serviu para obter as dimensões do comprimido, sendo que se deixou uma margem para que fosse possível fazer comprimidos idênticos para materiais com outras densidades.

Este molde foi, numa primeira fase, desenhado no *software* SolidWorks (consultar ANEXO A) e posteriormente foi concebido nas oficinas da empresa JSRIBEIRO sediada em Valongo [30].

Depois da prensagem recorreu-se a uma balança analítica com proteção ambiente OHAUS, modelo AP250D-0, com uma precisão de leitura de 0.00001g (Figura 3.1), devidamente calibrada. Esta balança, que se encontra nos laboratório do DEM, foi utilizada com a finalidade de obter a massa das amostras de combustível.



**Figura 3.1** Balança analítica utilizada.

A fase seguinte corresponde realmente ao ensaio do poder calorífico superior e foi realizado segundo a norma CEN/TS 14918. Neste procedimento experimental foi utilizado um calorímetro PARR 1266, Figura 3.2 (a).



(a)



(b)

**Figura 3.2** (a) Calorímetro PARR 1266, utilizado nos ensaios experimentais; (b) Bomba de oxigénio.

O equipamento representado na figura anterior funciona da seguinte forma:

1. Colocam-se  $2000 \pm 0.5$  g de água destilada no balde;
2. Coloca-se a amostra no cadinho, que foi previamente pesado e colocando-se no respetivo suporte;
3. Cortam-se 10 cm de fio fusível, prendendo-o nos suportes indicados, tendo o cuidado de o deixar em contato com a amostra;
4. Adiciona-se 1 ml de água destilada no fundo da bomba de oxigénio (Figura 3.2 (b));
5. Fecha-se corretamente a bomba;
6. Pressuriza-se a bomba com uma pressão entre os 20 e 30 bar;
7. Coloca-se a bomba dentro do balde e ligam-se os cabos elétricos;
8. Fecha-se a tampa do balde e liga-se o agitador.

De seguida deu-se início ao ensaio da seguinte forma:

1. Esperou-se 5 minutos até a temperatura da água estabilizar dentro do balde;
2. A partir deste momento registou-se a temperatura a cada 30 segundos, durante 5 minutos;
3. Após os 5 minutos fez-se a ignição e registou-se a temperatura aos 45, 60, 75, 90 e 105 segundos após a ignição;
4. No final deste período voltou-se a registar as temperaturas a cada 30 segundos até a temperatura estabilizar;

5. Por fim, continuou-se o registo de 30 em 30 segundos, durante mais 5 minutos.

No final do ensaio, fez-se a despressurização da bomba através da válvula de escape, abriu-se a bomba, observou-se se existiam resíduos e mediu-se a quantidade de fio fusível que não se queimou. Esta última medição serve para subtrair ao PCS da amostra o valor da contribuição da queima do fio.

Antes de se fazer o ensaio para as amostras de biomassa foi necessário realizar a calibração do equipamento, para tal, usou-se ácido benzóico como amostra e realizou-se o ensaio nas condições descritas acima. Este procedimento inicial foi feito com o objetivo de obter a capacidade calorífica do calorímetro, que foi calculada através da equação (3.4).

$$W = \frac{H_g \times m + e_3}{\Delta T} \quad (3.4)$$

Em que,  $W$  corresponde à capacidade calorífica do calorímetro [cal/°C],  $H_g$  é o poder calorífico [cal/g],  $m$  é a massa de ácido benzóico [g],  $e_3$  é o calor da combustão do fio fusível [cal] e  $\Delta T$  é a variação de temperatura corrigida [°C].

Esta variação de temperatura corrigida foi obtida através da folha de registo de temperaturas do ensaio e calculada segundo a equação (3.5).

$$\Delta T = T_c - T_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad (3.5)$$

Em que,  $a$  é o instante em que se faz a ignição [minutos],  $b$  é o instante em que se atinge 60% do aumento de temperatura [minutos],  $c$  é o instante em que se observam três temperaturas consecutivas em que a diferença entre elas é de 0.0001°C [minutos],  $T_a$  é temperatura no instante da ignição [°C],  $T_c$  é a temperatura no instante  $c$  [°C],  $r_1$  é a variação de temperatura por minuto durante os 5 minutos que antecedem a ignição [°C/minuto] e  $r_2$  é a variação de temperatura por minuto durante os 5 minutos seguintes ao instante  $c$  [°C/minuto].

Desta forma, após três ensaios com ácido benzóico e depois de calculada a média da capacidade calorífica do calorímetro obtidas nestes, ficou concluída a calibração do calorímetro.

Depois disto, realizaram-se os ensaios para cada uma das amostras de biomassa em estudo e calcularam-se os seus respetivos poderes caloríficos superiores através da equação (3.6).

$$H_g = \frac{\Delta T \times W - e_3}{m} \quad (3.6)$$

Para a conversão do poder calorífico superior para kJ/kg foi tida em conta a proporção de 1 cal/g igual a 4.1868 kJ/kg.

### 3.1.3. Poder Calorífico Inferior

Para o cálculo do poder calorífico inferior em base seca utilizou-se a equação (3.7), tendo como referência a composição elementar típica para cada uma das amostras de biomassa.

$$PCI_{P,seco} = PCS_{V,seco} - 212.2w(H)_S - 0.8[w(O)_S + w(N)_S] \quad (3.7)$$

Em que,  $PCI_{P,seco}$  é o poder calorífico inferior em base seca [kJ/kg],  $PCS_{V,seco}$  é o poder calorífico superior em base seca [kJ/kg] e  $w(H)_S$ ,  $w(O)_S$  e  $w(N)_S$  correspondem à composição elementar das amostras no que toca a hidrogénio, oxigénio e azoto respetivamente [%].

Para uma análise mais completa, optou-se por calcular o poder calorífico inferior com diferentes percentagens de humidade, no caso, calculou-se para 7%, 14% e 21% de humidade. Este cálculo foi feito utilizando a equação (3.8).

$$PCI_{P,M} = PCI_{P,seco} \times (1 - 0.01M) - 24.3M \quad (3.8)$$

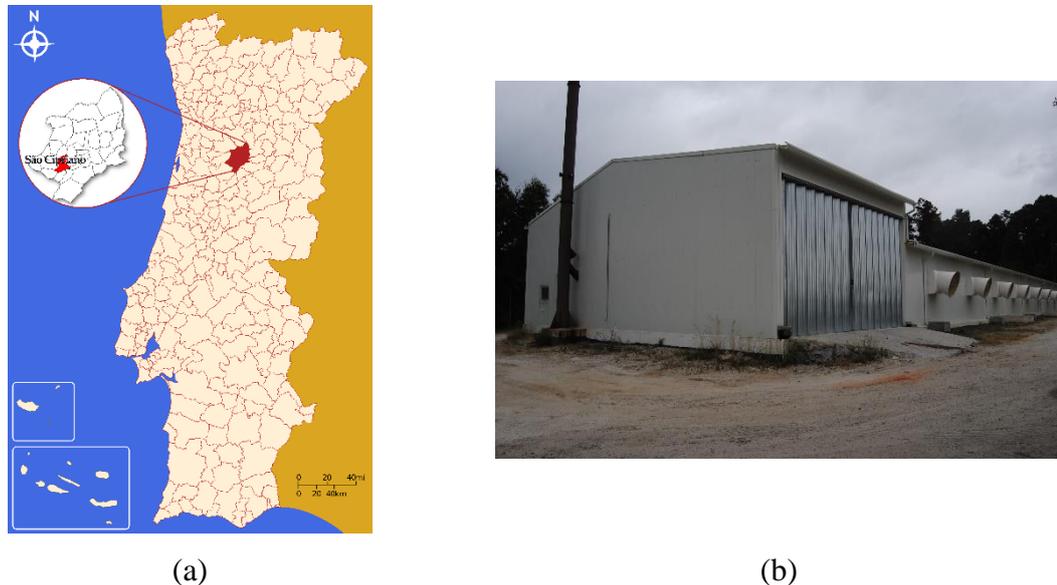
Em que,  $PCI_{P,M}$  corresponde ao poder calorífico superior com teor de humidade [kJ/kg] e  $M$  é o teor de humidade [%].

## 3.2. Caracterização da instalação agropecuária

Nesta secção é feita uma caracterização da instalação e de todos os equipamentos de interesse para este estudo.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram recolhidos dados e informações na propriedade do Senhor Hugo Henrique Figueiredo Batista numa unidade de criação de frangos, com uma área de 1100 m<sup>2</sup> e com capacidade para aproximadamente 30000 aves. O aviário (Figura 3.3 (b)) localiza-se no município de Viseu, freguesia de São Cipriano na localidade de Sarzedelo, Figura 3.3 (a). O estudo foi desenvolvido em três ciclos de criação, o primeiro período foi de 20/04/2016 até 06/05/2016, o segundo decorreu de 11/05/2016 a

13/06/2016. Após a análise dos dados recolhidos nestes dois períodos o autor considerou necessário realizar uma terceira recolha de dados, que decorreu de 29/06/2016 a 16/07/2016.



**Figura 3.3** (a) Localização geográfica do aviário; (b) Aviário em estudo.

Este estudo está dividido em três partes distintas, por um lado foi analisada a energia elétrica consumida, recorrendo-se a equipamentos de medição de energia. Por outro lado foi realizada uma análise à energia térmica requerida pela instalação, ou seja, avaliou-se o consumo e funcionamento da caldeira. Numa terceira parte, e ainda ligada às análises de energia elétrica e térmica, foram calculados os indicadores energéticos, mais concretamente o consumo específico, de modo a comparar os valores obtidos nas duas primeiras análises.

### 3.2.1. Equipamentos da Instalação

Para o aquecimento das instalações, é utilizada uma caldeira a biomassa (Figura 3.4 (a)) e 6 permutadores de calor (Figura 3.4 (b)). Este sistema de aquecimento funciona de forma automática, configurado com a temperatura ideal para otimizar o ciclo de crescimento das aves. Reagindo às variações térmicas no interior da instalação.

A caldeira desta instalação tem uma potência nominal de 580 kW e uma capacidade de armazenamento de água de 2200 litros. A temperatura de *set point* da caldeira depende da temperatura ambiente no interior do pavilhão, sendo que nos períodos mais quentes é de 60°C e durante os períodos do ano mais frios sobe para os 90°C. Também a variação de temperatura no interior da caldeira depende da temperatura ambiente, ou seja,

por norma a caldeira só liga quando a temperatura da água no seu interior diminui 3°C, mas este valor pode ser diferente durante as alturas em que a caldeira é menos necessária, isto é, períodos mais quentes. A transferência de calor para a nave dá-se através de 6 permutadores de calor água/ar com potência calorífica de 75 kW cada, estes estão localizados no teto e distribuídos para que haja um aquecimento uniforme do espaço.



(a)



(b)

**Figura 3.4** (a) Caldeira da instalação; (b) Permutador de calor da instalação.

Nesta instalação o produtor utiliza 3 tipos de biomassa distintos para a alimentação da caldeira, sendo eles: o bagaço de azeitona (Figura 3.5); casca de pinho; e a casca de pinhão.



**Figura 3.5** Bagaço de azeitona consumido na instalação.

O arrefecimento e a renovação de ar da nave são feitos com recurso a ventiladores de extração (Figura 3.6 (a)) e a persianas (Figura 3.6 (b)). A instalação está

equipada com 16 ventiladores de extração com uma capacidade máxima de 15000 m<sup>3</sup>/h cada, estando estes localizados na lateral do edifício.



(a)



(b)

**Figura 3.6** (a) Ventiladores de extração; (b) Persianas.

Na instalação existe uma grande dependência de energia elétrica, visto que todos os equipamentos necessitam de eletricidade durante o período de funcionamento. Dos equipamentos enumerados acima, todos eles necessitam de eletricidade para o seu funcionamento, para além destes podemos ainda encontrar na instalação:

- Lâmpadas (Figura 3.7) – Nesta instalação estão instaladas 36 lâmpadas fluorescentes T8 de 36 W cada. Estas funcionam de forma intermitente consoante a necessidade das aves, representando uma grande fatia do consumo de energia elétrica.



**Figura 3.7** Lâmpadas da instalação.

- Bombas de circulação de água - Na instalação parte das bombas servem para alimentar os bebedouros e outras são parte complementar do sistema de aquecimento (Figura 3.8 (a)), fazendo movimentar a água em circuito fechado.



(a)



(b)

**Figura 3.8** (a) Bombas de circulação de águas quentes; (b) Comedouro da instalação.

- Motores – Existem inúmeros motores na instalação. A caldeira para o seu funcionamento tem acoplados 3 motores; 1 para a insuflação de ar; 1 para a extração de gases; e 1 para o parafuso sem fim que faz alimentação de combustível. Encontram-se ainda os motores dos permutadores de calor, os motores dos ventiladores de extração do aviário e os motores que alimentam os comedouros (Figura 3.8 (b)).

### 3.3. Descrição do Processo Produtivo

O processo produtivo inicia-se uns dias antes da receção dos pintos com a limpeza e desinfeção do espaço, após este procedimento, é espalhada de forma uniforme a “cama” para as aves.

No dia que antecede a receção dos pintos é feita uma harmonização da temperatura no interior do aviário, para que no primeiro dia a temperatura seja aproximadamente 35°C, para a receção das 30000 aves. À medida que as aves se vão desenvolvendo a temperatura dentro da nave vai sendo gradualmente reduzida, até que ao fim da 6ª semana de criação já só se observam temperaturas a rondar os 20°C. Como já foi explicado acima, o controlo da temperatura é levado a cabo por um sistema automático de

controlo que aciona os permutadores de calor consoante as necessidades de aquecimento, acionando também a caldeira quando a temperatura da água no seu interior desce 3°C.

As aves são alimentadas com ração que se encontra num silo adjacente ao aviário (Figura 3.9). O fornecimento de ração é ajustado conforme a idade das mesmas.



**Figura 3.9** Silo de ração da instalação

O consumo de água das aves é idêntico ao que acontece com a ração, sendo também ajustado conforme a idade.

Por volta do 30º dia de criação são recolhidas as primeiras aves, permanecendo cerca de 23000 aves na instalação (Figura 3.10) até ao final da criação.



**Figura 3.10** Interior do aviário após a recolha das primeiras aves.

Após a recolha de todas as aves para abate é repetido todo o ciclo produtivo, sendo necessário nova desinfeção da área de produção.

### 3.4. Análise dos Consumos Energéticos

Nesta secção são caracterizados os métodos de análise dos consumos energéticos da instalação durante os períodos de criação descritos abaixo, sendo consumida energia elétrica e térmica.

