

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carla Sofia Amorim Barros

Produção de Pellets para valorização de
resíduos provenientes da indústria corticeira

Carla Sofia Amorim Barros
Produção de Pellets para valorização de
resíduos provenientes da indústria corticeira

UMinho | 2013

outubro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carla Sofia Amorim Barros

Produção de Pellets para valorização de
resíduos provenientes da indústria corticeira

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professora Doutora Maria Cândida Lobo Guerra
Vilarinho
Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira

DECLARAÇÃO

Nome: Carla Sofia Amorim Barros

Correio electrónico: a52755@hotmail.com

Tel./Tlm.: 927669369

Número do Bilhete de Identidade: 13534827

Título da dissertação:

Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): Maria Cândida Lobo Guerra Vilarinho

Manuel Eduardo Cardoso Ferreira

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Energia e Ambiente

Escola: Universidade do Minho

Departamento: Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

De uma forma geral começo por agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram a concluir esta grande etapa da minha vida.

A todos os professores com quem tive o privilégio de interagir ao longo de todo o curso agradeço pela dedicação prestada e pela partilha de conhecimento e experiência profissional, que me foi e será muito útil ao longo da minha carreira profissional.

A todos os funcionários do CVR, em particular aos técnicos Hugo Antoninho e Jorge Pereira e às engenheiras Irene Morais e Rosa Silva, deixo um agradecimento especial pela colaboração e grande ajuda nos trabalhos práticos elaborados, assim como ao Eng. Pedro Ferreira, investigador do DEM, pela ajuda técnica prestada nos ensaios de peletização e combustão.

Agradeço também à empresa “Novacortiça S.A” pela cedência de todo o granulado negro utilizado durante o trabalho, bem como pela informação prestada sobre a produção do mesmo, bem como à “Vimasol” pelo material (serrim de pinho) cedido.

Ao Eng. Jorge Araújo, diretor executivo do CVR, deixo o meu agradecimento pelo acolhimento na instituição e toda a colaboração ao longo do projeto.

À professora Cândida Vilarinho, minha orientadora, agradeço pelo apoio dado e pela disponibilidade de atendimento para o esclarecimento de qualquer dúvida, assim como, pela disponibilização de documentação bibliográfica que me ajudou a desenvolver este projeto.

Agradeço também a todos os familiares, colegas e amigos, que me acompanharam ao longo deste percurso, pelo companheirismo, amizade e pelos momentos bons que me proporcionaram.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha vida e em particular ao longo destes anos académicos, pois sem eles isto não seria possível.

Por fim, agradeço ao Diogo por todo o apoio prestado ao longo destes 6 anos, pela compreensão e força transmitida que me ajudou a ultrapassar os momentos mais difíceis desta caminhada.

A todos o meu Obrigado.

RESUMO

O presente projeto pretende estudar a viabilidade técnica e económica da incorporação de granulado de cortiça na produção de pellets, resultado da necessidade de uma empresa, produtora de discos de cortiça para rolhas, em encontrar soluções ambientalmente corretas para os resíduos resultantes das suas atividades produtivas. Atualmente, estes resíduos não têm um aproveitamento interno, sendo vendidos a um cliente externo irregular, com consequência de armazenamento do subproduto por tempo indeterminado. Após pesquisa bibliográfica, foram produzidos 4 tipos de pellets, com incorporação de granulado de cortiça e serrim de madeira (essencialmente pinho), nomeadamente, 0 %, 30 %, 70 % e 100 % de granulado incorporado com serrim. Ao longo do trabalho são apresentados os métodos e as variáveis experimentais aplicadas na produção dos pellets, assim como uma caracterização das análises e ensaios efetuados para a determinação das principais características técnicas de todos os pellets, nomeadamente análise elementar, teor de humidade, durabilidade mecânica, percentagem de finos, teor de cinzas, densidade aparente, poder calorífico inferior e composição química. Paralelamente foram também efetuados ensaios de queima da totalidade dos pellets fabricados com análise das emissões gasosas para os principais poluentes, análise química das cinzas e determinação do seu ponto de fusibilidade, e análise do rendimento da combustão. De todos os parâmetros avaliados o teor de cinza e as emissões gasosas foram os mais críticos face aos valores limite impostos pela legislação, principalmente nos pellets com 100 % e 70 % de granulado. Estas duas formulações apresentaram teores de cinza entre os 1,5% e 3 % e concentrações de monóxido de carbono significativamente acima dos 500 mg/Nm³, valor limite. Em contrapartida, os pellets com superior teor de granulado de cortiça apresentaram maior poder calorífico, maior durabilidade mecânica e menor teor de finos. Após uma análise e interpretação dos resultados obtidos identificaram-se os pellets com uma percentagem de 30 % de granulado de cortiça como aqueles aos quais correspondia um maior potencial de comercialização. Estes pellets estão igualmente em cumprimento com os requisitos técnicos impostos pela legislação e de acordo com o selo de qualidade ENplus A2. Nas instalações experimentais usadas, estes pellets apresentam um custo médio de produção de 0,09 €/kg, onde foram contemplados gastos de energia elétrica e de matéria-prima. No mercado, os pellets de serrim tem um custo médio de venda de 0,23 €/kg. A implementação de uma linha de produção, com sistema de peletização e embalagem automático, pode rondar os 170 000 €. No final, também foi elaborada uma ficha técnica do produto onde constam as principais características do mesmo e algumas recomendações de utilização.

Abstract

This project aims to study the technical and economic feasibility of incorporating granulated cork in the production of pellets. This results from the needs of a company, record producer of cork stoppers, in finding correct environmental solutions for waste resulting from their productive activities. Currently, these residues do not have an internal use, being sold to an irregular external customer with result storage indefinitely by product. After a literature search, four types of pellets were produced, incorporating granulated cork and wood flour (mainly pine): 100 % granulated cork and pine sawdust, and 30% granules and 70 % sawdust and vice versa. Throughout this thesis, the methods and the experimental variables of the pellet production process are presented as well as a description of the tests and analyses performed to determine the main characteristics of the pellets (elemental analysis, moisture, mechanical durability, are given percentage thin, ash content, bulk density, LHV - Lower Heating Value and chemical composition). Combustion tests were also performed, with all the pellets fabricated, including analysis of gaseous emissions of major pollutants, analysis of the ash to determine their point of fusibility and chemical elements (oxides) that constitute them and analysis of combustion efficiency. Of all parameters, the ash content and the gaseous emissions were the most critical, above the limit values imposed by legislation, especially in pellets with 100 % and 70 % of cork. These two formulations had ash content between 1.5 % and 3 % and carbon monoxide concentrations well above the 500 mg/ N m³. On the other hand, the pellets with higher cork content had greater Lower Heating Value (LHV), higher mechanical durability and lower fine content. After analysis and interpretation of the results, we identified the pellets with a percentage of 30% granulated cork as those with greater marketing potential. This is in accordance with the legal technical requirements, with the seal of quality ENplus A2. These pellets have a production cost of 0.09 €/kg, considering electric power and raw materials. In the market, this biofuel has an average cost of 0.23 €/kg. The implementation of a production line for this product, with automatic pelleting and packing system can cost around 170 000 €. Finally, a data sheet is also presented which contains the main features of the product and some recommendations for its use.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.1.1	BIOMASSA	4
1.1.2	TIPOS E TECNOLOGIAS DA CONVERSÃO DA BIOMASSA.....	6
1.1.3	SITUAÇÃO ATUAL DO USO DA BIOMASSA.....	10
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	BIOMASSA FLORESTAL	15
2.1.1	RECOLHA DA BIOMASSA FLORESTAL	15
2.1.2	SITUAÇÃO NACIONAL DA BIOMASSA FLORESTAL	16
2.1.3	COMBUSTÃO DA BIOMASSA	19
2.1.4	POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	20
2.1.5	POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA FLORESTAL	21
2.2	A CORTIÇA.....	23
2.2.1	PRODUÇÃO NACIONAL DE CORTIÇA.....	24
2.2.2	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS e APLICAÇÕES DA CORTIÇA.....	26
2.2.3	RESÍDUOS DERIVADOS DA CORTIÇA.....	28
2.2.4	PRODUÇÃO DE GRANULADO NEGRO NAS EMPRESAS QUE PROCESSAM CORTIÇA 28	
2.3	PELLETS: METODOLOGIA DE PRODUÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO.....	31
2.3.1	PROCESSO DE FABRICO.....	32
2.3.2	CERTIFICAÇÃO.....	33
2.3.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	35
2.3.4	POTENCIAL ENERGÉTICO DOS PELLETS.....	41
2.3.5	PRODUÇÃO E CONSUMO.....	43
2.3.6	PELLETS DE CORTIÇA.....	45
3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	47
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	47
3.2	PELETIZAÇÃO	50
3.2.1	PELETIZADORA.....	51
3.2.2	PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	53

3.2.3	PRODUÇÃO DOS PELLETS	55
3.3	MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO	56
3.3.1	TEOR DE HUMIDADE	56
3.3.2	TEOR DE CINZAS	57
3.3.3	MATÉRIA VOLÁTIL	58
3.3.4	DENSIDADE APARENTE	59
3.3.5	DURABILIDADE MECÂNICA	59
3.3.6	PODER CALORÍFICO.....	60
3.3.7	TEOR DE FINOS	62
3.3.8	ANÁLISE ELEMENTAR (C, N, H e S).....	62
3.3.9	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS PELLETS E CINZAS.....	64
3.3.10	FUSIBILIDADE DAS CINZAS.....	64
3.4	ENSAIOS DE QUEIMA.....	66
3.4.1	CALDEIRA.....	66
3.4.2	FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA	68
3.4.3	ANÁLISE DA COMBUSTÃO	70
3.4.4	MEDIÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS	72
4.	RESULTADOS OBTIDOS.....	75
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA dos PELLETS	75
4.2	EMISSÕES GASOSAS.....	79
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS.....	82
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	84
5.	AVALIAÇÃO ECONÓMICA.....	87
5.1	EXEMPLO DE LINHA DE PRODUÇÃO	89
6.	FICHA DE PRODUTO	93
6.1	RÓTULO DA EMBALAGEM	95
7.	CONCLUSÃO	97
8.	TRABALHOS FUTUROS.....	99
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
	ANEXOS	107
	Anexo A – Preços atuais dos pellets de madeira	108
	Anexo B – Lista de empresas nacionais produtoras de pellets.....	109