**Tabela 3.1.** Caracterização da 1ª e 2ª medição.

Medições	Quadro Geral			Motor de insuflação da caldeira		
	Período medido	Dias de criação	Intervalo de recolha de dados [min]	Período medido	Dias de criação	Intervalo de recolha de dados [min]
1ª	20/04/2016 04/05/2016	23°- 37°dia	10	20/04/2016 04/05/2016	23°- 37°dia	3
2ª	11/05/2016 06/06/2016	2 dias antes- 25°dia	5	11/05/2016 13/06/2016	2 dias antes- 32°dia	3

**Tabela 3.2.** Caracterização da 3ª medição.

Equipamentos	Intervalo de recolha de dados [min]	Período medido	Dias de criação
Permutador 1	1	29/06/2016 19/07/2016	5°-25°dia
Permutador 2 e 3	0.5		
Permutador 4	1		
Permutador 5 e 6	0.5		
Motor de insuflação da caldeira	1		
Ventilação de extração	0.5		

Para perceber o perfil de consumo de energia da instalação optou-se pela análise conjunta dos dados recolhidos por dois analisadores de energia ligados ao quadro geral da

instalação e das faturas da eletricidade. Como referido no subcapítulo 3.2, esta recolha de dados foi efetuada em três períodos diferentes. A caracterização da 1ª e 2ª medição encontra-se na Tabela 3.1, a 3ª medição é caracterizada na Tabela 3.2

A 3ª medição encontra-se noutra tabela visto que foi executada de forma diferente das duas primeiras, isto deve-se ao facto de esta ultima medição ter sido feita apenas para analisar os períodos de funcionamento dos vários equipamentos enunciados.

### 3.4.1. Análise da Energia Elétrica Consumida na Instalação

A eletricidade consumida pela instalação é fornecida pela entidade distribuidora de energia EDP. Segundo a análise das faturas de eletricidade fornecidas pelo proprietário da instalação, faturas referentes ao ano de 2015, é possível avaliar o consumo global de eletricidade em diferentes períodos do ano. Outro dado obtido através da análise das faturas é a potência contratada para a instalação. Neste caso a instalação é alimentada em regime trifásico de baixa tensão normal, com uma potência de 27.6 kVA.

Para calcular a potência real,  $P$ , através desta potência aparente,  $S$ , utilizou-se a equação (3.9), assumindo dois fatores de potência ( $FP=0.88$  e  $FP=0.92$ ), plausíveis para o conjunto dos equipamentos da instalação, como se pode ver no subcapítulo 2.3.

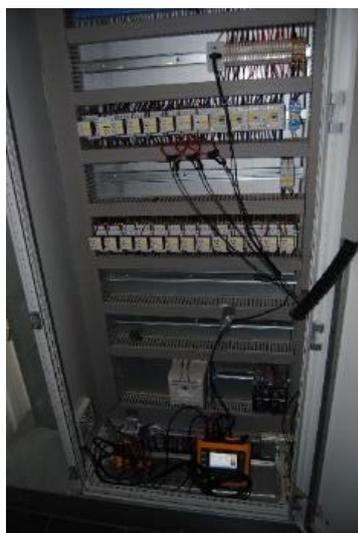
$$P = S \times FP \quad (3.9)$$

Estas faturas encontram-se divididas em três períodos horários, as horas de vazio, as horas de cheio e as horas de pontas, nas quais a eletricidade adquirida assume preços diferentes. Para melhor perceber a que altura do dia corresponde cada um destes períodos, elaborou-se a Tabela 3.3.

**Tabela 3.3.** Divisão dos períodos de faturação segundo o horário e o custo.

	Vazio	Cheias	Ponta
Horário [h]	22h-8h	8h-9h	9h-10:30h
	Fim-de-Semana	10:30h-18h	18h-20:30h
	---	20:30h-22h	---
Custo [€/kWh]	0.0864	0.1521	0.3029

A recolha de dados no quadro geral da instalação para a análise do consumo de eletricidade foi executada com o auxílio de um medidor/analizador de energia denominado FLUKE 1730 Energy Logger. O dispositivo traz um conjunto de três pinças de corrente e um conjunto de três sondas, Thin-Flexi Current Probe, que funcionam com base no princípio de bobina de Rogowski, que consiste num toroide de fio usado para medir uma corrente alternada através de um cabo envolto pelo toroide. Estas sondas e pinças foram ligadas ao quadro geral (Figura 3.11) de acordo com o recomendado pelo manual da marca [31].



**Figura 3.11** Analisador de energia FLUKE ligado no quadro geral.

Após a recolha dos dados, foi possível observar que nos dois períodos medidos o analisador deixou de contabilizar as tensões ao fim de pouco mais de um dia de ter sido instalado. Para contornar esta situação, e tendo-se constatado a regularidade das tensões medidas, fez-se uma média das tensões guardadas e replicou-se esse valor para o resto do período em análise. Dada esta falha na aquisição de dados, o equipamento acabou por não conseguir calcular o fator de potência para o mesmo período. Desta forma, assumiram-se os mesmos fatores de potência que na equação (3.9), um de 0.88 e outro de 0.92, valores plausíveis para o conjunto dos equipamentos da instalação.

A potência para cada uma das fases foi determinada através da equação (3.10) e a potência total resultou da soma das potências em cada fase, equação (3.11)

$$P_{\phi} = V_{\phi} \times FP \times I_i \quad (3.10)$$

$$P_T = P_A + P_B + P_C \quad (3.11)$$

Em que,  $P_{\phi}$  é a potência numa fase [W],  $V_{\phi i}$  é a tensão numa fase [V],  $FP$  é o fator de potência,  $I_i$  é a corrente no intervalo  $i$  [A] e  $P_T$ ,  $P_A$ ,  $P_B$  e  $P_C$  são, respetivamente, a potência total, a potência da fase A, a potência da fase B e a potência da fase C [W].

Na fase seguinte, procedeu-se à estimativa da energia elétrica consumida a partir da potência total, segundo a equação (3.12).

$$E_{el} = P_T \times \Delta t \quad (3.12)$$

Em que,  $E_{el}$  é a energia elétrica [kWh],  $\Delta t$  é o intervalo de tempo [h].

Como na 1ª medição, realizada no quadro geral, a recolha da informação foi feita de dez em dez minutos, para se proceder à estimativa da energia elétrica em kWh multiplicou-se a potência total por 1/6, somando-se de seguida os 6 valores correspondentes a cada hora.

Para a 2ª medição realizada, o intervalo de tempo entre cada recolha foi de 5 minutos, logo para este caso procedeu-se à multiplicação da potência por 1/12. Procedendo-se da mesma forma que para a 1ª medição, mas desta vez somando-se os 12 valores correspondentes a cada hora

Para a obtenção da energia elétrica consumida em cada dia somaram-se os valores obtidos em cada hora.

### 3.4.2. Análise da Energia Térmica Requerida pela Instalação

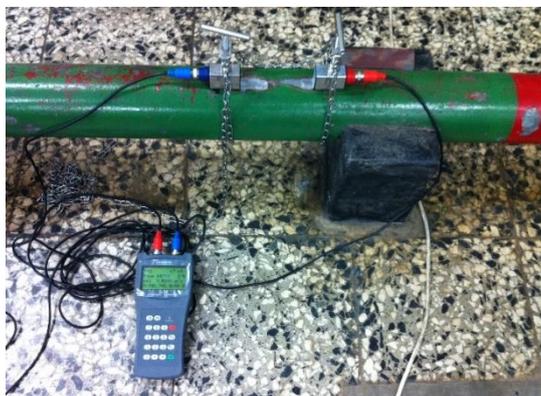
Numa primeira abordagem, optou-se por tentar medir a potência térmica da caldeira através da medição das temperaturas da água à entrada e à saída e do caudal de água à saída da caldeira por intermédio da equação (3.13):

$$\dot{Q}_{caldeira} = \dot{m}_{H2O} \times c_{p_{H2O}} \times (T_{saída} - T_{entrada}) \quad (3.13)$$

Em que  $\dot{Q}_{caldeira}$  é potência térmica da caldeira [kW],  $\dot{m}_{H2O}$  é o caudal de água [kg/s],  $c_{p_{H2O}}$  é o calor específico da água [J/(Kg.K)],  $T_{saída}$  é a temperatura da água à saída [K] e  $T_{entrada}$  é a temperatura da água à entrada [K].

Para a obtenção do caudal recorreu-se a um medidor de caudal ultrassónico, vulgarmente conhecido como caudalímetro, da marca OMEGA, modelo FDT-21. Este equipamento utiliza dois sensores ultrassónicos, que se fixam na tubagem que se pretende analisar, recolhendo desta forma a velocidade do fluido que nela circula. Com este valor e com a informação das dimensões e do material da tubagem, o equipamento calcula de forma

automática o caudal volúmico. Para se proceder à calibração do equipamento foram realizados 2 ensaios, um deles nos laboratórios do DEM e outro nas instalações do ISEC, Figura 3.12. Em anexo encontram-se as descrições dos ensaios e dos métodos de calibração.



**Figura 3.12** Medidor de caudal ultrassónico a executar medições.

Ao contrário do que se pretendia não foi possível calcular a potência térmica da caldeira desta forma, porque as tubagens da instalação têm uma proteção isolante, o que levou a que não se conseguissem montar os sensores ultrassónicos do medidor de caudal.

Dadas estas contrariedades optou-se pela estimativa da potência térmica consumida pela instalação através da equação (3.14), a qual representa a potência dissipada na instalação e/ou em perdas durante o intervalo de tempo em que a caldeira não funciona,  $\Delta t_{off}$ . Portanto torna-se óbvio que a energia térmica dissipada durante o  $\Delta t_{off}$  é sempre igual. Assim sendo, o total de energia dissipada por dia obteve-se através da soma desta em todos os  $\Delta t_{off}$  em cada dia.

$$\dot{Q}_{dissipada} = (\rho_{H_2O} \times V_{H_2O} \times c_{p_{H_2O}} + m_{aço} \times c_{p_{aço}}) \times \Delta T \times \frac{1}{\Delta t_{off}} \quad (3.14)$$

Em que  $\rho_{H_2O}$  é a densidade da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $V_{H_2O}$  é o volume de água [ $\text{m}^3$ ],  $m_{aço}$  é a massa de aço [ $\text{kg}$ ],  $c_{p_{aço}}$  é calor específico do aço,  $\Delta T$  é a variação de temperatura em [K] e  $\Delta t_{off}$  é o período de tempo em que a caldeira esteve desligada [s].

As informações sobre volume de água e massa de aço foram obtidas através da consulta do catálogo da caldeira (ANEXO B) enquanto que os dados relativos à variação de temperatura,  $\Delta T$ , foram facultados pelo proprietário da instalação. Como a caldeira funciona maioritariamente durante o período noturno, período no qual se registam temperaturas ambiente mais baixas, considerou-se o  $\Delta T$  igual a  $3^\circ\text{C}$ . Sendo que,  $\Delta T$  pode assumir valores

mais elevados, não sendo relevante para o caso visto isto acontecer principalmente durante o dia em que a caldeira quase não funciona.

Os dados referentes às propriedades do aço e da água foram alvo de consulta por parte do autor. Para o calor específico do aço assumiu-se 0.5 kJ/kg.k e para o da água de 4.186 kJ/kg.k [32].

Esta estimativa da potência térmica consumida pela instalação foi levada a cabo para os períodos correspondentes à 2ª e 3ª medições. Para a 1ª medição não teve interesse fazer esta estimativa visto que nesta medição a caldeira funciona muito pouco tempo.

Tanto na 2ª como na 3ª medição não foram recolhidos dados correspondentes ao final do ciclo de criação, este facto não teve influência nesta análise visto que no final do ciclo a caldeira não entra em funcionamento. Na 3ª medição também não houve recolha de dados nos primeiros 4 dias de criação e para contornar esta situação, optou-se por assumir que para estes dias a caldeira tem um comportamento idêntico ao que se observa nos primeiros 4 dias medidos. Esta opção pode apresentar algumas falhas mas se for tida em consideração a análise à 2ª medição pode comprovar-se que o funcionamento da caldeira nos primeiros dias de cada ciclo é constante.

De modo a obter o período de funcionamento da caldeira decidiu-se instalar um medidor/analizador de energia no disjuntor referente ao motor de insuflação de ar da caldeira, isto porque este motor funciona em simultâneo com a caldeira (Figura 3.13).

Para esta análise utilizou-se o medidor de tensão da marca AEMC, modelo PEL 103 [33]. O modo de instalação e utilização deste equipamento é idêntico ao descrito para o dispositivo FLUKE, apesar de este equipamento ter recolhido e gravado informação de 3 em 3 minutos, nos períodos enunciados no início do capítulo.



**Figura 3.13** Analisador de energia PEL103 ligado no disjuntor do motor de insuflação de ar da caldeira.

Para simplificar a análise dos dados recolhidos optou-se por dividir os períodos de funcionamento da caldeira em 2, um período diurno, das 8h até às 20h e um período noturno, que corresponde às restantes horas do dia.

Como já foi referido, a temperatura no interior do aviário é de extrema importância para o desenvolvimento das aves e tende a variar com a variação da temperatura ambiente no exterior. Assim sendo, optou-se pela apresentação das temperaturas máximas e mínimas no exterior em cada dia e da temperatura recomendada no interior do pavilhão para melhor perceber o funcionamento da caldeira.

A recolha das temperaturas exteriores foi executada através do website weatherunderground. [34]. Esta página de internet apresenta as temperaturas captadas por inúmeras estações meteorológicas em todo o mundo. Neste caso, a recolha foi feita utilizando a estação meteorológica mais próxima da localização do aviário, ou seja, a estação meteorológica de Viseu.

### **3.4.3. Indicadores Energéticos**

De modo a fazer uma comparação mais exata dos valores dos consumos energéticos, obtidos através dos cálculos efetuados, com os valores das instalações da Lusitaves, resolveu-se calcular os consumos específicos, que permitem ter a energia consumida por ave produzida.

No caso da energia elétrica, tornou-se necessário fazer a conversão da eletricidade consumida para energia primária, ou seja, para tonelada equivalente de petróleo, tep. Para proceder à conversão da energia elétrica utilizou-se o fator de conversão de 1 kWh igual a  $215 \times 10^{-6}$  tep, de acordo com o Despacho nº 17313/2008, de 26 de junho [35]. De frisar que este fator de conversão mantém-se desde 2008, tendo existido alterações na forma como é produzida a eletricidade, o que por sua vez, altera o fator de conversão. Tendo-se assumido para este estudo este valor, de acordo com a legislação em vigor.

O consumo específico foi calculado de modo a obter a eletricidade consumida por ave produzida, ou seja, em kWh/ave produzida e em tep/ave produzida.

Deste modo, foi necessário juntar os valores de energia elétrica consumida na 1ª e na 2ª medição, de modo a obter valores para um ciclo completo de criação. Assim sendo, utilizaram-se todos os valores de energia elétrica da 2ª medição, somando-se a eles os valores obtidos na 1ª medição desde o 26º dia de criação até ao 37º, sendo este o último dia do ciclo.

No que à análise das faturas diz respeito, assumiu-se que os 5 meses analisados correspondem a 3,5 ciclos de criação, visto que cada ciclo tem cerca de 37 dias e que o período de paragem entre ciclos é de 7 dias, correspondendo, portanto, a cerca de 105000 aves produzidas.

Por outro lado, no caso da energia térmica, o consumo específico consiste numa análise ao consumo de biomassa por ave produzida, ou seja, kg/ave produzida.

Desta forma a biomassa escolhida para esta análise foi o bagaço de azeitona, por ser a mais utilizada na instalação em estudo.

Assim sendo, com recurso aos dados da estimativa de energia térmica requerida pela instalação referentes à 2ª e 3ª medições e considerando-se que a caldeira tem uma eficiência de 85%, valor indicado no catálogo da mesma, obtém-se a energia primária consumida pela caldeira através da equação (3.15).

$$E_{cons.} = \frac{E_{req.instalação}}{\eta} \quad (3.15)$$

Após a conversão desta energia de kWh para MJ, tendo em conta a proporção de 1 kWh igual a 3.6 MJ e com os valores do PCI do bagaço de azeitona, com diferentes percentagens de humidade, calculou-se a massa de combustível consumida para a produção desta energia, equação (3.16).

$$Comb.consumido = \frac{E_{cons.}}{PCI} \quad (3.16)$$

Através deste valor obteve-se a quantidade de biomassa consumida por ave produzida.

De modo a comparar os valores obtidos do consumo de biomassa com os valores do consumo de eletricidade e com os valores apresentados no relatório ambiental da Luisaves, decidiu-se proceder à conversão dos valores do PCI para tep/Mg, tonelada equivalente de petróleo por tonelada de biomassa, segundo a equação (3.17). Este fator de conversão foi também obtido de acordo com o Despacho nº 17313/2008, de 26 de junho [35].

$$PCI(tep/Mg) = \frac{PCI (MJ/kg)}{41.868} \quad (3.17)$$

De seguida, multiplicou-se este valor do PCI, em tep/Mg, pela quantidade de biomassa consumida, obtendo-se, desta forma, o consumo de biomassa em tep.

Por fim, através do consumo de biomassa e do número de aves produzidas, obteve-se o consumo específico em tep/ave produzida.

Como última análise, foram efetuados os cálculos dos custos energéticos associados à produção, no período de maio/junho, ou seja, a 2ª medição. Estes cálculos foram realizados assumindo que o custo médio da eletricidade, já com as taxas associadas foi de 0.181 €/kWh e que o preço do bagaço de azeitona ronda os 70 €/Mg.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas análises e ensaios experimentais previamente descritos. Para tal, procedeu-se à divisão deste capítulo em dois: a determinação experimental do PCS/PCI; e a análise dos consumos energéticos, que por sua vez se encontra dividido em três subcapítulos, sendo eles: a análise da energia elétrica consumida na instalação, a análise da energia térmica requerida pela instalação e a caracterização dos indicadores energéticos.

### 4.1. Determinação Experimental do PCS/PCI

Nesta análise experimental começou-se por calcular o teor de humidade das amostras, para depois se passar ao cálculo da PCS e do PCI.

#### 4.1.1. Teor de Humidade

O teor de humidade foi calculado segundo o processo descrito no subcapítulo 3.1, desta forma pode ser observado na Tabela 4.1 a massa inicial e após secagem das amostras em estudo.

**Tabela 4.1.** Massa das amostras antes e depois da secagem.

Amostras	Massa inicial [g]	Massa após secagem [g]
Estilha	30.3	24.8
Casca de pinho	20.7	17.6
Bagaço de azeitona	18.4	16.8
Casca de pinhão	---	---

A amostra de casca de pinhão não passou pelo mesmo processo de secagem, devido ao facto de este tipo de combustível já ter passado por vários processos de secagem na altura da remoção do pinhão e conseqüentemente já não conter praticamente nenhuma quantidade de água.

Depois da obtenção da massa após secagem, foi possível obter teor de humidade segundo a equação (3.1), que se encontra na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2.** Teor de Humidade das amostras em estudo.

<b>Amostras</b>	<b>Teor de Humidade [%]</b>
Estilha	18.15
Casca de pinho	14.98
Bagaço de azeitona	8.7

Através da observação da tabela anterior é possível perceber que o bagaço de azeitona é o que tem menor quantidade de água, logo menor será a quantidade de energia gasta no processo de evaporação. Recorrendo ao estudo referenciado no capítulo 2, realizado sobre resíduos sólidos dos lagares do Alentejo, em que a média do teor de humidade calculada para o bagaço de azeitona foi de 9.64% pode observar-se que os resultados obtidos neste estudo são bastante próximos [14].

Por outro lado, pode verifica-se que é a estilha que apresenta maior teor de humidade, sendo necessária maior quantidade de calor para a evaporação desta quantidade de água.

#### **4.1.2. Poder Calorífico Superior**

A obtenção do poder calorífico superior para todas as amostras decorreu como explicado no subcapítulo 3.1, sendo que todos os cálculos foram executados com recurso a *Microsoft Excel* (ANEXO C), onde foram introduzidas todas as temperaturas registadas durante o ensaio.

Para a fase de calibração do equipamento utilizou-se esta mesma folha de *Excel*, mas em vez das equações para a obtenção do PCS usou-se a equação (3.4), com o intuito de obter a capacidade calorífica do calorímetro. Da realização dos três ensaios com ácido benzóico obtiveram-se os resultados representados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3.** Capacidade calorífica do calorímetro.

<b>Ensaio</b>	<b>Capacidade calorífica do calorímetro [cal/°C]</b>
1° Ensaio	2422.641
2° Ensaio	2426.063
3° Ensaio	2429.462
Média	2426.055

O valor utilizado para posteriores cálculos foi a média das capacidades caloríficas dos ensaios com ácido benzóico.

O ensaio para cada uma das amostras começa pela prensagem e posterior pesagem dos comprimidos de amostra. Na Tabela 4.4 pode ver-se a massa com que se realizou cada um dos ensaios.

**Tabela 4.4.** Massa das amostras para o ensaio no calorímetro.

<b>Amostras</b>	<b>Massa [g]</b>
Estilha	0.69556
Casca de pinho	0.71071
Bagaço de azeitona	0.80396
Casca de pinhão	0.80893

Depois de realizar o ensaio e após o preenchimento da folha de *Excel* com as temperaturas registadas foi possível criar um gráfico com a evolução da temperatura em ordem ao tempo.

Na Figura 4.1 pode verificar-se a evolução das temperaturas durante o ensaio para amostra de estilha. Para as restantes amostras obtiveram-se gráficos idênticos a este.

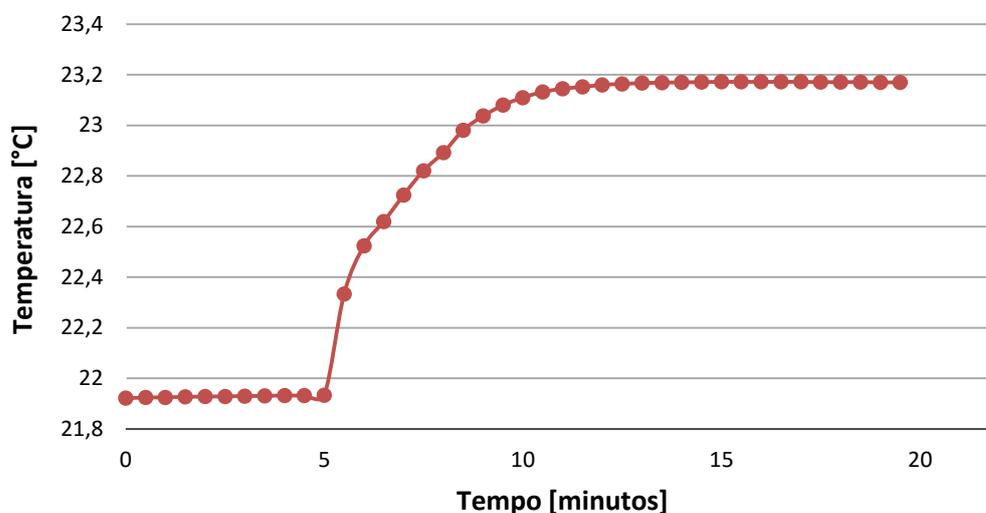


Figura 4.1 Evolução da temperatura durante o ensaio da estilha.

O valor do PCS para cada amostra foi obtido através dos procedimentos e das equações apresentadas no subcapítulo 3.1, e podem ser observados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Valor do poder calorífico superior (PCS) das amostras em estudo.

Amostras	PCS [MJ/kg]
Estilha	17.92
Casca de pinho	18.50
Bagaço de azeitona	19.30
Casca de pinhão	21.28

A amostra que apresenta maior PCS é a amostra de casca de pinhão e a que apresenta menor PCS é a amostra de estilha.

#### 4.1.3. Poder Calorífico Inferior

Para o cálculo do poder calorífico inferior através da equação (3.7) é necessário uma análise elementar dos combustíveis em estudo. Visto não ter sido possível desenvolver esta análise elementar, assumiram-se valores de estudos já efetuados com os mesmos combustíveis, apresentados na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6.** Análise elementar dos diferentes combustíveis.

Análise elementar [%]	Estilha [36]	Casca de pinho [15]	Bagaço de azeitona [14]	Casca de pinhão <sup>1</sup>
Carbono	48.4	46	50.54	46
Hidrogénio	6	6.2	5.86	6.2
Oxigénio	45.3	47.3	42.56	47.3
Azoto	0.1	0.5	0.97	0.5
Enxofre	0	<0.01	0.07	<0.01

Desta forma, o poder calorífico inferior em base seca para os diferentes tipos de biomassa foi calculado e encontra-se representado na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7.** Valor do poder calorífico inferior (PCI) em base seca das amostras em estudo.

Amostras	PCI [MJ/kg]
Estilha	16.61
Casca de pinho	17.15
Bagaço de azeitona	18.02
Casca de pinhão	19.93

Como foi referido no subcapítulo 3.1, procedeu-se ao cálculo do poder calorífico inferior para amostras com diferentes percentagens de humidade através da equação (3.8). Os resultados deste cálculo podem ser observados na Tabela 4.8.

<sup>1</sup>Não foi possível encontrar valores para a análise elementar da casca de pinhão, portanto assumiram-se os mesmos valores que para a casca de pinho.

**Tabela 4.8.** Valor do poder calorífico inferior (PCI) das amostras com diferentes percentagens de humidade.

Amostras	PCI [MJ/kg]		
	7% de humidade	14% de humidade	21% de humidade
Estilha	15.28	13.94	12.61
Casca de pinho	15.78	14.41	13.04
Bagaço de azeitona	16.59	15.15	13.72
Casca de pinhão	18.36	16.80	15.23

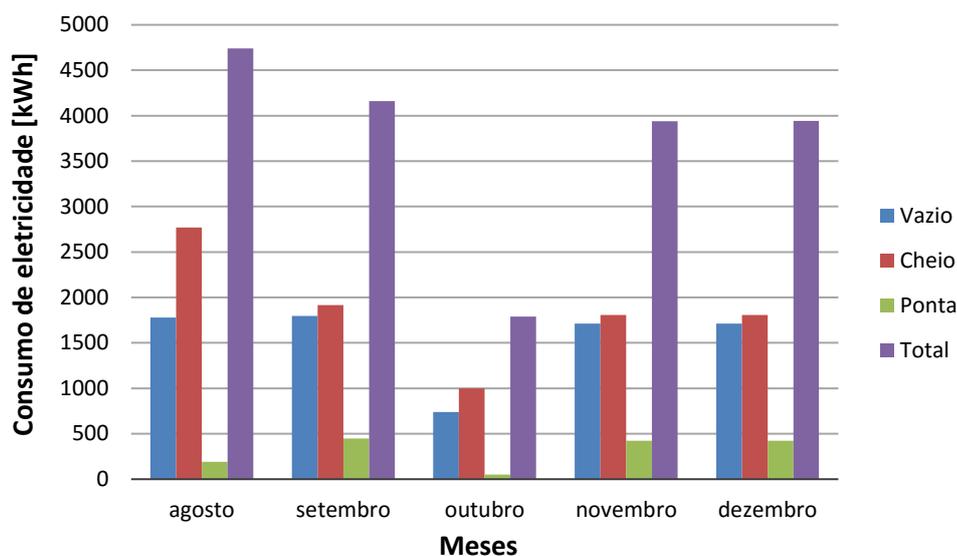
Pode concluir-se, como era expectável, que com o aumento da quantidade de água na biomassa existe uma conseqüente diminuição do poder calorífico inferior.

## **4.2. Análise dos Consumos Energéticos**

Nesta secção são apresentados os resultados dos métodos descritos no subcapítulo 3.4.

### **4.2.1. Análise da Energia Elétrica Consumida na Instalação**

Como foi referido no subcapítulo 3.4.1 as faturas da eletricidade encontram-se divididas em 3 períodos com diferentes horários e custos, tendo isto em conta, apresentam-se na Figura 4.2 os valores do consumo de eletricidade faturada para cada um destes períodos e o total de cada mês.



**Figura 4.2** Consumo de eletricidade [kWh], para diferentes meses de 2015.

No gráfico apresentado acima é possível observar que é durante o dia que existe maior consumo de eletricidade, sendo o mês de agosto o que apresenta maiores consumos durante as horas de cheio, aproximadamente 2770 kWh. O consumo em horas de vazio é constante durante quase todos os meses, nos quais se situa muito próximo do 1700 kWh. Em outubro, nota-se uma redução nos consumos que se pode justificar com o facto de o aviário ter estado inativo entre períodos de criação, parando durante parte do mês, para a desinfeção do mesmo.

Da análise das faturas foi também possível obter o custo médio da energia elétrica, durante estes 5 meses, em €/kWh, já com todas as taxas associadas. Com a informação de que foram consumidos 18572 kWh, ao que corresponde um custo de 3364.88€, pode concluir-se que a eletricidade foi adquirida a uma média de 0.181€/kWh.

Das medições feitas no quadro geral da instalação foi possível obter a potência elétrica consumida de acordo com as equações (3.10) e (3.11). Sendo que, como referido no subcapítulo 3.4.1, o cálculo destas potências apenas foi possível assumindo valores plausíveis para o fator de potência, um de 0.88 e outro de 0.92.

Por outro lado, percebeu-se que seria interessante observar a influência das temperaturas exteriores, tanto as temperaturas mínimas como as máximas, na variação da potência total consumida.

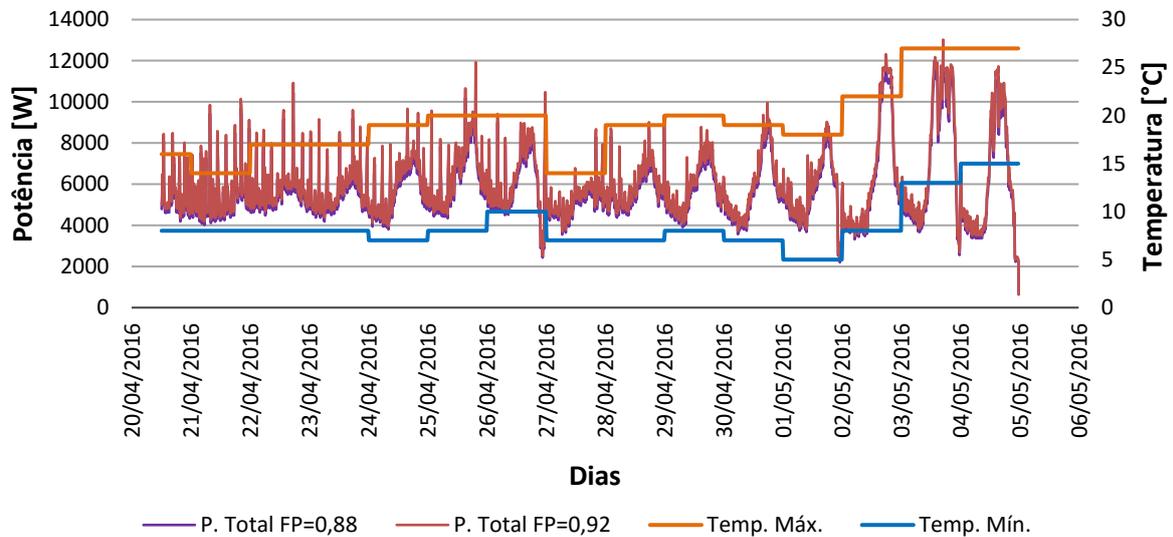


Figura 4.3 Potência elétrica medida na instalação (1ª medição).