Anexo C- Preços atuais de pellets de cortiça	110
Anexo D - Teor de humidade	111
Anexo E - Teor de cinza	113
Anexo F - Massa volúmica aparente.....	115
Anexo G – Durabilidade mecânica	116
Anexo H - Teor de finos	117
Anexo I – Parâmetros utilizados durante os ensaios de combustão	118
Anexo J – Ficha de produto.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Metas Portuguesas para 2020 e sua evolução [2].....	2
Figura 1.2: Evolução do consumo de energia renovável na produção de eletricidade e no setor A&A	3
Figura 1.3: Esquema da conversão da biomassa em energia.....	6
Figura 1.4: Biocombustíveis sólidos: a) Lenha (toros) [17]; b) estilha [18]; c) pellets [19]; d) briquetes [20]	8
Figura 1.5: Consumo de energia primária e final no ano de 2011 [22].....	10
Figura 2.1: Área por uso do solo em Portugal Continental em 2010.....	17
Figura 2.2: Distribuição das áreas totais por espécie	17
Figura 2.3: Sobreiro: a) montado de sobreiros descortiçados; b) casca do sobreiro (cortiça) [39]	23
Figura 2.4: Evolução da área total nacional de sobreiro, em hectares, entre 1995 e 2010 [28] ..	24
Figura 2.5: Esquema da microestrutura da cortiça [43]	26
Figura 2.6: Produtos de cortiça: a) rolhas [52]; b) isolamento acústico e térmico de pisos [53]; c) revestimento de parede exterior [54]; d) artigos/assessórios [55].....	27
Figura 2.7: Esquema das etapas da produção dos discos em cortiça de 26x6mm [60]	30
Figura 2.8: Esquema do processo de fabrico dos Pellets.....	32
Figura 2.9: Símbolos de certificação para as diferentes classes de Pellets [69]	34
Figura 3.1: Matéria-prima: a) Serrim de pinho; b) Granulado de cortiça.....	48
Figura 3.2: Moinho Fellner-Ziegler	49
Figura 3.3: Peletizadora	51
Figura 3.4: Matriz da peletizadora	52

Figura 3.5: Misturadora.....	54
Figura 3.6: Analisador multi-elementar, com pormenor da peça onde se colocam as amostras ..	63
Figura 3.7: Fases do processo de fusibilidade de cinzas [75]	65
Figura 3.8: Caldeira utilizada para os ensaios de combustão dos pellets	66
Figura 3.9: Esquema da instalação do sistema de queima: A) Alimentador; B) Caldeira; C) Balança; D) Sistema de aquisição de dados; E) Analisador de gases (NOx); F) Analisador de gases (CO, CO ₂ , O ₂); G) Permutador de calor; H) chaminé.....	67
Figura 3.10: Resíduo carbonoso presente na cinza derivada do ensaio 3	70
Figura 3.11: Analisador de gases, acoplado à caldeira	73
Figura 3.12: Analisador de gases, fixo na chaminé	74
Figura 4.1: Concentração de CO e O ₂ medida nos pellets SP	81
Figura 4.2: Concentração de CO e O ₂ medida nos pellets GC.....	81
Figura 4.3: Concentração de CO e O ₂ medida nos pellets 70S-30G	81
Figura 5.1: Linha de produção de pellets: 1) sistema de peletização; 2) sistema de embalamento	89
Figura 6.1: exemplo de rotulagem de um saco de pellets da "Nova Lenha ".....	95
Figura 6.2: Simbologia presente nas embalagens dos pellets (reciclagem e certificação)	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Produção anual de biomassa florestal	18
Tabela 2.2: Potencial anual de biomassa florestal disponível.....	18
Tabela 2.3: Poder calorífico das principais espécies de árvores nacionais [34]	21
Tabela 2.4: Consumo de biomassa florestal no ano de 2010, pelos diferentes tipos de consumidores [35].....	22
Tabela 2.5: Principais produtores mundiais de cortiça e correspondente área ocupada [45].....	25
Tabela 2.6: Classes representativas da certificação ENplus e a respetiva matéria-prima admitida	35
Tabela 2.7: Características dos pellets impostas pela certificação para as três classes [68 – 70]	36
Tabela 2.8: Comparação dos diferentes combustíveis usados para aquecimento de edifícios [80, 81].....	43
Tabela 2.9: Consumo e produção de Pellets na União Europeia em 2010 [82]	44
Tabela 2.10: Comparação entre as características de pellets de subprodutos da indústria da cortiça e pellets de serrim [83]	45
Tabela 3.1: características da matéria-prima	49
Tabela 3.2: Designação dos pellets produzidos.....	50
Tabela 3.3: Características da Peletizadora	52
Tabela 3.4: Características de produção das diferentes formulações de pellets	55
Tabela 3.5: Parâmetros introduzidos nos ensaios de queima	69
Tabela 3.6: Rendimento da combustão para as diferentes formulações	72
Tabela 4.1: Resultados da análise das características técnicas realizadas aos Pellets produzidos	75

Tabela 4.2: Resultado da análise elementar e elementos não metálicos dos pellets produzidos ..	76
Tabela 4.3: Resultado dos restantes elementos químicos dos pellets	78
Tabela 4.4: Valores das emissões gasosas emitidas durante os ensaios.....	79
Tabela 4.5: Comportamento de fusibilidade das cinzas [88]	82
Tabela 4.6: Composição química das cinzas resultantes da combustão dos pellets.....	83
Tabela 4.7: Agrupamento das formulações dos pellets pelas classes da ENplus.....	84
Tabela 5.1: Gastos de energia elétrica na produção de pellets	88
Tabela 5.2: Custo de produção dos pellets 70S-30GC	88
Tabela 5.3: Distinção da potência e do custo de cada equipamento.....	90
Tabela 5.4: Custos de aquisição da matéria-prima e energéticos.....	91
Tabela 5.5: Custos de produção dos pellets com amortização do equipamento.....	92

GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS

AIMMP - Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal

ANPEB - Associação Nacional de Pellets Energéticos de Biomassa

APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça

CVR - Centro de Valorização para Resíduos

DEM - Departamento de Engenharia Mecânica

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

DT - Deformation Temperature

EPC - European Pellet Council

FER - Fontes de Energia Renovável

FER - A&A – Setor do Aquecimento e Arrefecimento

FER – E - Setor de produção de Energia Elétrica

FER – T - Setor dos transportes

FT - Flow Temperature

GC - 100 % de Granulado de Cortiça

HLV - Lower Heating Value

HT - Hemisphere Temperature

ICFN – Instituição da Conservação da Natureza e das Florestas.

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

PCI - Poder Calorífico Inferior

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SST - Shrinkage Starting Temperature

SP - 100 % de Serrim de Pinho

30S-70G - 30 % de Serrim e 70 % de Granulado

70S-30G - 70 % de Serrim e 30 % de Granulado

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

No contexto do panorama energético mundial, a energia é a principal base da evolução da melhoria da qualidade de vida da população, sendo uma das fundamentais impulsionadoras da economia, assim como, da evolução tecnológica. A crise petrolífera, vivida na década de 70, teve um grande impacto nos países dependentes energeticamente de outros, o que levou a pensar na sua situação e a pôr em causa o crescimento económico [1]. Afinal a energia proveniente de combustíveis fósseis podia não ser um bem inesgotável, problema que até à data não era tido como relevante. Com todas estas questões levantadas, começaram a surgir soluções para combater a dependência das energias fósseis, principal motor até à data da crise, nomeadamente pelo recurso às energias renováveis.

A energia não renovável estende-se a todos os recursos naturais, existentes no planeta, que não podem ser renovados através da ação humana, sendo esta uma das suas principais desvantagens. Em contrapartida, os recursos renováveis englobam todas as fontes energéticas que não se esgotam e/ou podem ser renovadas num curto espaço de tempo. Neste quadro estão enquadrados todos os recursos que dependem da radiação solar, visto que o sol deverá durar milhares de anos e caso acabe a vida na Terra também terá um fim, e todas as outras fontes que possam durar na ordem dos milhões de anos. No conjunto das energias renováveis tem-se a energia solar, eólica, hídrica, biomassa, geotérmica, ondas e marés.

A energia renovável, face à não renovável, para além da grande vantagem de ser ilimitada, é vista como uma energia limpa, devido ao seu baixo impacto ambiental, sendo que, também apresenta bons rendimentos energéticos. Tendo em conta os benefícios e inconvenientes dos recursos não renováveis em relação aos renováveis podia-se deduzir que estes últimos, atualmente, já possuíam uma maior exploração, no entanto isto não se verifica.

Este facto prende-se com a elevada tecnologia difundida que a energia convencional apresenta, sendo que para começar a apostar na energia alternativa é necessário um elevado investimento inicial, embora este seja recuperável, uma vez que o custo da matéria-prima é consideravelmente inferior, ou mesmo nulo.