No gráfico representado na Figura 4.3 encontra-se caracterizada a potência elétrica medida no quadro geral da instalação, durante o primeiro período analisado e pode observar-se que a potência máxima consumida é de, aproximadamente, 12 kW. É visível que não existem grandes diferenças entre as duas potências calculadas para os dois fatores de potência assumidos.

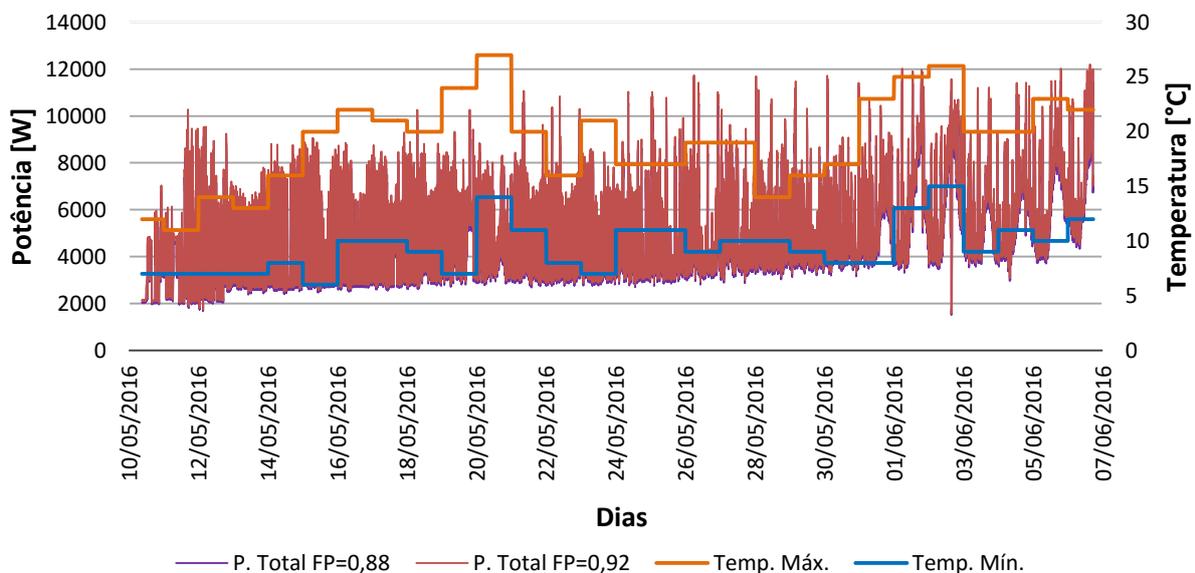


Figura 4.4 Potência elétrica medida na instalação (2ª medição).

Na segunda medição realizada na instalação (Figura 4.4) é possível observar, da mesma forma que na primeira medição, que a potência máxima consumida não ultrapassa os 12 kW.

Para a comparação com a potência contratada à entidade distribuidora foi necessário calcular a potência real, que se encontra calculada na Tabela 4.9.

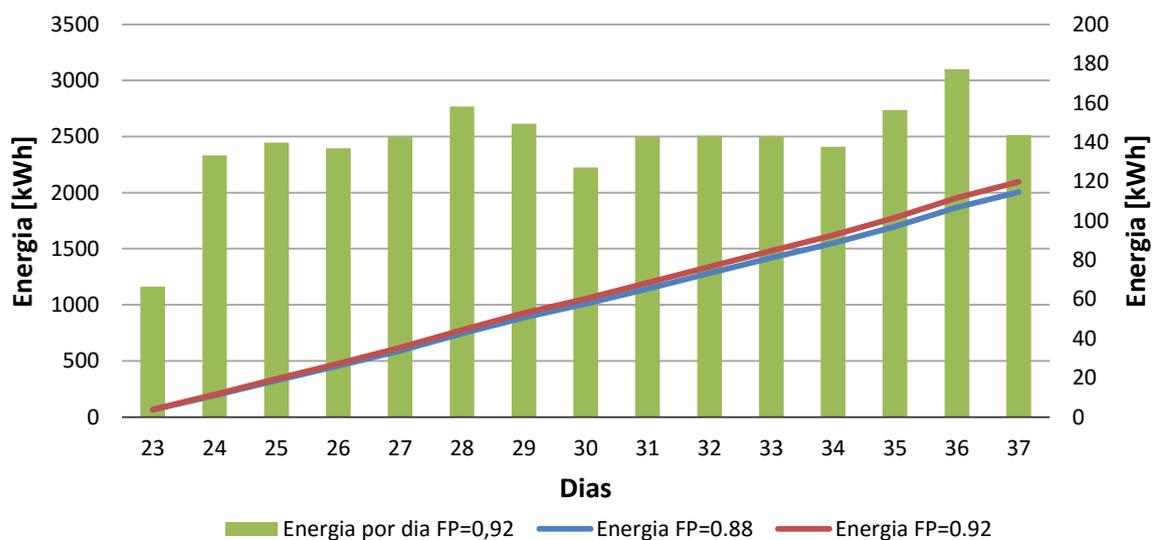
**Tabela 4.9.** Potência real para os dois FP assumidos.

Potência aparente [kVA]	Potência real [kW]	
	FP=0.88	FP=0.92
27.6	24.29	25.39

Desta forma, pode concluir-se que a potência contratada à entidade distribuidora está bem acima das necessidades da instalação.

Assim sendo, através da consulta das tabelas das tarifas da EDP (ANEXO D), pode constatar-se que uma tarifa de baixa tensão normal <20,7 kVA colmataria as necessidades da instalação.

Mediante os valores obtidos das potências consumidas na instalação, foi realizada uma estimativa da energia consumida pela mesma, apresentados na Figura 4.5.



**Figura 4.5** Energia elétrica consumida na instalação (1ª medição).

Na Figura 4.5 é possível ver os consumos de energia elétrica total desde o 23º dia de criação até ao final da criação, apresentando neste período valores a rondar os 2000

kWh, tanto para o  $FP=0.88$  como para  $FP=0.92$ . De salientar que os consumos diários rondam 140 kWh.

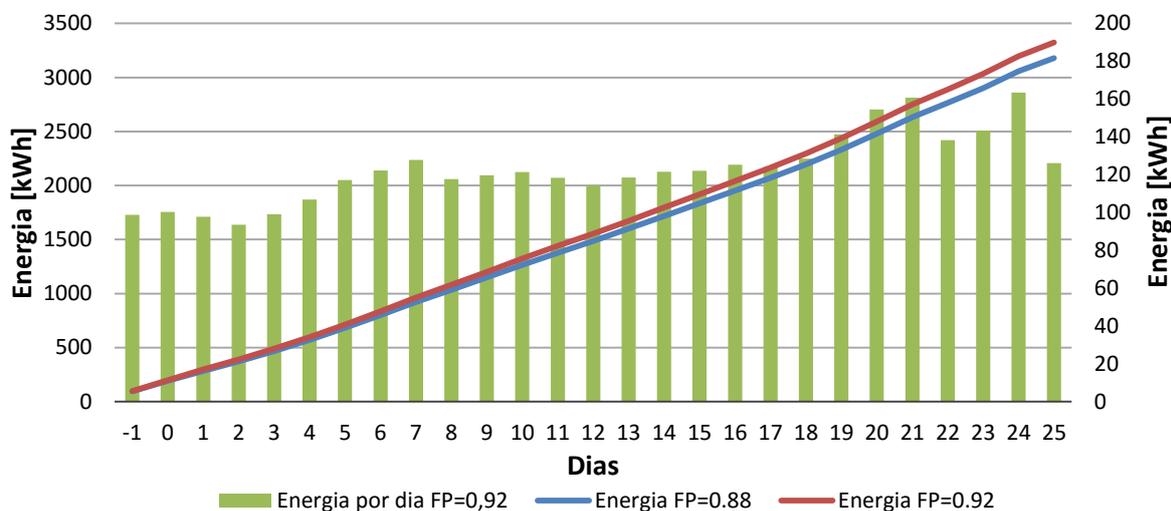


Figura 4.6 Energia elétrica consumida na instalação (2ª medição).

Na Figura 4.6 pode ver-se a evolução do consumo de energia elétrica desde o 2º dia anterior ao início do ciclo de criação até ao 25º dia, observando-se que a instalação consome aproximadamente 3200 kWh de energia elétrica. Sendo também possível observar que no início do ciclo o consumo diário é na ordem dos 100 kWh e à medida que as aves se vão desenvolvendo, o consumo diário aumenta para, aproximadamente, 140 kWh.

De forma a obter o consumo de energia elétrica durante um ciclo completo de criação, decidiu-se somar ao consumo registado neste período os consumos obtidos desde o 26º dia até ao final da 1ª medição. Deste modo, alcançou-se um consumo de energia elétrica de, aproximadamente, 5000 kWh para a criação de 30000 aves.

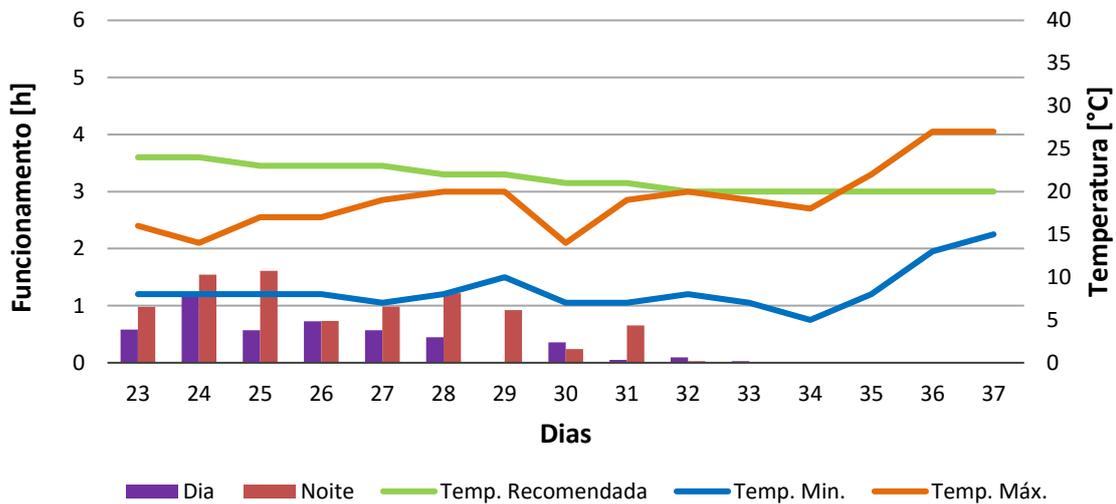
#### 4.2.2. Análise da Energia Térmica Requerida pela Instalação

Numa primeira fase esta análise passa pela determinação dos períodos de funcionamento da caldeira, para posteriormente ser possível determinar a potência dissipada pela instalação.

##### 4.2.2.1. Período de funcionamento da Caldeira

Como explicado no subcapítulo 3.4.2 foi instalado um medidor de energia no disjuntor do motor de insuflação da caldeira para a obtenção do período de funcionamento da caldeira. Após a recolha e tratamento de dados nos três períodos em que se analisaram os

consumos do aviário, foi possível obter o gráfico com o tempo de funcionamento da caldeira. Na Figura 4.7 é apresentado o gráfico com o funcionamento da caldeira para o primeiro período analisado.



**Figura 4.7** Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 1ª medição.

Para esta análise convém ter presente que o primeiro dia analisado corresponde ao 23º dia de criação das aves, o que equivale a uma temperatura recomendada no interior da nave de, aproximadamente, 24°C.

Deste modo, a análise do gráfico apresentado na Figura 4.7, permite concluir que é durante os períodos noturnos que a caldeira funciona mais tempo, altura do dia em que as temperaturas exteriores são mais baixas, tendo funcionado mais tempo durante a noite do 25º dia de criação, no qual trabalhou durante 1 hora e 36 minutos. O dia (período noturno mais diurno) em que trabalhou mais horas foi o 24º dia, com um total de 2 horas e 45 minutos de funcionamento. Estes períodos de funcionamento mais longos devem-se ao facto da temperatura exterior ser mais reduzida e de a temperatura recomendada para o interior ser relativamente elevada. O 30º dia é o que apresenta temperaturas exteriores mais baixas e pode observar-se que a caldeira funcionou pouco tempo, isto pode justificar-se com o facto de a temperatura recomendada para o interior ser de, aproximadamente, 20°C. Esta é também a justificação que pode ser dada para o facto de a caldeira não funcionar a partir do 34º dia.

Neste período a caldeira funcionou durante, aproximadamente, 14 horas, não sendo possível chegar a nenhuma conclusão, visto que o período em que funciona mais tempo não foi analisado.

Os períodos de funcionamento da caldeira para a segunda medição feita no aviário encontram-se caracterizados na Figura 4.8.

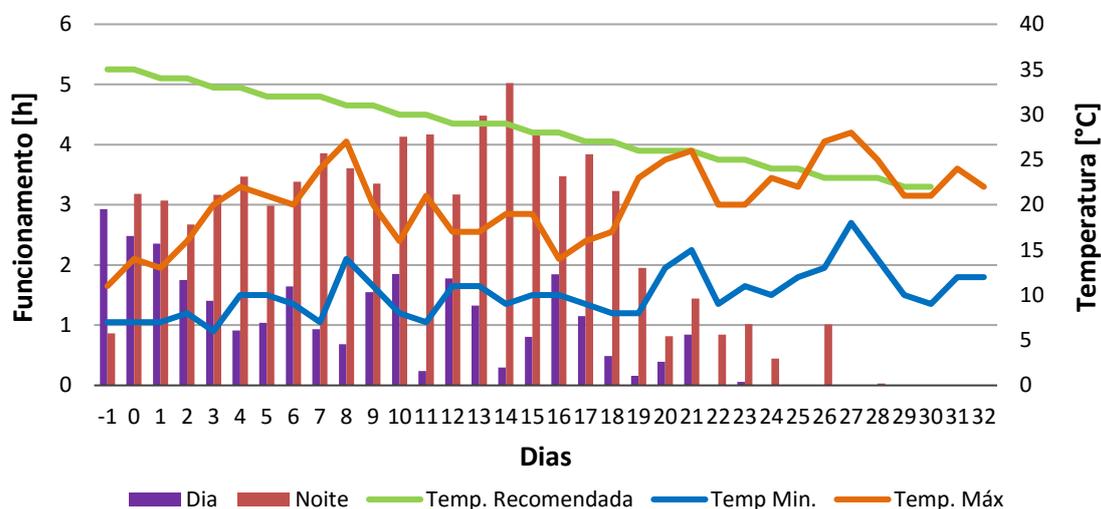


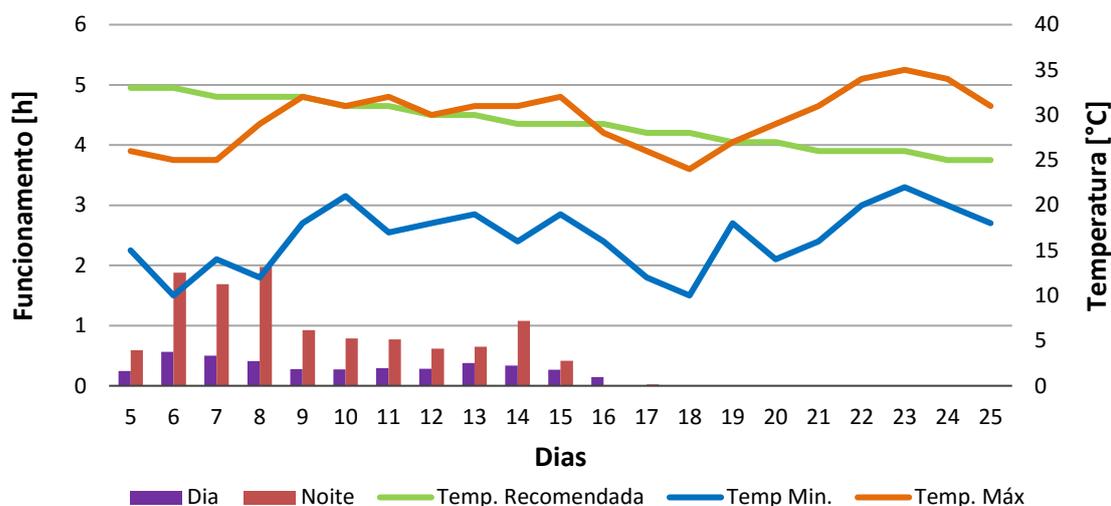
Figura 4.8 Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 2ª medição.