No entanto, e face às suas vantagens, a energia renovável é cada vez mais procurada e promovida, sendo que, em 2010 o governo criou um programa de incentivo ao consumo deste tipo de energia, denominado de PNAER-2020 (plano nacional de ação para as energias renováveis).

Este plano fixa um aumento da quota de energia renovável, no consumo de energia final, de modo a atingir uma meta de 31 % em 2020, sendo que, em 2010 esta apresentava uma percentagem de 24,1%. O programa também prevê um aumento da contribuição desta tipologia de energias no setor dos transportes para os 10% e um consumo final de energia elétrica perto dos 60%.

Na Figura 1.1 pode-se visualizar a evolução do contributo das energias renováveis, desde de 2005 até 2020, no total de energia final consumida, assim como nos setores de eletricidade (FER - E), aquecimento e arrefecimento (FER - A&A) e transportes (FER - T) [2].

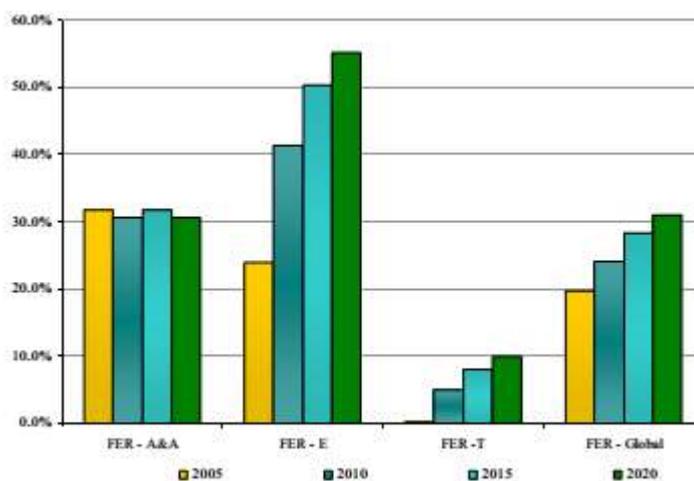


Figura 1.1: Metas Portuguesas para 2020 e sua evolução [2]

Embora as principais fontes de FER (Fontes de Energia Renovável) usadas sejam a hídrica e a eólica, principalmente no setor de produção de eletricidade (E), a biomassa também apresenta uma posição significativa, na hierarquia do consumo, principalmente no setor aquecimento e arrefecimento (A&A). No sector dos transportes (T), embora em menor escala, também se prevê um aumento do consumo de biomassa, através da utilização de biocombustíveis.

A Figura 1.2 representa a evolução prevista do consumo da biomassa, e de outras fontes de energia renovável (FER), no setor de capacidade instalada de produção de eletricidade e no setor de aquecimento e arrefecimento, desde o ano de 2010 até 2020 [2].

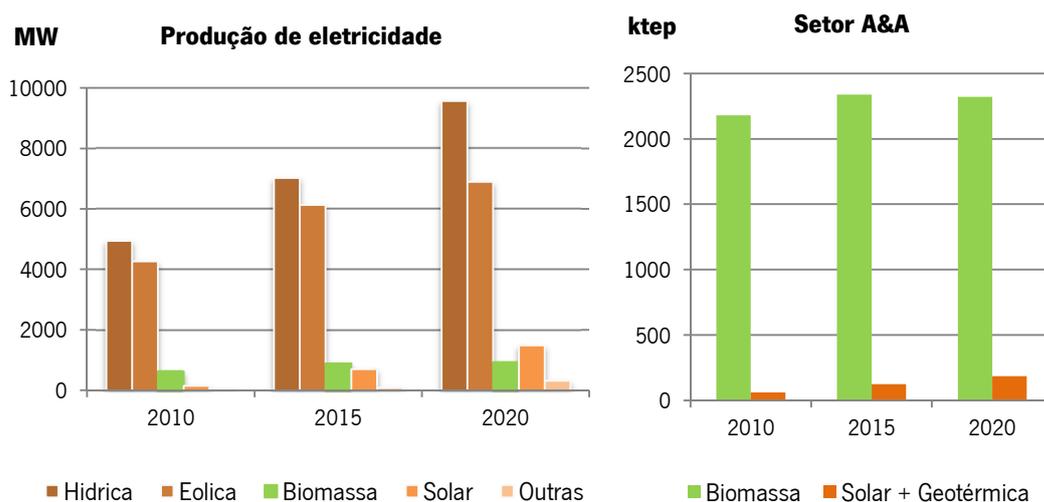


Figura 1.2: Evolução do consumo de energia renovável na produção de eletricidade e no setor A&A

No setor de produção de eletricidade o PNAER prevê um elevado crescimento das FER, para os 55,3 % até 2020, sendo que nessa fração cerca de 50 % correspondem à energia hídrica, 35 % à eólica e 5 % à biomassa. Os restantes 10 % distribuem-se entre a solar, a geotérmica e dos oceanos e marés.

No setor A&A, correspondente ao aquecimento e arrefecimento do ambiente, a biomassa é a principal fonte de energia utilizada, seguida pela solar. O programa não prevê um aumento do consumo de biomassa no setor de aquecimento e arrefecimento, sendo que esta fonte de energia deverá manter-se em média acima dos 90 %, dentro das FER. Neste setor, a tendência é para uma redução no consumo geral de energia, entre 2010 e 2020, conseguida através da nova legislação na construção de edifícios, que os torna mais eficientes energeticamente. Atualmente, a biomassa não representa um contributo mais elevado em termos da produção de energia visto ainda existirem lacunas ao nível da recolha, processamento e distribuição da matéria-prima. Como tal, o programa prevê a criação de infraestruturas de apoio ao nível da recolha, estilhaçamento e armazenamento da matéria-prima, programas ao nível da florestação e fomentação de culturas energéticas em terrenos baldios, assim como, programas de co-financiamento de equipamentos de aquecimento ambiente e de águas sanitárias a biomassa [2].

O uso da biomassa remonta desde a pré-história, onde os primitivos usavam lenha, ou outros derivados orgânicos, para se aquecerem, cozinhareem e até mesmo defenderem-se de alguns predadores, através do fogo. A sua utilização teve grande importância até à revolução industrial, onde teve relevância na descoberta da máquina a vapor. Mesmo sendo mais tarde substituída pelo carvão mineral, a biomassa foi considerada como a grande impulsora do progresso mundial [1]. Atualmente, e tendo em conta a sua combustão direta, a biomassa continua a ser bastante utilizada no setor doméstico

e de serviços, na climatização de edifícios, assim como no setor industrial, principalmente, na produção de eletricidade. Em alguns países, principalmente nos subdesenvolvidos a biomassa é a principal fonte de energia, podendo, em alguns casos, corresponder a cerca de 35 % do consumo de energia primária [3].

No contexto energético da união europeia, a produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis, incluindo a biomassa, adquiriu um interesse mais relevante em resultado da necessidade de minimizar e combater a dependência energética do petróleo, que nos últimos anos tem sofrido agravados aumentos de preço. Outras razões prendem-se com o cumprimento do protocolo de Quioto, o qual impõe limites nas emissões gasosas de modo a reduzir o efeito de estufa, e das metas a alcançar até 2020, previstas no programa PNAER [2,4].

1.1.1 BIOMASSA

A biomassa pode-se definir como a fração biodegradável de produtos, resíduos ou detritos de origem biológica provenientes da agricultura, incluindo substâncias de origem animal e vegetal, da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos [5].

O conceito de biomassa engloba todos os produtos derivados de [6, 7]:

- Resíduos vegetais provenientes da atividade agrícola, nomeadamente de podas de árvores, da produção de culturas energéticas temporárias, como a palha, bem como material similar proveniente da manutenção de jardins;
- Resíduos vegetais provenientes da silvicultura e dos desperdícios da atividade florestal;
- Resíduos vegetais provenientes da agro-indústria, ou seja, da transformação de produtos alimentares;
- Resíduos da indústria de transformação da madeira, com exceção daqueles que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes ou revestimento, incluindo, em especial, resíduos de madeira provenientes de obras de construção e demolição.
- Resíduos vegetais fibrosos provenientes da produção de pasta virgem e de papel se forem co-incinerados no local de produção e o calor gerado for recuperado;

- Resíduos da indústria de preparação e transformação da cortiça;

Os três principais constituintes da biomassa são a celulose, que representa cerca de 40 a 45 % da substância da madeira, a hemicelulose, que corresponde a cerca de 20 a 30 % e a lignina, com 18 a 25 % da madeira [8]. Para além destes constituintes a composição da biomassa também inclui lípidos, proteínas, açúcares simples, amido, água, hidrocarbonetos, cinzas e outros compostos [9].

Portugal dispõe de um elevado potencial no domínio das fontes de energia renováveis. No campo da biomassa é possível aproveitar uma fração significativa da mesma a partir da vasta área florestal disponível em Portugal, bem como resultante do setor agrícola. Desta forma, para além de se promover o aproveitamento dos resíduos e reduzir os riscos de incêndio nas florestas, também se valoriza o setor rural, através da criação de novos negócios locais e, conseqüentemente, da geração de novos postos de trabalho, já que a biomassa está disponível em praticamente todas as zonas do país.

No entanto, existem alguns problemas logísticos e operacionais que condicionam o investimento neste setor nomeadamente, ao nível da recolha, transporte e armazenamento, consequência da reduzida densidade aparente, da elevada dispersão entre os resíduos e das dimensões heterogêneas que apresenta. Razões estas que, por vezes, levam os produtores deste tipo de resíduo florestal ou agrícola, a abandoná-lo no terreno ou mesmo a queimá-lo a céu aberto. Um outro fator limitativo prende-se com a sustentabilidade deste recurso a médio e longo prazo que pode colocar em risco os elevados investimentos que estes projetos apresentam [10].