Na Figura 4.8 pode observar-se o funcionamento da caldeira a partir do início do ciclo de criação das aves, ao contrário do que aconteceu na primeira medição realizada. É possível ver que a caldeira entra em funcionamento ainda antes da receção das aves, para que a temperatura no interior do aviário seja a indicada para o 1º dia de criação.

A análise do gráfico permite concluir que a caldeira funciona durante períodos de tempo mais alargados até ao 17º dia, sendo que funciona aproximadamente 5 horas em quase todos os dias (período noturno mais diurno) até ao dia em questão. O funcionamento da caldeira dá-se maioritariamente durante a noite, como também se tinha observado na 1ª medição. A noite em que a caldeira esteve mais tempo ligada deu-se ao 14º dia de criação, na qual funcionou durante 5 horas. Por outro lado, o dia (período noturno mais diurno) em que funcionou mais tempo foi o 10º dia, tendo funcionado durante 6 horas. Pode também observar-se que a caldeira deixou de funcionar mais cedo que na 1ª medição, isto aconteceu devido à altura do ano em que se realizou a 2ª medição, na qual se observaram temperaturas exteriores mais elevadas.

Nesta medição a caldeira funcionou cerca de 106 horas ao longo de todo o ciclo.

Na Figura 4.9 apresentam-se os dados referentes ao período de funcionamento da caldeira na 3ª medição.



**Figura 4.9** Tempo de funcionamento da caldeira [h], na 3ª medição.

Através da análise da Figura 4.9, é possível observar que as temperaturas exteriores registadas nesta altura do ano foram mais elevadas que em qualquer uma das outras. Este fator foi o que mais influenciou para o facto de a caldeira ter sido acionada menos vezes. Os dias nos quais a caldeira funcionou durante mais tempo foram os 6º, 7º e 8º dias de criação, correspondendo isto aos dias em que se registaram temperaturas exteriores mínimas mais baixas. Nestes dias a caldeira funcionou cerca de metade do tempo comparativamente aos mesmos dias da 2ª medição.

Assumindo que nos primeiros quatro dias de criação a caldeira funcionou o mesmo tempo que nos primeiros 4 dias em que foram recolhidos dados, tem-se um tempo de funcionamento de, aproximadamente, 30 horas ao longo do ciclo, valor que é bem diferente do que se obteve para a 2ª medição (106 horas). Isto pode justificar-se com o facto de na 2ª medição a média das temperaturas exteriores rondar os 15°C, enquanto na 3ª medição se registou uma temperatura média na ordem dos 23°C.

Através desta análise dos períodos de funcionamento totais destes dois últimos ciclos, pode concluir-se que a temperatura registada no exterior do aviário é de extrema importância para o funcionamento da caldeira.

#### 4.2.2.2. Potência térmica dissipada pela instalação.

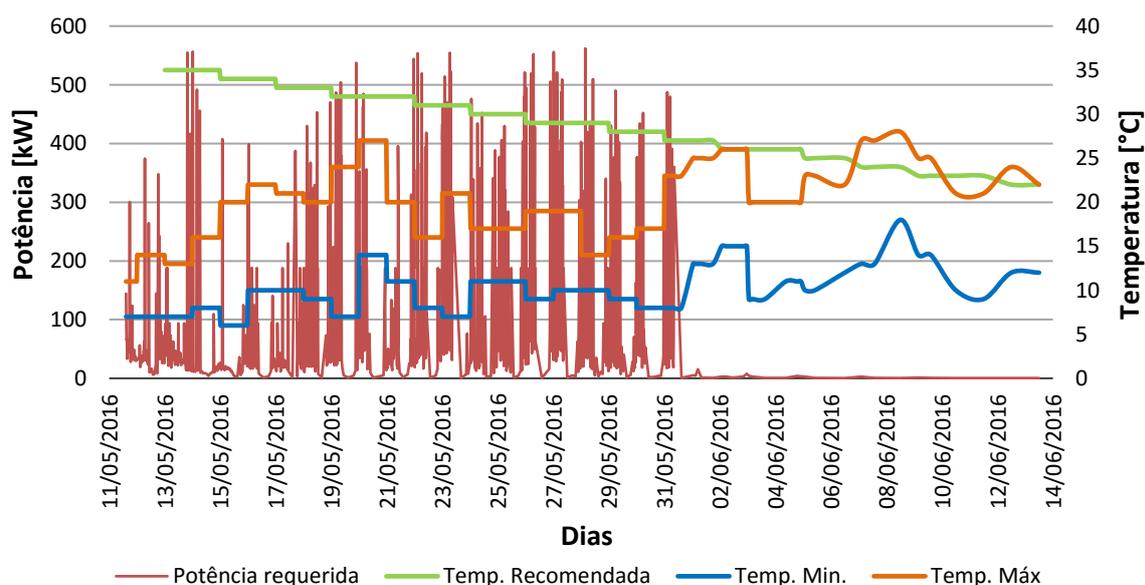
Para conseguir estimar a potência térmica dissipada pela instalação através da equação (3.14), torna-se necessário obter os valores das incógnitas da referida equação.

Assim tem-se:

- $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $V_{H_2O} = 2.2 \text{ m}^3$
- $c_{p_{H_2O}} = 4,186 \text{ kJ/kgK}$
- $m_{aço} = 4200 \text{ kg}$
- $c_{p_{aço}} = 0.5 \text{ kJ/kgK}$
- $\Delta T = 3 \text{ K}$

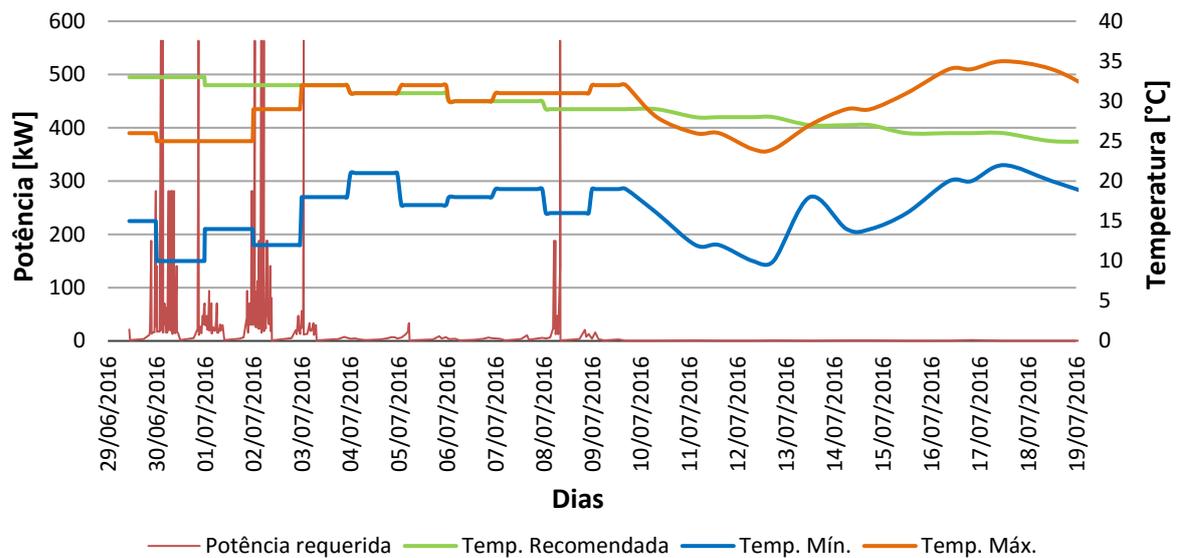
Tendo os dados dos períodos de funcionamento da caldeira na 2ª e na 3ª medição, foi feita uma análise inversa para obter os períodos em que esteve desligada,  $\Delta t_{off}$ .

Assim sendo, pode observar-se na Figura 4.10 a potência térmica dissipada pela instalação no período referente à 2ª medição.



**Figura 4.10** Potência dissipada pela instalação na 2ª medição.

No gráfico acima representado pode observar-se que na instalação existem alturas em que a potência térmica dissipada atinge, aproximadamente, os 560 kW. Isto acontece nos períodos em que a caldeira deixa de funcionar apenas durante 1 minuto, arrancando logo de seguida. Ou seja, a água quente que se encontrava no seu interior desceu os 3°C de referência, obrigando a caldeira a entrar em funcionamento para compensar esta perda. A potência consumida pela instalação apresenta um valor médio de 115 kW ao longo de todo este período.



**Figura 4.11** Potência dissipada pela instalação na 3ª medição.

Na Figura 4.11 encontra-se o gráfico representativo da potência dissipada pela instalação na 3ª medição. Neste gráfico pode observar-se que, como para o caso da 2ª medição, existem períodos do dia em que a potência dissipada pela instalação atinge os 560 kW. Para este período o valor médio da potência consumida encontra-se, aproximadamente, nos 65 kW. Este valor situa-se bem abaixo do obtido na 2ª medição visto que as temperaturas nesta ultima medição tiveram um aumento significativo. Um fator a ter em conta é o facto de neste período não se terem recolhido dados dos primeiros dias, altura em que a caldeira é acionada mais vezes.

#### 4.2.2.3. Energia térmica dissipada

A estimativa da energia térmica dissipada decorreu segundo a metodologia descrita no subcapítulo 3.4.2, tendo sido obtida através da potência térmica dissipada pela instalação. Neste sentido, a Figura 4.12 começa por ilustrar os resultados obtidos através deste método para a 2ª medição.

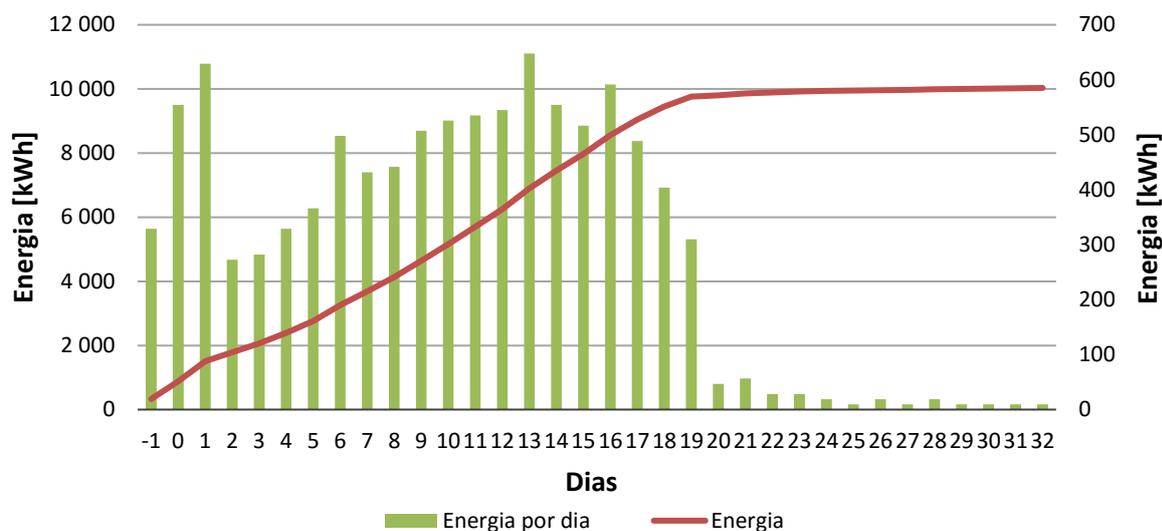


Figura 4.12 Energia térmica dissipada pela instalação na 2ª medição.

Da análise do gráfico verifica-se que a partir do 19º dia de criação (31/05/2016) já não é consumida energia térmica na instalação, sendo que os valores que estão representados para esses dias correspondem às perdas térmicas da caldeira. Apresentando-se até ao 19º dia um consumo de energia térmica na ordem dos 10 MWh.

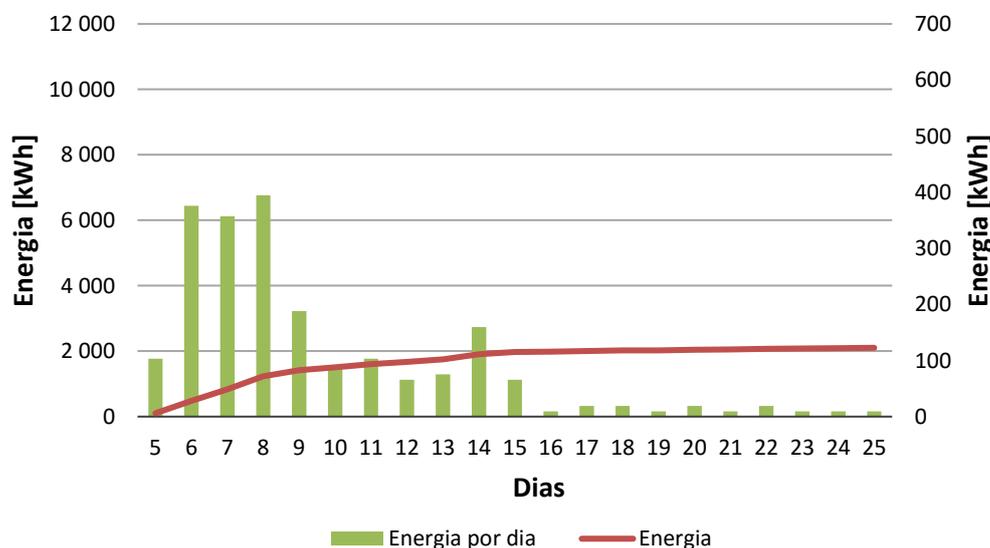


Figura 4.13 Energia térmica dissipada pela instalação na 3ª medição.

Na Figura 4.13 apenas estão representados os dados desde o 5º dia de criação, tornando-se muito difícil estimar o consumo de energia térmica neste período. Considerando que o consumo nos primeiros dias, não analisados, teve o mesmo comportamento do 5º ao 8º dia, pode dizer-se que a instalação consumiu cerca de 3,3 MWh neste período.

O valor consumido neste período ficou muito aquém do que se verificou na 2ª medição. Recorrendo à bibliografia, esta redução nos consumos pode ser explicada devido ao facto de as temperaturas registadas no exterior serem mais elevadas. Esta redução verificar-se-á nos custos com a produção.

#### 4.2.3. Indicadores Energéticos

Como explicado no subcapítulo 3.4.3, optou-se por utilizar o consumo específico para uma mais fácil comparação dos diferentes dados analisados.

**Tabela 4.10.** Consumo específico de energia elétrica.

	<b>Medições</b>	<b>Faturas</b>	<b>Lusiaves<sup>2</sup> [26]</b>
<b>Nº de aves</b>	30000	105000	64410
<b>Energia elétrica [kWh]</b>	5080	18572	22760
<b>Energia elétrica [tep]</b>	1.092	3.993	4.893
<b>Consumo específico [kWh/ave produzida]</b>	0.17	0.18	0.35
<b>Consumo específico [tep/ave produzida]</b>	$3.6 \times 10^{-5}$	$3.8 \times 10^{-5}$	$7.6 \times 10^{-5}$

Na Tabela 4.10 encontram-se caracterizados os consumos dos dois tipos de análise executados e do aviário que se usou como termo de comparação, Lusiaves.

Desta forma, é possível observar que o consumo de energia elétrica contabilizado nas medições está muito próximo do que se apurou através das faturas facultadas pelo proprietário da instalação. Quando comparados os dados da instalação em estudo com os dados da instalação da Lusiaves, pode observar-se que o consumo de eletricidade por aves produzida aumenta, praticamente para o dobro. Este aumento, pode justificar-se com facto de na instalação da Lusiaves se produzirem cerca de 15000 aves por pavilhão, enquanto no aviário em estudo se produzem 30000 aves.

<sup>2</sup> Para esta instalação foi apresentado o consumo médio anual de um ciclo de criação.

**Tabela 4.11.** Consumo específico de energia térmica.

		<b>2ª Medição</b>	<b>3ª Medição</b>
<b>Nº de aves</b>		30000	30000
<b>Energia consumida na caldeira [MJ]</b>		42480	14120
<b>Consumo de bagaço de azeitona [kg]</b>	<b>7% de humidade</b>	2561	851
	<b>14% de humidade</b>	2803	931
<b>Consumo específico [kg/ave produzida]</b>	<b>7% de humidade</b>	0.085	0.028
	<b>14% de humidade</b>	0.093	0.031
<b>Consumo de bagaço de azeitona [tep]</b>	<b>7% de humidade</b>	1.015	0.337
	<b>14% de humidade</b>	1.015	0.337
<b>Consumo específico [tep/ave produzida]</b>	<b>7% de humidade</b>	$3.383 \times 10^{-5}$	$1.124 \times 10^{-5}$
	<b>14% de humidade</b>	$3.382 \times 10^{-5}$	$1.124 \times 10^{-5}$

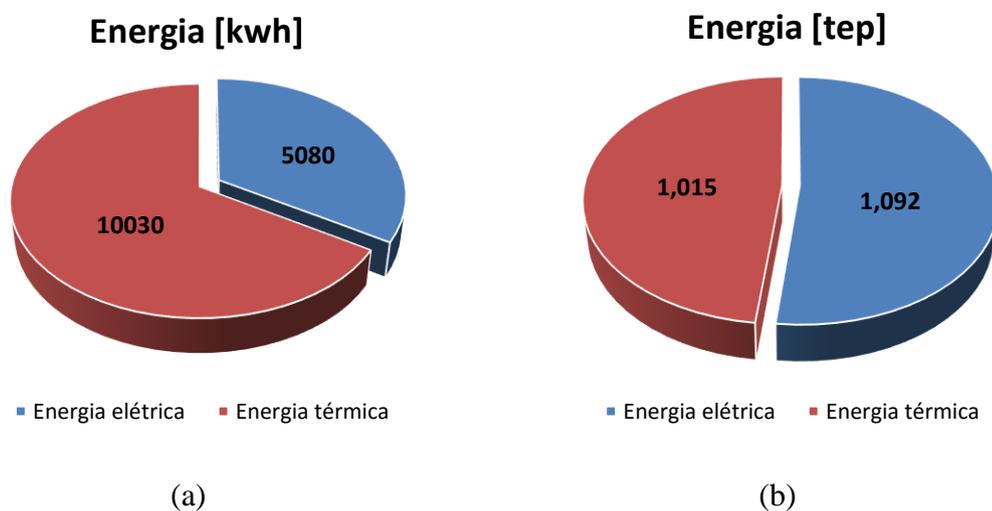
Comparando os consumos de eletricidade e de biomassa (Tabela 4.11) é possível observar, que para a 2ª medição, o consumo específico é idêntico para os dois casos. Como já foi referido a cima, na 3ª medição não houve recolha de dados de energia elétrica.

Através da comparação do consumo de biomassa na 2ª e na 3ª medição é possível observar que o consumo específico foi bastante reduzido na última medição realizada. Comprovando-se isto com o reduzido tempo de funcionamento da caldeira.

**Tabela 4.12.** Consumo específico da instalação da Lusiaves.

	<b>Lusiaves[26]</b>
<b>Nº de aves</b>	386462
<b>Consumo de biomassa [Mg]</b>	739.5
<b>Consumo de biomassa [tep]<sup>3</sup></b>	196.53
<b>Consumo específico [tep/ave produzida]</b>	$5.085 \times 10^{-4}$

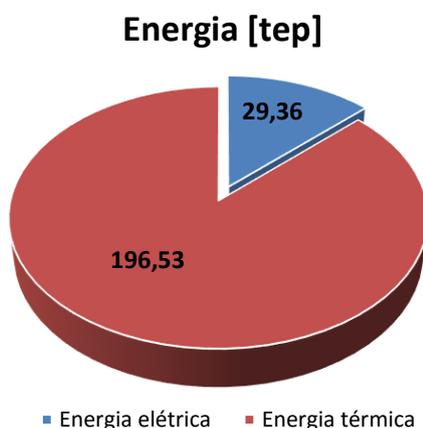
Os consumos de energia térmica, disponíveis no relatório ambiental da Lusiaves (Tabela 4.12), são apresentados para um ano, tornando-se impossível retirar conclusões quando comparados com os resultados deste estudo. Visto que, como já foi referido em cima, uma instalação deste tipo apresenta consumos de energia térmica muito diferentes num ciclo de criação que se realiza no Verão ou no Inverno.

**Figura 4.14** (a) Energia consumida [kwh]; (b) Energia consumida [tep].

Na Figura 4.14 (a) e na Figura 4.14 (b) encontram-se representados os consumos de energia, tanto elétrica como térmica em kWh e em tep, obtidos na 2ª medição, medição na qual se tem informação sobre estes dois parâmetros.

<sup>3</sup> Para a conversão para tep foi utilizado o PCI de 11.6 MJ/kg de acordo com o Despacho nº17313/2008 [35].

No caso da análise em kWh pode observar-se que o consumo de energia elétrica representa 34% do consumo total de energia. Por outro lado, em termos de energia primária consumida, tep, tem-se um consumo de energia elétrica a perfazer 52% dos consumos totais.



**Figura 4.15** Energia consumida na instalação da Lusiaves [tep].

Na Figura 4.15 pode observar-se o consumo de eletricidade e de biomassa em tep, ao longo de um ano, no aviário que foi usado como base de comparação. Desta figura é possível constatar, que num período anual, o consumo de biomassa é bem superior ao consumo de eletricidade, representando este apenas 13% dos consumos totais da instalação.

Para a obtenção dos custos associados aos consumos energéticos da instalação em estudo, sabe-se, dos cálculos efetuados na análise das faturas de eletricidade, que o custo médio da energia elétrica, já com todas as taxas, é de 0.181 €/kWh. No caso da biomassa, mais concretamente o bagaço de azeitona, é adquirido a 70 €/Mg.

Assim sendo, os custos da energia consumida, eletricidade e biomassa, para a medição efetuada em maio/junho, ou seja a 2ª medição, foram de 920€ de eletricidade e 180 € de biomassa. Desta forma, é possível concluir que os custos totais, para a produção das 30000 aves, foram na ordem dos 1100€, ao que corresponde um custo de 0.037 €/ave produzida.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente capítulo apresentam-se todas as conclusões retiradas a partir da análise dos resultados, sendo, seguidamente, apresentadas propostas para trabalhos futuros no domínio desta dissertação

### 5.1. Conclusão

Durante a realização deste estudo foi avaliado o consumo de energia elétrica e energia térmica para a produção de 30000 aves, num único aviário, tendo-se avaliado o poder calorífico da biomassa mais utilizada na instalação em estudo.

Na análise efetuada com o intuito de obter o poder calorífico superior e inferior dos diferentes tipos de biomassa estudados (estilha, casca de pinho, bagaço de azeitona, casca de pinhão), pode concluir-se que o combustível que apresentou maior PCI em base seca foi a casca de pinhão com 19.9 MJ/kg, por outro lado a estilha apresentou o valor mais baixo, com um PCI de 16.6 MJ/kg.

Na análise da energia elétrica consumida na instalação, os resultados obtidos a partir das diferentes medições realizadas permitem concluir que, para um ciclo de criação de 30000 aves, o consumo de eletricidade é de 5000 kWh, ao qual corresponde um custo de 920€. Nestas medições verificou-se picos de potência elétrica na ordem do 12 kW. Através da consulta das faturas da eletricidade, o consumo para o mesmo número de aves, 30000, ronda os 5300 kWh.

Na medição efetuada durante no ciclo entre maio/junho (2ª medição), a caldeira funcionou cerca de 106 horas, produzindo, aproximadamente, 10000 kWh de energia térmica. Para a produção desta energia gastou-se, sensivelmente, 2600 kg de biomassa, correspondendo a um custo de 110 €. Neste período, a temperatura média exterior na região foi de 15 °C.

Por outro lado, na medição que decorreu durante junho/julho (3ª medição), a temperatura média exterior registada foi de 23 °C, a caldeira funcionou durante cerca de 30 horas, tendo produzido, aproximadamente, 3300 kWh de energia térmica. Esta produção de energia representa um consumo de biomassa de 850 kg, que custou 60 €. Pelo que se

verificou que o tempo de funcionamento da caldeira é fortemente influenciado pela temperatura exterior.

Em relação ao consumo específico da energia consumida na instalação, observou-se que foram consumidos  $3.6 \times 10^{-5}$  tep/ave produzida, de eletricidade e  $3.38 \times 10^{-5}$  tep/ave produzida, de biomassa.

Por outro lado, atendendo aos custos associados com a aquisição de eletricidade e de biomassa, verifica-se que foram gastos 920€ em eletricidade e 180€ em biomassa, no período correspondente à 2ª medição. Concluindo-se portanto, que o custo energético para um ciclo de criação (maio/junho) de 30000 aves é de 1100€.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

De modo a dar seguimento ao estudo apresentado nesta dissertação são sugeridas algumas propostas para trabalhos futuros:

1. Realização da análise dos consumos energéticos na instalação em estudo durante 1 ou 2 ciclos de criação no Inverno, de forma a poder comparar os resultados obtidos.
2. Realização da análise da potência térmica através da metodologia que, inicialmente, foi prevista para este estudo.
3. Estudo da viabilidade de aplicação de um sistema de produção de energia térmica e energia elétrica, vulgarmente conhecida como cogeração, na instalação em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DGEG, “Relatório de Energia em Portugal 2014,” 2016.
- [2] United Nations, “The Rio Declaration on Environment and Development,” 1992, pp. 14–16.
- [3] United Nations, “Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change,” 1998.
- [4] Commission of the European Communities, “Europe’s Climate Change Opportunity.” 2008.
- [5] República Portuguesa, “Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis ap abrigo da DIRETIVA 2009/28/CE.” 2009.
- [6] Presidência do conselho de Ministros, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013.” 2013.
- [7] P. Ferreira and L. Fernandes, “Renewable energy scearios in the Portuguese electricity system.” pp. 51–57, 2013.
- [8] S. Lee, J. G. Speight, and S. K. Loyalka, “Handbook of Alternative Fuel Technologies.” CRC Press, Boca Raton, 2007.
- [9] A. Grauer and M. Kawano, “Aproveitamento de resíduos para biomassa é rentável - Gestão no Campo Aproveitamento de resíduos para biomassa é rentável - Gestão no Campo,” *Rev. da Madeira*, vol. 110, pp. 2–4, 2008.
- [10] A. J. P. dos Santos, “Dimensionamento de uma caldeira com produção de água quente queimando peletes de biomassa,” Universidade do Porto, 2009.
- [11] X. Zhang, “Numerical modeling of biomass combustion in a stoker boiler,” University of Iowa, 2011.
- [12] F. Marques, “Relatório - Grupo de Trabalho da Biomassa,” 2013.
- [13] “Operating Instruction Manual Oxygen Bomb Calorim 1341 No. 2 0 4 M.” PARR Instrument Company, Moline, Illinois.
- [14] M. R. D. E. Freitas, “Avaliação do Potencial Energético dos Resíduos Sólidos dos Lagares do Alentejo,” Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [15] M. Rabaçal, “Influência das Características do Combustível no Desempenho