Outra grande vantagem da utilização desta fonte de energia como combustível prende-se com a possibilidade de aproveitamento de resíduos, o que leva a uma gestão mais eficiente de acordo com a hierarquia das operações de gestão de resíduo. Paralelamente, o recurso a este tipo de energia, assim como a outras formas de energia renovável, faz com que o país reduza a sua dependência energética, importando menores quantidades de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão. Quando comparada a esses combustíveis, a biomassa apresenta baixos custos de matéria-prima, embora os custos de investimento inicial, nomeadamente a nível dos equipamentos, sejam mais elevados.

A maior desvantagem da biomassa (sólida), face aos combustíveis fósseis, prende-se com o seu baixo poder calorífico, que em geral não ultrapassa os 20 MJ/kg, em contraste com os apresentados por alguns combustíveis fósseis que apresentam valores superiores a 40 MJ/kg. No caso particular do metano, este apresenta valores de PCI na ordem dos 55,6 MJ/kg [9].

Durante a sua conversão em energia, através da combustão, a biomassa apresenta baixos índices de NO_x e SO₂ e origina cinzas pouco agressivas ao meio ambiente, as quais podem ser reutilizadas como fertilizante. Em relação ao CO₂, a biomassa é conhecida por apresentar um balanço neutro, uma vez que, a quantidade de carbono libertado na sua queima é anulado pela quantidade armazenada ao longo do processo de crescimento da árvore, o que reduz o seu impacto no efeito de estufa. No entanto, isto só e verdade se não forem contabilizados os processos de recolha e transformação da biomassa que são realizados por máquinas que libertam, entre outros gases, CO₂ e quando para uma quantidade de biomassa queimada é plantada outra para a compensar [11].

1.1.2 TIPOS E TECNOLOGIAS DA CONVERSÃO DA BIOMASSA

A biomassa pode ser convertida em diferentes tipos de biocombustíveis que conseqüentemente são transformados em energia térmica, mecânica ou elétrica (Figura 1.3) [4].

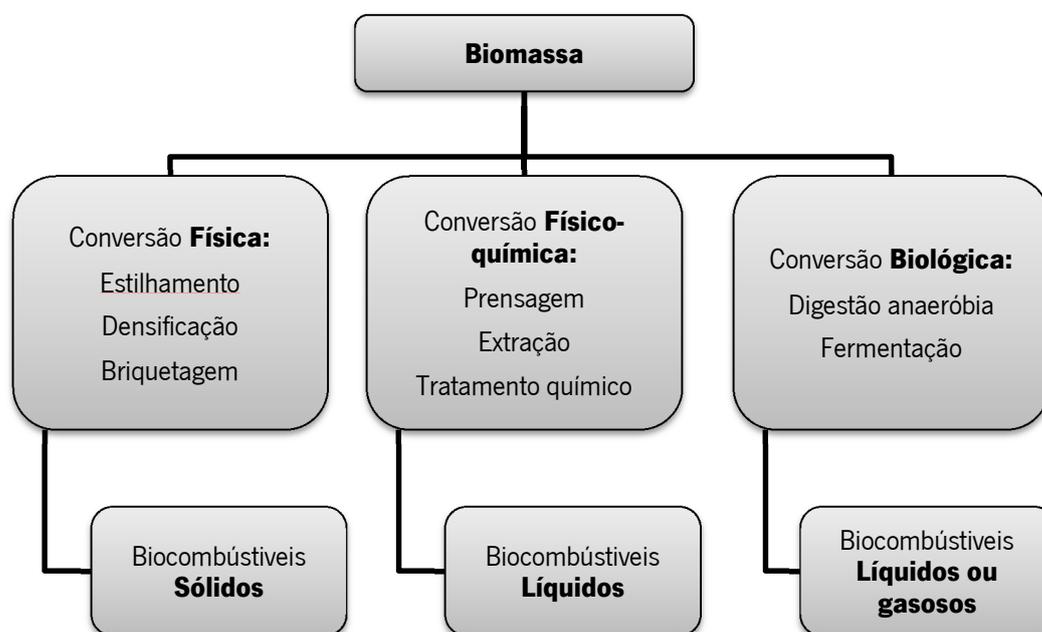


Figura 1.3: Esquema da conversão da biomassa em energia

Após a conversão física, físico-química e biológica, pode-se obter biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos, respetivamente [12, 13].

Biocombustíveis líquidos:

Os biocombustíveis líquidos são resultado dos produtos líquidos originários das “culturas energéticas”, como da colza ou do girassol, das quais se extraem os óleos vegetais, das gorduras animais ou das micro-algas. Estes óleos podem ser usados na sua forma natural ou como biocombustíveis, após a submissão a diferentes processos de transformação.

Como exemplos pode-se identificar o biodiesel, o bioetanol ou o metanol. O biodiesel é quimicamente semelhante ao gasóleo e possui um poder calorífico menor, que é compensado por um maior número de cetano, o que resulta numa combustão mais eficiente [14]. Este pode ser obtido por extração em compressão, sendo que o processo mais comum designa-se por estratificação, que resulta da reação química entre um óleo vegetal, ou uma gordura animal, e um álcool simples, na presença de um catalisador [14].

O bioetanol é essencialmente produzido através da fermentação da glucose, onde as matérias-primas mais utilizadas são o melaço da cana-de-açúcar e o amido de milho [15]. No caso de matérias que contenham açúcares, como por exemplo a cana-de-açúcar, estes podem se fermentados diretamente, enquanto que nos materiais que contenham amido, como é o caso do milho, é necessário uma hidrólise prévia de modo a transformar o amido em glucose [15].

O metanol resulta, de um processo termoquímico, nomeadamente da síntese do gás natural ou da gaseificação da madeira.

Biocombustíveis gasosos:

Os biocombustíveis gasosos resultam da conversão biológica da biomassa, por processos como a fermentação e a digestão anaeróbia. Estes podem ser obtidos a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU), dos resíduos e efluentes industriais (facilmente biodegradáveis) e dos resíduos de animais. A nível europeu o setor agrícola é o que possui um maior potencial de aproveitamento, embora apenas 5 % deste seja aproveitado [16].

Como exemplo, pode-se indicar o biogás, essencialmente constituído por metano (60 a 70 %) e dióxido de carbono (30 a 40 %), gerado pela decomposição do material orgânico através da ação dos microrganismos, na ausência de oxigénio. Em geral este processo é realizado em digestores, ou seja

camaras de fermentação fechadas e vedadas. O biogás pode ser utilizado para produção de calor e/ou eletricidade.

Biocombustíveis sólidos:

Os biocombustíveis sólidos englobam todos os produtos e resíduos provenientes da agricultura e silvicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. São exemplo de subprodutos a lenha, a estilha, os pellets e os briquetes (Figura 1.4):



Figura 1.4: Biocombustíveis sólidos: a) Lenha (toros) [17]; b) estilha [18]; c) pellets [19]; d) briquetes [20]

- Lenha (toros): esta é a forma tradicional de preparação da madeira e consiste no corte dos troncos, geralmente em 4 partes, com comprimentos de 250, 330, 500 ou 1000 mm, para uma conformidade com as caldeiras comercializadas. Em geral, um toro de madeira apresenta teores de humidade abaixo dos 20 %, se estiverem cerca de 2 anos armazenado ao ar livre, caso contrário pode conter até 50 % de humidade [12].
- Estilha: consiste na biomassa triturada, com comprimentos entre 10 e 100 mm e largura até 4 cm e, em geral, é usada para caldeiras com capacidade superior a

50 kW. Para a sua ótima utilização deve ser seca, manual ou forçadamente até valores de humidade na ordem dos 20 % [12].

- Pellets: consistem na densificação da biomassa seca, triturada e moída até à forma de serrim. Estes apresentam tamanhos normalizados, com 6 ou 8 mm de diâmetro e comprimentos entre os 3,15 e os 45 mm, de acordo com a normalização europeia, o que permite a sua utilização em caldeira próprias e automatizadas. O seu teor de humidade encontra-se abaixo dos 10%, inferior ao da lenha [12].
- Briquetes: são obtidos através da prensagem de serrim ou estilha com baixos índices de humidade, processo semelhante aos pellets. São usados em equipamentos com sistemas de alimentação manual e apresentam dimensões compreendidas entre 20 e 100 mm de diâmetro e 30 a 300 mm de comprimento [12].

Para a conversão dos biocombustíveis sólidos, em energia elétrica, mecânica e térmica, existem vários processos, nomeadamente [4, 13]:

Combustão: consiste na queima completa da biomassa, a temperaturas na ordem dos 800 a 1000 °C, utilizando para o efeito vários equipamentos, como fogões, fornos, caldeiras, turbinas a vapor ou turbogeradores. A combustão é realizada com excesso de ar atmosférico, e dela resulta calor, vapor de água, cinzas e emissões gasosas. Pode ser aplicada a qualquer tipo de biomassa, desde que possua teores de humidade inferiores a 50 % [21].

Co-combustão: refere-se a um processo de combustão conjunta de diferentes combustíveis no mesmo equipamento. Este processo é muito usado nas centrais térmicas a carvão de modo a reduzir as emissões gasosas, de CO₂, NO_x e SO₂, sem necessidade de grandes investimentos [21].

Gaseificação: permite a obtenção de uma mistura de gases, como CH₄, CO, CO₂ e H₂, entre outros, através da combustão incompleta da biomassa, com quantidades de ar abaixo das do equilíbrio estequiométrico e a temperaturas na ordem, dos 800-900 °C [21].

Pirólise ou carbonização: consiste na combustão incompleta da biomassa, a temperaturas que rondam os 500 °C, na ausência de oxigénio, de modo a retirar o material volátil. Este processo é utilizado

essencialmente para conceber carvão vegetal, podendo também obter-se biocombustível líquido ou gasoso [21].

Liquefação: baseia-se na hidrogenação da biomassa misturada com um solvente, na presença de um catalisador a temperaturas moderadas e elevadas pressões [21].

1.1.3 SITUAÇÃO ATUAL DO USO DA BIOMASSA

Segundo estatísticas da DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia em Portugal, no ano de 2011, foram consumidos cerca de $3,15 \times 10^6$ tep de biomassa, na parcela de energia primária, o correspondente a 14 % no total de energia consumida.

No consumo de energia final, a biomassa apresenta uma parcela de 8%, no total de energia final consumida, o que equivale a cerca de $1,32 \times 10^6$ tep [22]. Uma das razões para a diferença de valores entre o consumo de biomassa final e primária prende-se com o rendimento dos equipamentos durante a conversão de energia.

A Figura 1.5 apresenta a percentagem de energia primária e final consumida nas diferentes formas de energia.

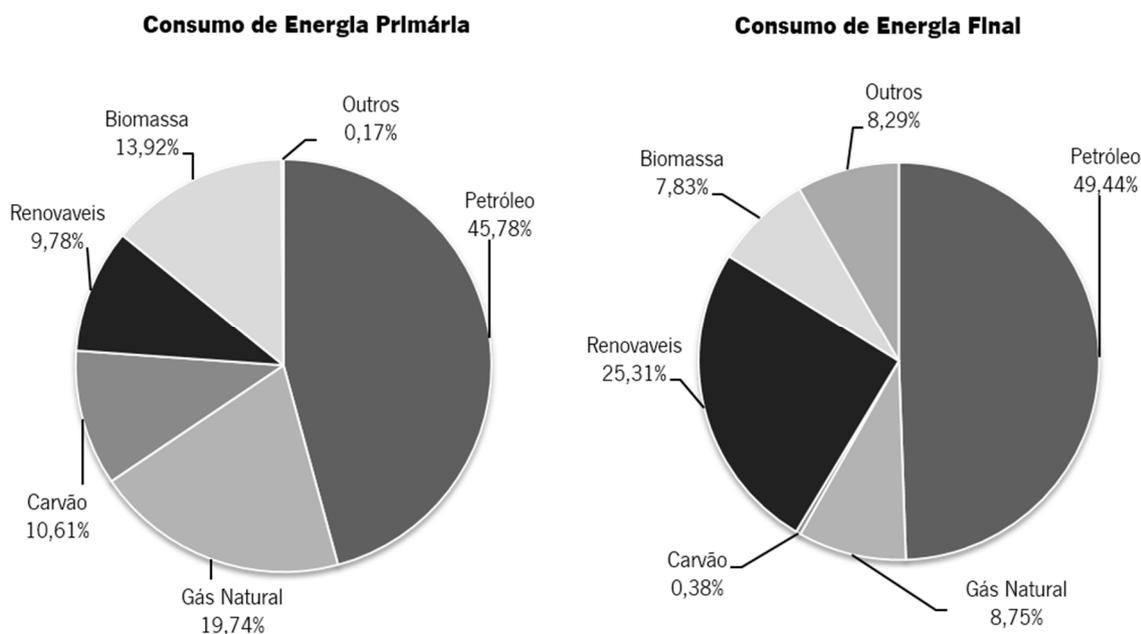


Figura 1.5: Consumo de energia primária e final no ano de 2011 [22]

A maior parcela de biomassa é consumida no setor de produção de energia elétrica, seguida do setor de aquecimento e arrefecimento, e, em menor percentagem, no setor dos transportes, tal como já referido. Esta fonte de energia provém essencialmente da atividade florestal e agrícola, e de algumas indústrias transformadoras de produtos biodegradáveis.

Segundo uma estimativa de um estudo realizado em 2002, anualmente são produzidas cerca de 2001 mil toneladas de resíduo agrícola seco, onde se inclui os resíduos de culturas permanentes (podas de árvores) e de temporários, como o caso da palha de cereais, do caule de girassóis e de milho e ainda de parte das plantas herbáceas [7].

Na atividade florestal, estima-se uma produção de cerca de 1749 mil toneladas verdes, equivalentes a 781 mil toneladas secas, de resíduos das principais espécies florestais nacionais, sendo que 85 % do valor corresponde à exploração do pinheiro e do eucalipto.

Na agro-indústria calcula-se um valor de 872 mil toneladas secas por ano [7]. Alguns autores do setor acreditam que as plantações de culturas energéticas e espécies lenhosas de rápido crescimento para produção de biomassa terão um crescimento significativo no decorrer dos próximos anos [23][23].

Na indústria de transformação de madeira e de cortiça, estima-se uma produção média anual de resíduos de 1584 mil toneladas secas. Deste valor estima-se que 899 mil toneladas de resíduo seco por ano correspondem apenas à indústria transformadora de madeira [7].

Neste setor de transformação da madeira, do total de um tronco apenas cerca de 47,5 % corresponde a matéria-prima serrada para a indústria. O restante equivale a resíduos, onde 20 % corresponde às costaneiras (tábua exteriores de um tronco), 20 % dizem respeito a cascas e 12,5 % a serrim. Segundo dados da AIMMP (Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal), cerca de 90 % dos resíduos derivados do descasque são utilizados para valorização energética, e os restantes para fertilizantes. Na fração relativa ao serrim, 30 % é usado para valorização energética, 20 % empregue para fins relacionados com a agricultura e pecuária e 50 % são enviados para reciclagem para produção de aglomerados, pasta de papel e briquetes [7, 24]. No que diz respeito à indústria do papel, assumindo-se que para a produção de uma 1 tonelada de pasta são necessárias 2 toneladas de madeira, são produzidas 0,75 toneladas de casca e 0,1 de serradura [7].

Na indústria da cortiça, estima-se que 26 % da matéria-prima seja transformada em pó de cortiça, equivalente a 40 mil toneladas secas/ano desse resíduo, sendo que uma parte das empresas aproveita

este subproduto para a produção de energia [7]. Como referido, este estudo remonta ao ano de 2002, pelo que estes valores podem não corresponder aos verificados atualmente.

1.2 OBJETIVOS

Com o presente trabalho pretende-se analisar a possibilidade de incorporação de resíduos provenientes da indústria corticeira na produção de pellets, avaliando para o efeito as suas características de densificação, durabilidade mecânica, teor de cinzas, poder calorífico, comportamento à combustão, emissões gasosas geradas e tipologia das cinzas produzidas.

O trabalho surge na sequência das necessidades de uma empresa produtora de rolhas de cortiça, para engarrafamento de garrafas de vinho e champanhe/espumante, situada na zona do Algarve. O principal objetivo da empresa passa pela necessidade de viabilizar técnica e economicamente uma parte dos desperdícios provenientes do processo de produção das rolhas, equivalente a aproximadamente 125 kg/h. Atualmente este subproduto não tem qualquer aproveitamento interno por parte da empresa, apresentando como destino a exportação pontual para a Índia. Em consequência da irregularidade da comercialização, resulta o armazenamento do subproduto nas instalações da empresa sem possibilidade de escoamento, por tempo incerto.

Durante o projeto pretende-se realizar ensaios de produção de pellets, por recurso a uma peletizadora existente no CVR, com incorporação de granulado de cortiça e serrim, em distintas proporções, até à obtenção de um produto final em cumprimento com os requisitos definidos comercialmente para este tipo de produtos. Para o efeito, após a produção dos pellets será necessário determinar e analisar as suas características técnicas, de modo a assegurar que o produto final cumprisse determinados requisitos expressos pela legislação aplicada ao setor. Para além dos parâmetros químicos e físicos, será igualmente estudado o comportamento do produto durante a combustão, tendo em conta o aspeto técnico da queima, assim como, as emissões gasosas libertadas durante a mesma e a composição química das cinzas geradas.

Após a determinação de todos os parâmetros relacionados com a caracterização e descrição do produto pretende-se elaborar uma ficha técnica onde constam informações relativas ao modo de utilização do produto, recomendações e aspetos de segurança a ter em consideração, assim como as características que este aufere.

Por fim, pretende-se efetuar uma avaliação técnica e económica do produto final considerado com maior potencial de aplicação, de modo a perceber qual a relação entre o custo de fabrico do produto e o seu preço final ao consumidor. Paralelamente, será determinado o investimento necessário para implementar uma instalação para o fabrico desta tipologia de pellets.

1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 9 capítulos dispostos pela ordem do cumprimento das tarefas.

No capítulo 1 descrevem-se os principais objetivos a cumprir com a realização deste trabalho, bem como a delimitação da estrutura que a escrita do mesmo segue. Integra igualmente o enquadramento do tema, através da abordagem à importância e distintas formas existentes de energia, com especial enfoque na contribuição e interesse da biomassa no contexto energético.

O capítulo 2 refere-se ao estado da arte, e encontra-se dividido em três importantes subcapítulos referentes à biomassa florestal, à cortiça e aos pellets. No subcapítulo referente à biomassa florestal é abordado o conceito da mesma, a situação do seu uso e produção a nível nacional, respetivo potencial energético, bem como as principais características da sua combustão e respetivos poluentes libertados. No subcapítulo que aborda a cortiça são focadas as principais características e aplicações deste material assim como, a sua produção e consumo nacional, onde Portugal assume um peso relevante. É igualmente abordado o tema dos resíduos derivados da indústria corticeira, com referência ao destino que estes podem apresentar, bem como ao processo de produção dos mesmos numa empresa do setor. O subcapítulo que abrange o tema dos pellets menciona o conceito deste produto, assim como o processo de fabrico do mesmo. Neste também é abordado o sistema de certificação aplicado ao setor, bem como as características técnicas abrangidas pela mesma, com especificação do valor limite de alguns parâmetros e a sua influência. Adicionalmente é apresentado um estudo comparativo entre pellets de resíduos da indústria corticeira e pellets de madeira, e referida a situação atual nacional deste produto no mercado.