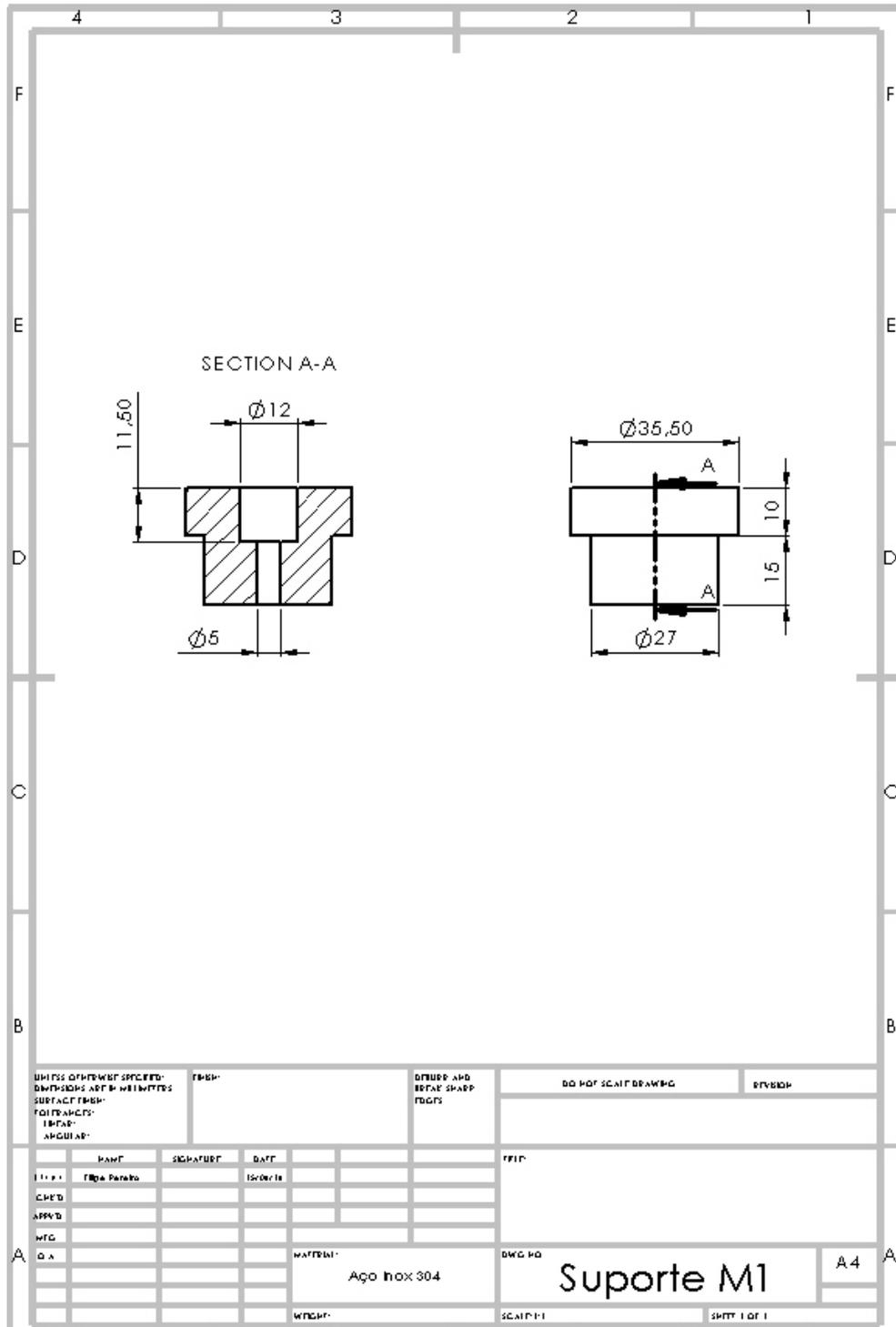
- Energético e Ambiental de Caldeiras Domésticas,” Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [16] M. P. V. Monteiro, “Combustao de biomassa e tratamento de efluentes gasosos.” 2010.
- [17] A. C. Harding, D. W. Nutter, and Y. Liang, “Unit Operation Energy Intensities for a Poultry Broiler Processing Plant,” in *Energy Engineering*, 2016, pp. 21–52.
- [18] Observatório dos Mercados Agrícolas e Importações Agro-Alimentares, “A Produção e Comercialização de Ovos em Portugal,” 2016. [Online]. Disponível em: [http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id\\_item=103](http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=103).
- [19] H. B. Jones and S. R. Lee, “Factors Influencing Energy Consumption and Costs in Broiler Processing Plants in the South,” *South. J. Agric. Econ.*, pp. 63–68, 1978.
- [20] H. Xin, I. L. Berry, G. T. Tabler, and T. A. Costello, “Heat and Moisture Production of Poultry and their Housing Systems: Broilers,” *Trans. ASAE*, vol. 44, no. 6, pp. 1851–1857, 2001.
- [21] P. G. De Abreu, “Área de Construções Rurais e Ambiência Embrapa Suínos e Aves Introdução.” pp. 65–78, 2003.
- [22] S. Yahav, A. Straschnow, E. Vax, V. Razpakovski, and D. Shinder, “Air Velocity Alters Broiler Performance Under Harsh Environmental Conditions,” *Poult. Sci.*, vol. 80, pp. 724–726, 2001.
- [23] J. Kapica, H. Pawlak, and Ś. Marek, “Carbon Dioxide Emission Reduction by Heating Poultry Houses from Renewable Energy Sources in Central Europe,” *Agric. Syst.*, vol. 139, pp. 238–249, 2015.
- [24] B. Petroli and H. Langeveld, “Impacts of Renewable Energy on European Farmers,” 2011.
- [25] S. R. Funck and R. A. Fonseca, “Avaliação Energética e de Desempenho de Frangos com Aquecimento Automático a Gás e a Lenha,” *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.*, vol. 12, pp. 1–10, 2008.
- [26] Lusiaves, “Relatório Ambiental Anual 2014,” 2015.
- [27] L. Ferreira and J. Turco, “Avaliação do Consumo e Custo de Energia Elétrica em Galpão para Criação de Frangos de Corte , em dois ciclos de criação.” pp. 1–7, 2003.
- [28] H. Xin, J. L. Sell, and D. U. Ahn, “Effects of Light and Darkness on Heat and

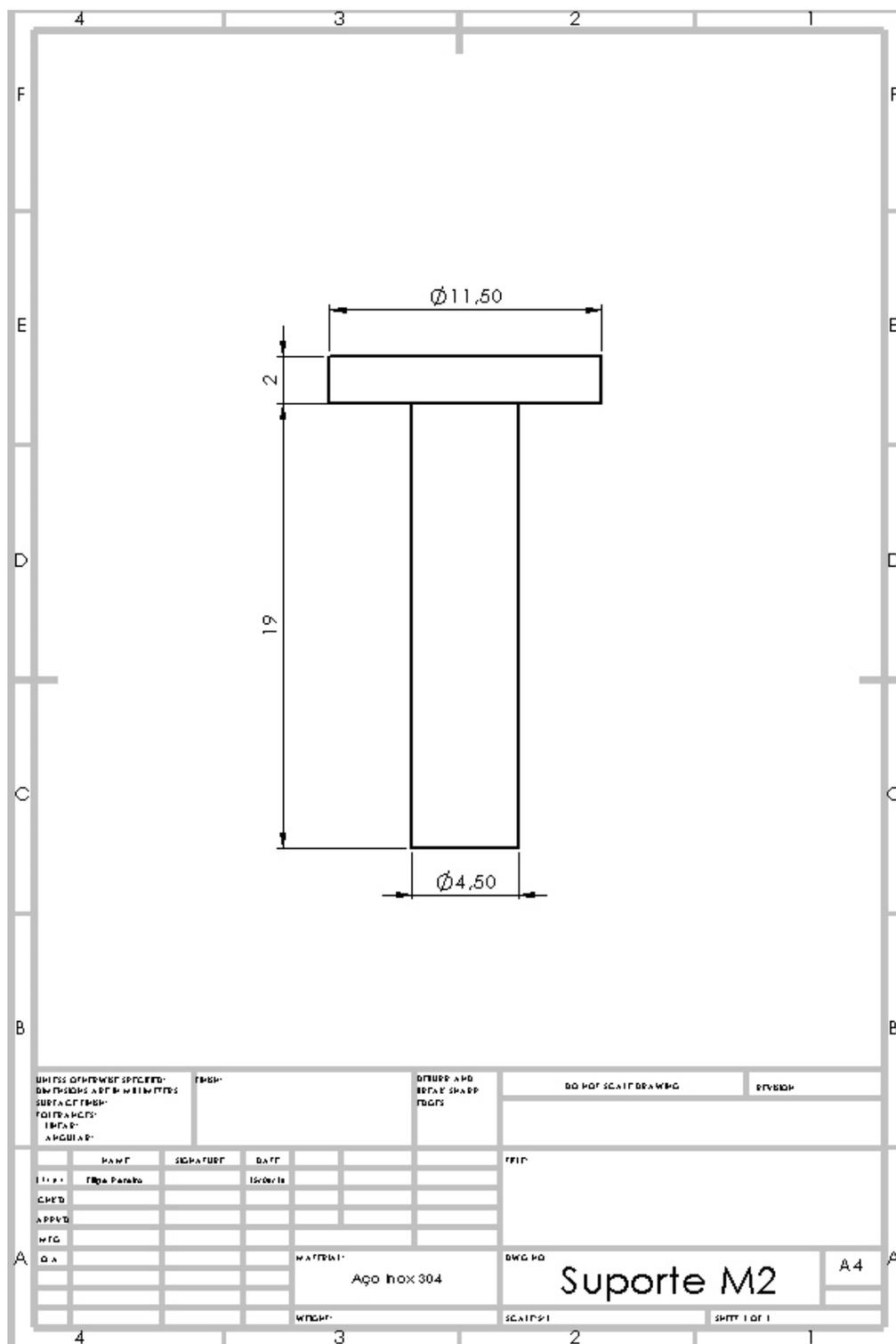
- Moisture Production of Broilers.pdf,” *Am. Soc. Agric. Eng.*, vol. 39(6), pp. 2255–2258, 1996.
- [29] GREENPRO, “Bioenergia.” 2004.
- [30] “jsribeiro.” [*Online*]. Disponível em: <http://www.jsribeiro.pt/index.html>.
- [31] FLUKE, “Manual de Usuário Energy Logger 1730.”
- [32] “Propriedades dos materiais e sistemas de fachada.” [*Online*]. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4250/14/TeseDoutMendonca14.pdf>.
- [33] Ii. AEMC, “User Manual Power Energy Logger PEL 102.”
- [34] “wunderground.” [*Online*]. Disponível em : [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com).
- [35] Despacho nº 17313/2008 de 26 de Junho, “Diário da República Nº122 - 2ª Série.” Ministério da Economia e da Inovação, 2008.
- [36] P. Pita, “Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa,” Universidade Técnica de Lisboa, 2009.



# ANEXO A

Peças desenhadas no *software* SolidWorks







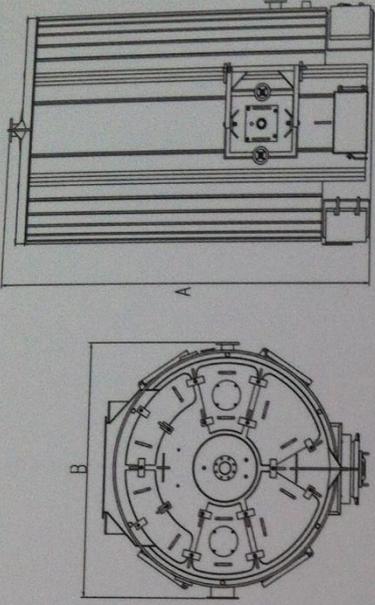


## ANEXO B

Catálogo com características da caldeira

**VANTAGENS DAS CALDEIRAS A BIOMASSA VENTIL**

- Tecnologia de confiança;
- Desde 1971 a fabricar caldeiras a biomassa;
- Mais de 700 sistemas em funcionamento;
- Baixo custo de investimento;
- Elevada eficiência de combustão;
- Combustível a baixo custo;
- Manutenção simples;
- Sistema fiável e seguro;
- Controlo automático.



**Folha de características das caldeiras VENTIL**

Modelo CVT-S		300	500	750	1.000	1.250	1.500	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	
Potência Térmica Nominal	KW <sub>th</sub>	350	560	870	1.160	1.450	1.750	2.320	3.480	4.640	5.800	7.000	
	kcal/h	300.000	500.000	750.000	1.000.000	1.250.000	1.500.000	2.000.000	3.000.000	4.000.000	5.000.000	6.000.000	
Dimensão A (altura)	mm	2.600	2.930	3.210	3.770	3.620	3.960	3.960	4.810	5.110	5.600	6.250	
Dimensão B (diâmetro)	mm	1.430	2.050	2.100	2.320	2.400	2.440	2.580	3.110	3.400	3.700	4.160	
Casa da Caldeira (altura mínima)	m	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6	7	8	8	9	
Área do Permutador	m <sup>2</sup>	16	24	35	52	65	78	86	174	230	314	362	
Peso	kg	2.500	4.200	4.800	8.100	9.200	10.000	12.000	21.000	29.500	34.500	39.000	
Volume de Água	dm <sup>3</sup>	1.350	2.200	2.450	4.900	5.700	6.100	6.150	9.900	14.000	16.500	19.200	
Temperatura Máxima de Água	°C	109											
Eficiência Térmica	%	85,5-89,8											
Consumo Máximo de Combustível	kg/h	83-87	138-144	207-218	276-288	346-360	417-434	554-577	832-866	1.108-1.154	1.360-1.440	1.870-1.735	







## ANEXO D

Tarifas de baixa tensão normal da entidade distribuidora EDP.

### Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN (>20,7kVA)

Encargos de potência	kVA	EUR/mês	EUR/dia*
Médias utilizações	27,6	43,88	1,4386
	34,5	54,68	1,7929
	41,4	65,49	2,1472
Longas utilizações	27,6	135,20	4,4327
	34,5	168,91	5,5379
	41,4	202,61	6,6428

\*RRC art. 119º, nº5

Preço da energia ativa	Período horário	EUR/kWh*
Médias utilizações	Horas de ponta	0,3095
	Horas de cheias	0,1546
	Horas de vazio	0,0866
Longas utilizações	Horas de ponta	0,2279
	Horas de cheias	0,1318
	Horas de vazio	0,0799

### Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN (≤20,7kVA)

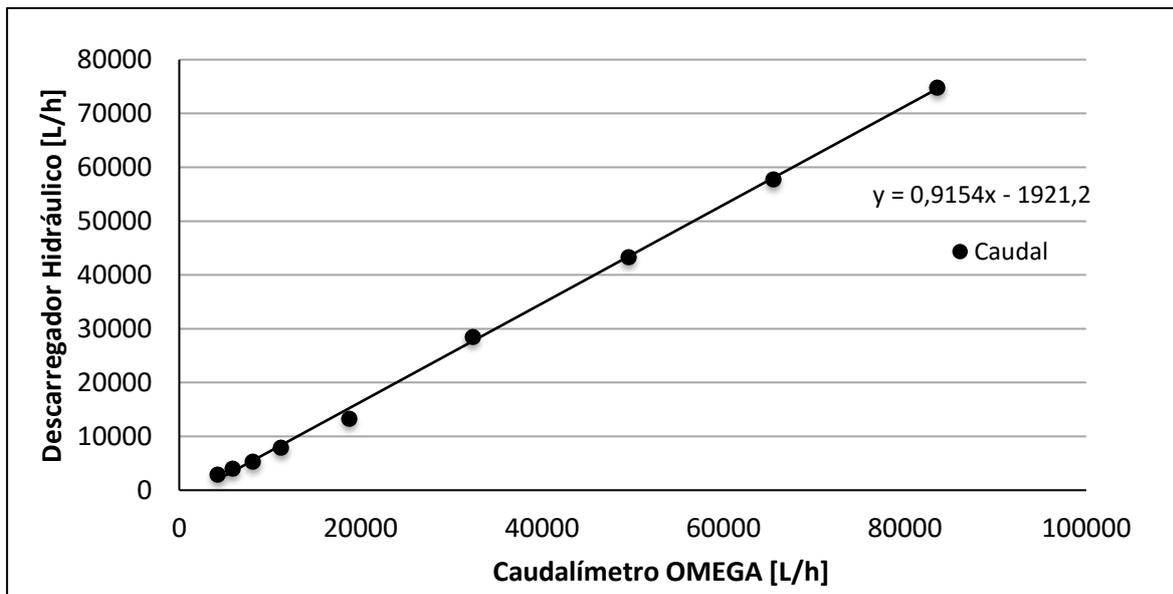
Encargos de potência	kVA	EUR/mês	EUR/dia*
Simples	1,15	2,54	0,0832
	2,3	4,46	0,1461
Simples, bi-horária e tri-horária	3,45	4,83	0,1584
	4,6	6,28	0,2058
	5,75	7,72	0,2531
	6,9	9,16	0,3003
Simples, bi-horária e tri-horária	10,35	13,48	0,4419
	13,8	17,80	0,5835
	17,25	22,12	0,7251
	20,7	26,44	0,8668



## ANEXO E

Ensaio de calibração do medidor de caudal, nas instalações no ISEC.