O capítulo 3 diz respeito à componente experimental do trabalho realizado. Inicialmente, referem-se as principais características da matéria-prima a aplicar e descreve-se o processo de fabrico dos pellets nas instalações do CVR, com referência aos equipamentos e técnicas usadas. Posteriormente são descritos os métodos de caracterização dos parâmetros mais relevantes dos pellets, assim como as

condições dos ensaios de combustão realizados para a medição dos poluentes de emissões gasosas e de caracterização das cinzas, e as técnicas e metodologias usadas para aferição destes dois parâmetros.

No capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos através dos ensaios e testes realizados, e estabelecida uma comparação de parâmetros entre cada um dos tipos de pellets produzidos.

No capítulo 5 é apresentada uma avaliação económica, onde se expressa o custo de fabrico dos pellets através dos equipamentos usados, bem como uma estimativa de custos para o investimento de uma instalação de produção de pellets.

No capítulo 6 é apresentada a ficha de produto dos pellets, onde constam as principais características e recomendações para o utilizador final, assim como uma proposta de rotulagem para a embalagem do produto.

Por fim, nos capítulos 7 e 8 apresentam-se as principais conclusões a retirar deste estudo e os trabalhos futuros. A tese termina com as referências bibliográficas mencionadas ao longo do trabalho, apresentadas no capítulo 9.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal abrange toda a matéria vegetal proveniente da silvicultura e dos desperdícios da exploração de povoamentos florestais nomeadamente, bicadas, ramos, folhas, raízes e matos e resíduos gerados pela indústria de transformação da madeira, como cascas, serrim, pó e licor negro [24].

Os cobertos florestais abrangem cerca de 40 % da superfície terrestre e podem-se traduzir em cerca de 90% da produção de biomassa [25]. Em Portugal, a floresta representa cerca de um terço da área do território nacional, sendo a principal fonte de biomassa, o que faz desta energia uma potencial alternativa face aos combustíveis fósseis, que têm de ser importados, a custos elevados, reduzindo assim a dependência externa [26].

2.1.1 RECOLHA DA BIOMASSA FLORESTAL

Para além da sua importância como recurso energético, o uso da biomassa florestal também apresenta um papel relevante no ordenamento e gestão da floresta, através da limpeza das florestas e consequente redução do risco de incêndios. Note-se que anualmente, sobretudo nas épocas mais quentes, é perdido e desperdiçado parte deste recurso, assim como destruído o património florestal, através dos incêndios que ocorrem pela falta de limpeza das florestas. Como forma de solucionar este problema, foi publicado em 2006 o DL n°124/2006 que estabelece as medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios [27].

No desbaste de florestas, aproveitam-se os troncos de qualidade para a indústria da madeira e os de qualidade inferior, assim como os resíduos deles resultantes para biomassa. Anteriormente grande parte destes resíduos era deixada no local acabando por ser desperdiçados.

Atualmente, tenta-se aproveitar, sempre que rentável, todos os desperdícios provenientes dos desbastes, como os ramos e folhagem, e troncos não aproveitados para a indústria da serração. Para tal, existem várias formas de recolher a biomassa, procedendo da forma mais viável possível. Uma das formas mais simples e usadas até hoje passava pelo transporte da biomassa no seu estado natural. Esta

técnica encontra-se cada vez mais em desuso devido à baixa rentabilidade do transporte. Atualmente procuram-se soluções como o processamento da matéria em estilha no local do desbaste, se possível, ou o enfardamento. Ambas as técnicas são mais rentáveis em termos de transporte mas implicam a aquisição de mais equipamentos e só é possível em locais de bons acessos. Quando o local não é favorável à entrada destes equipamentos pode-se optar por armazenar e processar a biomassa em parques de pré-tratamento, onde a matéria chega na forma natural e sofre a transformação [4].

Apesar dos vários benefícios em recolher a biomassa florestal, há quem defenda que a redução do coberto vegetal pode trazer alguns inconvenientes ao nível do aumento do perigo de erosão dos solos, assim como, da diminuição da sua fertilidade. Segundo um estudo, realizado na zona centro do país, as restituições de nutrientes, como o fósforo (P), que se encontra em teores mais elevados na camada orgânica dos ecossistemas florestais, e em menores porções na camada mineral, são essenciais para a nutrição das plantas existentes [23]. Por outro lado, estas camadas também possuem uma função de estabilização da estrutura do solo, através das quantidades de cálcio e magnésio (Ca e Mg) existentes. A remoção destas camadas pode contribuir para a diminuição da fertilidade do solo, e consequentemente, da produtividade da zona, pois cerca de 20 a 30 % dos nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantações encontram-se nestas camadas, principalmente em zonas de solos de rochas ácidas [23].

2.1.2 SITUAÇÃO NACIONAL DA BIOMASSA FLORESTAL

Em Portugal o território continental coberto por floresta apresenta uma percentagem considerável, cerca de 35,4% o que equivale a aproximadamente 3200 mil hectares, segundo dados do 6º Inventário Florestal Nacional (ainda provisório), transmitido pela Direção Nacional de Gestão Florestal. Este valor tem vindo a diminuir ao longo dos anos, sendo que em 2005 a área florestal correspondia a 38 % do uso do solo [28]. Na Figura 2.1 pode-se visualizar a percentagem da distribuição da área por uso do solo no território nacional [28].

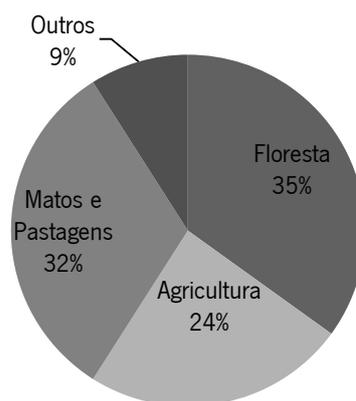


Figura 2.1: Área por uso do solo em Portugal Continental em 2010

Na parcela “outros” inclui-se os terrenos improdutivos, com grau de coberto florestal inferior a 10 %, as águas interiores (estuários, rios, lagoas, albufeiras, salinas, entre outros) e o uso urbano (terrenos com construções edificadas pelo homem), onde se verificou um crescimento significativo, resultado da substituição de áreas florestais e agrícolas.

Analisando agora a distribuição de área por espécie florestal no território nacional continental, no ano de 2010, o eucalipto (dominado pela espécie *Eucalyptus globulus*) era a principal ocupação florestal, com uma área de 812 mil hectares, seguido do sobreiro, com 737 mil hectares. Na terceira posição vem o pinheiro bravo com uma área de 714 mil hectares, que sofreu uma acentuada diminuição, sendo que em 2005 esta era a espécie mais predominante com 795 mil hectares. Em contrapartida a área de eucalipto nos últimos anos sofreu um aumento de produção, assim como relativamente ao sobreiro. Na Figura 2.2 pode-se observar a distribuição das áreas totais das principais espécies, em percentagem [28].

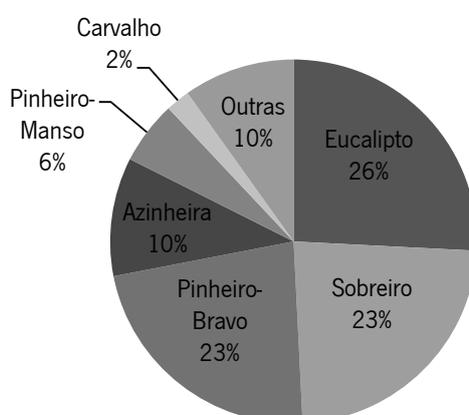


Figura 2.2: Distribuição das áreas totais por espécie

Por cada hectare de floresta crê-se que podem ser recolhidos entre 0,4 a 0,8 toneladas de lenha seca, sendo que anualmente é possível obter cerca de 1,5 toneladas por hectare, para uma zona florestal de uso permanente, incluindo também os resíduos de limpeza e manutenção do ecossistema florestal [12].

Para a quantificação da biomassa não foram encontrados dados atuais, apenas um estudo realizado em 2001 pelo INETI, que ditava uma produção anual de biomassa florestal de 6,5 milhões de toneladas, sendo que apenas 2 milhões estariam disponíveis como recurso energético. Na Tabela 2.1 encontra-se representada a quantidade de biomassa florestal produzida por ano por tipo de resíduo e na Tabela 2.2 a quantidade disponível, valores retirados do estudo do INETI [13, 29].

Tabela 2.1: Produção anual de biomassa florestal

Tipo de Biomassa	Produção [milhões de ton/ano]
Matos (incultos)	4,0
Matos (sob-coberto)	1,0
Produção de Lenhas	0,5
Ramos e Bicadas	1,0
Total	6,5

Tabela 2.2: Potencial anual de biomassa florestal disponível

Tipo de floresta	Potencial disponível [milhões de ton/ano]
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e Bicadas	1,0
Indústria Transformadora da Madeira	0,2
Total	2,2

A maior percentagem de produção de biomassa florestal encontra-se nos matos, ao passo que o potencial disponível é superior nos ramos e bicadas. Prevê-se que os valores atuais sejam superiores aos indicados acima nas tabelas.

2.1.3 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

A principal tecnologia utilizada no processo de conversão da biomassa em energia, para produção de calor e/ou eletricidade, é a combustão [13].

O principal constituinte da biomassa é o carbono, que representa cerca de 30 a 60 % da matéria seca, sendo que nas espécies lenhosas este ronda tipicamente os 50 %. Este elemento é seguido do oxigénio, que tipicamente ronda os 30 a 40 %. O elevado teor de oxigénio presente, que é superior ao existente nos combustíveis fósseis, proporciona uma combustão com menores necessidades de quantidade de ar, o que se traduz numa combustão com menos poluentes libertados e, negativamente, numa redução da quantidade de energia que se liberta, ou seja, num menor poder calorífico. O terceiro elemento mais abundante na composição da biomassa é o hidrogénio que compreende um teor entre 5 e 6% de matéria seca. Para além destes três elementos principais também se pode encontrar azoto, enxofre e cloro, cuja presença normalmente é inferior a 1%, embora por vezes este valor seja ultrapassado, entre outros elementos químicos [9].

A combustão é um processo que envolve reações homogéneas e heterogéneas e que ocorre através de uma sequência de fases de um processo termoquímico, visto que em situações ambientais normais a biomassa não é auto-inflamável.

Numa fase inicial, a biomassa, quando é alimentada para o sistema de combustão encontra-se à temperatura ambiente, pelo que, é necessário proceder ao seu aquecimento, com temperaturas inferiores a 100 °C, antes das reações começarem. Consequentemente, com temperaturas entre 100 °C a 150 °C, inicia-se um processo de secagem da biomassa, de modo a diminuir o seu teor de humidade, com libertação da água na forma de vapor [13, 30].

Em seguida, tem início a desvolatilização onde ocorre a decomposição da biomassa, na ausência de O₂, até uma temperatura de aproximadamente 230 °C. Os componentes de cadeia longa são quebrados em compostos de cadeia curta, de onde resultam os gases tais como monóxido de carbono e hidrocarbonetos e ainda a formação de alcatrões [13, 30].

Finda esta fase de reações endotérmicas, caracterizadas pela absorção de calor, seguem-se as reações exotérmicas, onde ocorre a libertação de calor, na presença de oxigénio.

A cerca de 230 °C, perto do ponto de ignição, ocorre a gaseificação da biomassa, sob a presença de O₂ até 500 °C. Em seguida dá-se a gaseificação do carbono sólido, onde se forma uma chama visível. Nesta fase também ocorre a oxidação das espécies gasosas, como o monóxido de carbono. Por fim, com temperaturas entre os 700 °C e 1400 °C, dá-se a oxidação de todos os gases combustíveis e o fim da reação de combustão para a biomassa [12, 13, 30].

Note-se que o tamanho das partículas tem uma elevada influencia na eficiência da combustão, de modo que ao reduzir o tamanho dos combustíveis aumenta-se a superfície específica para que as reações ocorram, originando a possibilidade de uma combustão mais rápida.

2.1.4 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A combustão dos diversos combustíveis gera diferentes emissões atmosféricas poluentes, conforme a composição química de cada um [31]. No caso da biomassa, as emissões podem que podem-se classificar em gases que causam efeito de estufa, nomeadamente CO₂ e CH₄ e gases nocivos como o CO, NO_x, SO_x e COV's. Paralelamente da combustão resultam resíduos inertes, como as cinzas e resíduos carbonosos [9, 12, 31].

Em condições ótimas, com excesso de ar suficiente, dá-se a combustão total do combustível orgânico sólido, com a libertação de dióxido de carbono (CO₂), vapor de água (H₂O) ou óxidos de enxofre (essencialmente SO₂) [31].

O monóxido de carbono (CO), assim como os hidrocarbonetos e os COV's (compostos orgânicos voláteis) e partículas não queimadas são produtos derivados de combustão incompleta, resultado de uma insuficiência de comburente (oxigénio) para a queima completa de todo o combustível [9, 31]. A formação de CO é causada pela combustão incompleta dos átomos de carbono, ao passo que a presença de COV's indica a quebra incompleta de componentes orgânicos [32].

Para além dos gases, também resultam resíduos carbonosos e cinzas, ou seja, resíduos compostos por óxidos no estado sólido à temperatura ambiente. As cinzas, provenientes de biomassa florestal, podem ter como destino a agricultura, onde podem ser usadas como fertilizante de solos para cultivo de plantações, visto serem ricas em Fósforo (P), Azoto (N) e Potássio (K). Esta solução tem como vantagem o fornecimento de nutrientes ao solo através de fontes biológicas ou um potencial uso como corretivo dos solos, especialmente, quando há elevados teores de Ca e Mg [23].

No entanto, pode ter como inconveniente uma má nutrição quando contêm grandes quantidades de inertes ou baixo conteúdo de nutrientes em comparação ao de metais pesados. Para além disso, quando as cinzas possuem elevados teores de cálcio (Ca) e principalmente de sódio (Na), pode originar a alcalinização do solo, com a geração de efeitos negativos na absorção de alguns nutrientes, como por exemplo de fósforo (P) [33].

2.1.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA FLORESTAL

Como já citado antes, a biomassa apresenta um poder calorífico, na ordem dos 14 a 20 MJ/kg, conforme a variação do teor de humidade, o que é bastante inferior ao verificado nos combustíveis fósseis.

Dentro das espécies lenhosas existentes no território nacional, o pinheiro-bravo é a que apresenta um poder calorífico mais elevado, embora muito perto do apresentado pelas outras espécies. Na Tabela 2.3 pode-se observar o PCI das diferentes espécies lenhosas portuguesas mais comuns.

Tabela 2.3: Poder calorífico das principais espécies de árvores nacionais [34]

Espécie	PCI [MJ/kg]
Pinheiro-bravo	17
Eucalipto-comum	15
Carvalho	15
Sobreiro	14
Azinheira	14

No ano de 2010, foram consumidas cerca de 2 milhões de toneladas de biomassa florestal, a nível nacional. O consumo deste biocombustível é verificado em centrais elétricas e de cogeração, bem como para a produção de pellets, entre outros. Para além disso, neste mesmo ano também se exportou uma parte deste subproduto. A maior porção de biomassa é consumida pelas centrais termoelétricas para a produção de energia elétrica, representando cerca de 55 % do consumo total.

Na Tabela 2.4 pode-se visualizar a distribuição do consumo da biomassa em diferentes áreas, assim como a quantidade consumida no ano de 2010, segundo dados fornecidos pelo ICFN – Instituição da Conservação da Natureza e das Florestas.

Tabela 2.4: Consumo de biomassa florestal no ano de 2010, pelos diferentes tipos de consumidores [35]

Consumidor	Ton	%
Centrais Elétricas	1 208 084	55,29
Centrais Co-Geração	715 910	32,76
Pellets	126 000	5,77
Cimenteiras	35 000	1,60
Outras	50 000	2,29
Exportação	50 000	2,29
Total	2 184 994	100

A produção de energia elétrica, em centrais dedicadas a biomassa, apresenta uma menor eficiência, face às centrais térmicas com recurso a combustíveis fósseis, devido ao baixo poder calorífico e à variabilidade do teor de humidade e heterogeneidade que esta apresenta [24].

Já as centrais de cogeração, que produzem simultaneamente energia térmica e elétrica, apresentam maior eficiência, até 80 %, quando recorrem ao uso da biomassa como combustível. A indústria de fileira florestal e as que requerem grandes necessidades de calor e eletricidade são potenciais utilizadores para centrais a cogeração, assim como a indústria transformadora que diariamente produz elevadas quantidades de resíduos passíveis de combustão [24].

Em 2005 existiam apenas duas centrais termoelétricas em funcionamento a biomassa florestal, a central de Mortágua e a Centroliva, e algumas unidades na indústria em processos de cogeração, aproveitando resíduos de algumas das atividades produtivas [10]. No entanto, em 2006 foi lançado um concurso público para a construção de 15 centrais termoelétricas a biomassa florestal, totalizando uma capacidade instalada de 100 MW [10, 35]. Em 2011 foi criado o decreto de lei nº 5/2011, de 10 de Janeiro, de modo a promover, através de incentivos, a implementação de centrais termoelétricas cuja fonte de energia seja a biomassa. Este decreto *estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa, para garantir o abastecimento das centrais dedicadas de biomassa florestal, fixando o incentivo à venda da eletricidade associado ao cumprimento dessas medidas* [36]. Atualmente, segundo dados da “EDP” existem 4 centrais termoelétricas de produção de energia elétrica em funcionamento com recurso a biomassa, a central Mortágua, que possui uma potência instalada de 9 MW, a central de Rodão que auferir uma capacidade instalada de aproximadamente 13 MW, a central da Figueira da Foz, com uma potência de 4 MW e a de Constância que debita cerca de 14 MW [37].

Segundo os dados da tabela 4, em 2010 a produção de pellets, a partir de biomassa florestal corresponderia a cerca de 6 % do consumo total desta matéria. No entanto, em 2012, segundo a ANPEB, prevê-se que foram produzidos aproximadamente 690 000 toneladas de pellets, representando um aumento de 8 % face a 2011. Atualmente, a ANPEB prevê que o consumo de biomassa florestal neste setor ronda as 1 400 000 toneladas por ano.

2.2 A CORTIÇA

A cortiça é um material natural usado pela humanidade desde a antiguidade, usualmente utilizado como material flutuante e vedante. Este material corresponde ao revestimento exterior (casca) de uma árvore, denominada de sobreiro (*Quercus suber* L.) e é extraído dos seus troncos e ramos (Figura 2.3) [38].