Caudal [L/h]		
Descarregador Hidráulico	Caudalímetro OMEGA	Erro [%]
3021.7	4243	40.4
3999.9	5836.2	45.9
5385.6	8135.4	51.1
7922.8	11258.1	42.1
13315.8	18740.7	40.7
28539.4	32302.2	13.2
43342.9	49536	14.3
57741.1	65516.9	13.5
74884.8	83612.1	11.7
53648.8	57982.9	8.1
23208.7	25469.4	9.7
10366.3	11412.6	10.1
6728.8	7417.7	10.2
3569.5	4548.8	27.4



## ANEXO F

Revisão às metodologias de cálculo presentes no Decreto-Lei n.º 68-A/2015, referente à cogeração:

“O Decreto-Lei em estudo transpõe para a legislação nacional as normas redigidas na Diretiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, que além das alterações referentes à cogeração, estabelece um novo enquadramento no que à eficiência energética diz respeito. Portanto, a análise do referido Decreto-Lei irá focar-se apenas nas modificações relativas à cogeração.

Esta última atualização às políticas de cogeração foi publicada em Diário da Republica a 30 de abril, e veio alterar alguns dos artigos publicados no Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de março, que até então era a legislação em vigor. O documento em análise neste subcapítulo contém ainda uma completa republicação ao Decreto-Lei n.º 23/2010, fazendo referência a todas as alterações efetuadas.

Esta análise ao Decreto-Lei n.º 68-A/2015 terá como principal objetivo a revisão dos métodos de cálculo da poupança de energia primária, do pagamento da compensação pelas instalações em autoconsumo e da eletricidade produzida em cogeração. Para tal é necessário uma contextualização destes parâmetros presentes no Decreto-lei em estudo.

A republicação do Decreto-Lei n.º 23/2010, presente no Decreto-lei em estudo começa por fazer uma revisão aos conceitos fundamentais para a interpretação desta legislação, de onde se destacam os seguintes:

- “Cogeração eficiente – a produção em cogeração não enquadrável na cogeração de elevada eficiência, mas em que haja poupança de energia elétrica;”
- “Cogeração de elevada eficiência – a produção em cogeração que tenha uma poupança de energia primária de, pelo menos, 10% relativamente à produção separada de eletricidade e calor, bem como a cogeração de pequena dimensão e a microcogeração, de que resulte uma poupança de energia primária, sendo a poupança em qualquer dos casos calculada de acordo com a metodologia no anexo III;”

- “Cogeração de pequena dimensão – a instalação de cogeração com uma potência instalada inferior a 1MW;”
- “Cogeração renovável – a cogeração em que a energia primária consumida tem origem, parcial ou integralmente, em fontes de energia renovável, tal como definidas no artigo 2º do Decreto-Lei nº 172/2006, de 23 de agosto;”
- “Eficiência global – o total anual da produção de energia elétrica e mecânica e da produção de calor útil dividido pelo consumo de combustível utilizado na produção de calor num processo de cogeração e na produção bruta de energia elétrica e mecânica, sendo a eficiência calculada com base no poder calorífico líquido dos combustíveis (também denominado poder calorífero inferior);”
- “Microcogeração – a cogeração de pequena dimensão cuja potência instalada máxima seja inferior a 50kW;”
- “Poupança de energia primária – a poupança de energia calculada de acordo com a metodologia fixada no anexo III ao presente decreto-lei, do qual faz parte integrante.”

O capítulo seguinte deste decreto-lei tem como objetivo definir o regime remuneratório da produção em cogeração, que se encontra dividido em duas modalidades remuneratórias, sendo elas: a modalidade geral e a modalidade especial.

De um modo geral, a modalidade especial destina-se a instalações cuja potência de injeção seja igual ou inferior a 20MW. Nesta modalidade, a remuneração da energia térmica produzida, no caso de esta ser vendida a terceiros, realiza-se ao preço que ficar acordado entre o cogrador e o cliente. No caso da energia elétrica produzida, esta será fornecida ao comercializador de último recurso (CUR), sendo a remuneração feita através de uma tarifa de referência, calculada e disponibilizada trimestralmente pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (Tabela 1), à qual se acresce, quando aplicável, o prémio de elevada eficiência e o prémio de energia renovável. O prémio de elevada eficiência é calculado em função da poupança de energia primária, quando a cogeração é considerada de elevada eficiência. O prémio de energia renovável é obtido em função da quantidade de combustíveis de origem renovável consumidos na cogeração.

**Tabela 1** Última atualização da Tarifa de referência para instalações de cogeração renovável [36].

Potência	Valor da tarifa
$P \leq 2 \text{ MW}$	83.12 €/MW
$2\text{MW} < P \leq 100\text{MW}$	67.43 €/MW

Esta tarifa de referência deve ser ajustada tendo em conta a Portaria nº140/120, que estabelece que este ajustamento deve ser feito consoante os períodos horários em que é injetada na rede a energia elétrica, ou seja, caso a injeção na rede se dê nas horas cheias e de ponta o seu método de cálculo será feito através da equação (0.1), por outro lado, caso a injeção se dê nas horas de vazio e super vazio a tarifa de referência será calculada através da equação (0.2).

$$T_{ref_{mpc}} = 1.10 \times T_{ref_m} \quad (0.1)$$

$$T_{ref_{mvs}} = 0.87 \times T_{ref_m} \quad (0.2)$$

Analisando estas duas expressões percebe-se que a injeção de energia elétrica na rede que se dá nas horas cheias e de ponta é valorizada, ou passo que nas horas de vazio e super vazio é penalizada.

A modalidade geral do regime remuneratório encontra-se dividida em duas submodalidades, a submodalidade A e a submodalidade B. A submodalidade A destina-se a cogerações com potência de injeção à rede igual ou inferior a 20MW que operem em modo de autoconsumo da eletricidade produzida, tendo que ser vendida ao CUR toda a energia elétrica que não seja consumida. Por outro lado, a submodalidade B refere-se às cogerações que pretendam vender a terceiros, parcial ou totalmente, a eletricidade produzida.

Todas as instalações de cogeração que funcionam em autoconsumo e que estejam ligadas à rede elétrica de serviço público (RESP) são obrigadas ao pagamento de uma compensação, que é calculada de acordo com a equação (0.3). Este cálculo sofreu alterações na publicação da Declaração de Retificação nº 30-A/2015.

$$C_{COG_{\alpha,t}} = P_{COG} \times V_{CIEG_{\alpha,t}} \times k_t \quad (0.3)$$

Sendo:

- “ $C_{COG_{\alpha,t}}$  – A compensação paga, em euros, no mês  $m$  por cada kW de potência instalada, num dado nível de tensão ou tipo de fornecimento, que permita recuperar uma parcela dos custos de interesse económico

geral (CIEG) na tarifa de uso global do sistema, relativa ao regime de produção em autoconsumo através de uma instalação de cogeração.”

- $P_{COG}$  – O valor da potência elétrica instalada da instalação de cogeração, constante no respetivo certificado ou licença de exploração.
- $V_{CIEG_{\alpha,t}}$  – O valor que permite recuperar os CIEG da respetiva instalação, medido em € por kW, para um dado nível de tensão ou tipo de fornecimento, apurado no ano “t” nos termos da equação (0.3).
- $k_t$  – O coeficiente de ponderação, entre 0% e 50% a aplicar ao  $V_{CIEG_{\alpha,t}}$  tendo em consideração a representatividade da potência total registada das instalações de cogeração com potência elétrica instalada igual ou inferior a 20 MW no Sistema Elétrico Nacional (SEN), no ano “t”.
- t- O ano de emissão do título de exploração da respetiva instalação de cogeração.
- $\alpha$  – Nível de tensão ou tipo de fornecimento, podendo ser muito alta tensão (MAT), a alta tensão (AT), a média tensão (MT), a baixa tensão especial (BTE), a baixa tensão com potência contratada igual ou superior a 20.7 kVA (BTN>) e a baixa tensão normal com potência contratada inferior a 20.7 kVA (BTN<).

O cálculo do  $V_{CIEG_{\alpha,t}}$  é feito através da equação (0.4).

$$V_{CIEG_{\alpha,t}} = \sum_{n=0}^2 \left( CIEG_{i(t-n)}^p \right) \times \frac{1}{3} + \sum_{n=0}^2 \left( CIEG_{i,h(t-n)}^e \right) \times \frac{1}{3} \times \frac{4500}{12} \quad (0.4)$$

Em que:

- $CIEG_{i(t-n)}^p$  - Corresponde ao somatório do valor das parcelas “i” do CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, designadamente na alínea c), medido em € por kW, para o nível de tensão da respetiva instalação de cogeração, constante nos documentos tarifários, publicados pela Entidade Reguladora do Serviços Elétricos (ERSE) para o ano “t –n”
- $CIEG_{i,h(t-n)}^e$  - Corresponde ao somatório, da média aritmética simples do valor para os diferentes períodos horários “h” de cada uma das

parcelas “i” dos CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, designadamente nas alíneas a), b), d), e), f), g), h), i), e j), medido em € por kWh, para o nível de tensão da respetiva instalação de cogeração, constante nos documentos tarifários, publicados pela ERSE para o ano “t –n”

- *i* – Refere-se a cada uma das alíneas do nº1 do artigo 3º da Portaria 332/2012, de 22 de outubro
- *h* - Corresponde ao período de horário de entrega de energia elétrica aos clientes finais, tal como definido na Portaria nº 332/2012, de 22 de outubro
- *t* – Corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da respetiva instalação de cogeração.

Para finalizar o cálculo da compensação a ser paga pelas instalações de cogeração em autoconsumo, falta ainda definir o coeficiente de ponderação,  $k_t$ , que vem definida como:

- $k_t = 50\%$ , no caso da potência instalada das instalações de cogeração da submodalidade A com a potência instalada das cogerações na submodalidade B que, no todo ou em parte, consumam ou entreguem a instalações associadas a energia produzida por aquelas que exceda 7.5% do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN.
- $k_t = 30\%$ , no caso da potência instalada das instalações de cogeração da submodalidade A com a potência instalada das cogerações na submodalidade B que, no todo ou em parte, consumam ou entreguem a instalações associadas a energia produzida por aquelas se situe entre os 5% e 7.5% do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN.
- $k_t = 0\%$ , no caso da potência instalada das instalações de cogeração da submodalidade A com a potência instalada das cogerações na submodalidade B que, no todo ou em parte, consumam ou entreguem a instalações associadas a energia produzida por aquelas seja inferior a 5% do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN.

Ou seja, apenas será necessário pagar esta compensação se a soma das potências instaladas das submodalidades A e B ultrapassarem os 5% do total da potência instalada em centros electroprodutores do SEN.

Para o cálculo da quantidade de eletricidade produzida em cogeração é necessário ter em consideração quais das tecnologias de cogeração estão abrangidas no presente Decreto-Lei. Assim sendo apresentam-se de seguida estas tecnologias de cogeração, enumeradas de acordo com o Decreto-Lei.

- (a) Turbinas de gás em ciclo combinado com recuperação de calor;
- (b) Turbinas a vapor de contrapressão;
- (c) Turbinas de condensação com extração de vapor;
- (d) Turbinas de gás com recuperação de calor;
- (e) Motores de combustão interna;
- (f) Microturbinas;
- (g) Motores *Stirling*;
- (h) Células de combustível
- (i) Motores a vapor;
- (j) Ciclos orgânicos de Rankine.

A obtenção do valor da eletricidade produzida em cogeração pode acontecer de duas formas, a primeira através da medição da produção de eletricidade anual total à saída dos geradores principais e a segunda através da equação (0.5).

A eletricidade produzida pode ser considerada igual à medição da produção de eletricidade anual no caso de a eficiência anual global ser igual ou superior a 80% para as tecnologias de cogeração do tipo a) e c). Caso as tecnologias de cogeração sejam qualquer um dos outros tipos enumerados a cima, a eletricidade produzida só pode ser considerada igual à medição da produção de eletricidade anual quando se obtiver uma eficiência igual ou superior a 75%.

As unidades de cogeração que apresentem uma eficiência anual global inferior aos valores referidos anteriormente terão que calcular a eletricidade produzida em cogeração de acordo com a equação (0.5).

$$E_{CHP} = H_{CHP} \times C \quad (0.5)$$

Em que:

- $E_{CHP}$  – é a quantidade de eletricidade produzida em cogeração;
- $H_{CHP}$  – é a quantidade de calor útil produzida em cogeração (calculada para o efeito como produção total de calor, deduzindo o calor que seja eventualmente produzido em caldeiras separadas ou por extração de vapor vivo do gerador de vapor antes da turbina);
- $C$  – é o rácio eletricidade/calor (entendido como o rácio entre a eletricidade produzida em cogeração e o calor útil produzido exclusivamente em modo de cogeração).

No caso de este rácio não ser conhecido para uma unidade de cogeração, podem ser usados os valores presentes neste Decreto-Lei para as tecnologias do tipo a), b),c),d) e e), desde que a eletricidade produzida em cogeração calculada desta forma seja igual ou inferior à produção total de eletricidade da unidade em questão.

De referir ainda que no caso das unidades de microcogeração o cálculo da eletricidade produzida pode basear-se em valores certificados, ao passo que em unidades de cogeração estes valores são obtidos com base no funcionamento.

A poupança de energia primária, PEP, é de extrema importância para uma análise correta ao Decreto-Lei em estudo, visto que é através deste parâmetro que se torna possível caracterizar a eficiência da cogeração. Isto pode ser comprovado logo no início desta análise, quando se faz referência às instalações de cogeração de elevada eficiência, que para serem caracterizadas desta forma necessitam que ocorra uma poupança de energia primária de, pelo menos 10%, relativamente à produção separada de calor e eletricidade. Desta forma, a poupança de energia primária deve ser calculada através da equação (0.6).

$$PEP = \left( 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_n}{Ref H_n} + \frac{CHP E_n}{Ref E_n}} \right) \times 100\% \quad (0.6)$$

Em que:

- $CHP H_n$  é a eficiência térmica do processo, definida como a produção anual de calor útil dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor e eletricidade;

- *Ref*  $H_{\eta}$  é o valor de referência da eficiência para produção separada de calor;
- *CHP*  $E_{\eta}$  é a eficiência elétrica, definida como a produção total anual de eletricidade dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor e eletricidade num processo de cogeração. Quando uma unidade de cogeração gerar energia mecânica, a quantidade anual de energia elétrica proveniente da cogeração poderá ser acrescida de um elemento suplementar que represente a quantidade de energia elétrica que é equivalente à da energia mecânica.
- *Ref*  $E_{\eta}$  é o valor de referência da eficiência para a produção separada de eletricidade.

Estes valores de referência da eficiência para a produção separada de calor e de eletricidade correspondem à eficiência do processo a que o sistema de cogeração se destina a substituir.”