Figura 2.3: Sobreiro: a) montado de sobreiros descortiçados; b) casca do sobreiro (cortiça) [39]

O sobreiro é a única árvore capaz de regenerar a sua casca após cada colheita, característica que faz da cortiça um material biológico, ecológico e renovável, difícil de ser substituído por um material sintético [40]. Cada sobreiro pode produzir cortiça durante cerca de 150 anos, sempre com um intervalo de descortiçamento de 9 a 12 anos, o que permite uma média de 15 a 16 descortiçamentos durante a sua vida [41]. Este só pode ser descortiçado pela primeira vez ao fim de cerca de 20 a 35 anos de idade, quando o seu tronco atinge cerca de 70 cm de diâmetro, a cerca de 1,3 m de altura do solo [42, 43]. Um só sobreiro pode produzir entre 30 a 200 kg por ciclo de produção, sendo que a produtividade média é de aproximadamente 8 a 12 kg/m² de área descortiçada [43]. A legislação que regulamenta a operação de extração de cortiça encontra-se descrita no DL 11/97, de 14 de Janeiro [42].

A primeira cortiça extraída de uma árvore é denominada de virgem e classificada como de má qualidade, devido aos numerosos sulcos e fendas que apresenta. A partir do segundo descortiçamento,

a cortiça já apresenta uma estrutura celular mais regular e de melhor qualidade. Esta é denominada de cortiça amadia ou de produção. A cortiça é removida entre os meses de Maio e Agosto, altura em que as árvores estão em atividade de crescimento e as novas células de cortiça quebram facilmente, facilitando assim a sua remoção do tronco [40]. Após ser retirada da árvore, a cortiça sofre um processo de tratamento até se obter o produto final com as características conhecidas. Numa primeira fase, as pranchas são colocadas em pilhas ao ar livre, de forma a permitir a estabilização da cortiça. Em seguida sofrem um processo de cozedura que consiste na imersão total das pranchas em água limpa a ferver, com uma temperatura na ordem dos 100 °C, durante pelo menos uma hora, de modo a limpar a cortiça, extraindo-lhe as substâncias hidrossolúveis, a aumentar a sua espessura, a reduzir a sua densidade e a torná-la mais macia e elástica [44].

O sobreiro é uma espécie de árvore que se adapta ao clima Mediterrâneo, com verões secos e invernos suaves, razão pela qual Portugal é um dos maiores produtores de cortiça do mundo, recurso que importa aproveitar da melhor forma possível. O grande impulso para a globalização da utilização deste material deveu-se à utilização de garrafas de vidro para o mercado do vinho e à sua vedação com rolhas de cortiça [38].

2.2.1 PRODUÇÃO NACIONAL DE CORTIÇA

Em Portugal, cerca de 23% da área florestal, o correspondente a cerca de 737 mil hectares, é ocupada por montados de sobreiros. Entre 1995 e 2010, a ocupação do solo por esta espécie teve um pequeno declínio, pouco expressivo, registando um ligeiro crescimento entre 2005 e 2010 (Figura 2.4) [28].

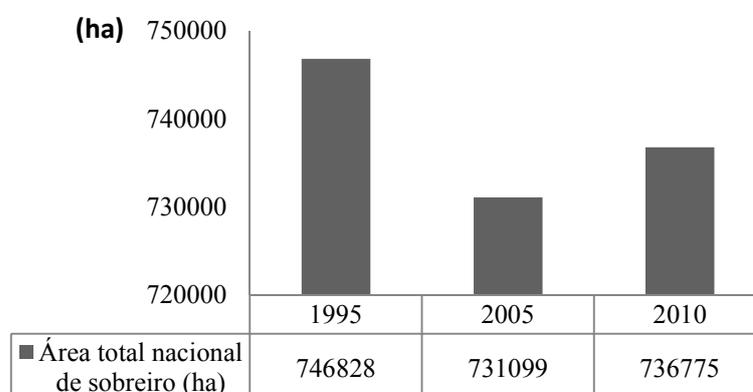


Figura 2.4: Evolução da área total nacional de sobreiro, em hectares, entre 1995 e 2010 [28]

Estas alterações resultam de uma perda de área, de 28 mil hectares, para matos e pastagens e o ganho de área por arborização de terrenos agrícolas, de aproximadamente 18 mil hectares, cujo balanço resulta na perda total de cerca de 10 mil hectares de área de sobreiro, desde 1995 até 2010.

Portugal possui cerca de 34 % da área mundial de plantação de sobreiros, e a maior produção anual de cortiça, seguido pela Espanha. Na Tabela 2.5 pode-se visualizar a área de montado e a produção anual dos principais produtores mundiais deste recurso.

Tabela 2.5: Principais produtores mundiais de cortiça e correspondente área ocupada [45]

	Área total mundial		Produção anual mundial	
	Hectares	%	Toneladas	%
Portugal	715.922	34	100.000	49,6
Espanha	574.248	27	61.504	30,5
Marrocos	383.120	18	11.686	5,8
Argélia	230.000	11	9.915	4,9
Tunísia	85.771	4	6.962	3,5
França	65.228	3	5.200	2,6
Itália	64.800	3	6.161	3,1
Total	2.119.089	100	201.428	100

Anualmente, Portugal produz cerca de 100 mil toneladas de cortiça, o correspondente a aproximadamente 50% do total da produção mundial. Para além de ser o maior produtor de cortiça, igualmente é o maior exportador, com uma quota de 60 % das exportações mundiais, apresentando como principais destinos a França (20,1%), os EUA (15,6%), a Espanha (11%), a Itália (9,5%) e a Alemanha (7,9%) [45]. Adicionalmente, Portugal assume a quarta posição de importador de cortiça para transformação e posterior exportação, sob a forma de produtos, essencialmente rolhas de cortiça e material de construção [46]. Nas exportações nacionais, o setor da cortiça é responsável por cerca de 2 % do valor das exportações totais de bens [46].

De acordo com os dados fornecidos pela APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, relativamente ao ano de 2009, existiam 597 empresas da indústria da cortiça, 70% das quais dedicadas à produção

de rolhas. As restantes dedicam-se à indústria de preparação da cortiça (22 %) e ao fabrico de outros produtos, que não rolhas (8%) [47].

2.2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS e APLICAÇÕES DA CORTIÇA

A cortiça é conhecida essencialmente pelas suas excelentes características, designadamente [38, 48]:

- Leveza e Flutuabilidade – derivadas da quantidade de ar encerrado nas células;
- Impermeabilidade e Compressibilidade – devido à presença de suberina e flexibilidade das membranas celulares;
- Elasticidade – capaz de recuperar em 90 % o seu volume inicial;
- Vedante / Isoladora – do ponto de vista térmico, acústico e vibratório;
- Inodora;
- Combustão lenta;

Na sua maioria, a cortiça é constituída por aproximadamente 45 % de suberina, que lhe confere elasticidade e impermeabilidade a líquidos e a gases. Este composto, encontra-se em camadas alternadas com substâncias ceroides (6 %), que sendo compostos hidrófobos também influenciam o grau de impermeabilidade, como se pode visualizar na Figura 2.5. Paralelamente, a cortiça também apresenta boas propriedades acústicas e térmicas proporcionadas por cerca de 27 % de lenhina que possui na sua constituição. Outras características da cortiça prendem-se com a sua textura, derivada da existência de polissacarídeos (12 %), e da sua cor acastanhada, proveniente de taninos (6 %) [38, 49].

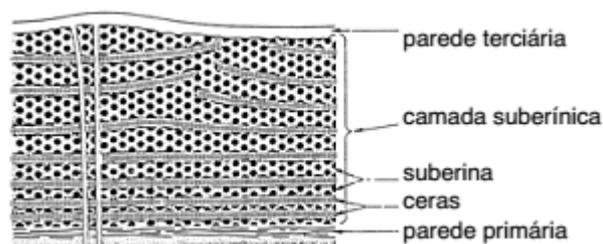


Figura 2.5: Esquema da microestrutura da cortiça [43]

A principal aplicação da cortiça foi durante muitos anos, e ainda é, a produção de rolhas para garrafas de vidro para vinho. Os aglomerados de cortiça representam o segundo produto mais produzido, e importante em termos económicos, evidenciando um crescente impacto do seu uso na construção

civil. Mais recentemente, a cortiça tem sido aplicada em novos produtos, como um material inovador e ecológico, como pode ser visualizado na Figura 2.6.

A título indicativo listam-se algumas das aplicações que a cortiça pode assumir [38, 41, 50, 51]:

- Rolhas para vedação de bebidas alcoólicas;
- Aglomerados para revestimentos para o setor da construção civil (pisos, paredes e tetos)
- Aglomerados para isolamento térmico, acústico e vibratório (pisos, paredes e tetos);
- Artigos para decoração (ex.: bases para utensílios de cozinha, molduras de quadros);
- Aplicações no setor do mobiliário (ex.: cadeiras);
- Aplicações no setor do calçado, vestuário e acessórios (ex.: solas para calçado, guarda-chuvas e malas);
- Aplicações em material de desporto (ex. base das bolas de badminton)
- Aplicações na indústria automóvel (ex.: elementos de absorção de impacto)
- Aplicações na indústria química e farmacêutica;
- Aplicações na indústria militar e aeronáutica;



Figura 2.6: Produtos de cortiça: a) rolhas [52]; b) isolamento acústico e térmico de pisos [53]; c) revestimento de parede exterior [54]; d) artigos/assessórios [55]

No grupo Amorim cerca de 59 % do volume do volume de negócios corresponde às rolhas de cortiça, seguido dos revestimentos (24%) e dos aglomerados compósitos (15%). Em menor quantidade surgem os isolamentos e as matérias-primas para o exterior, que em conjunto não ultrapassam os 3 % do volume de negócios [56].

2.2.3 RESÍDUOS DERIVADOS DA CORTIÇA

Durante o processamento da cortiça, seja para a produção de rolhas ou de outros produtos, são gerados desperdícios, designadamente pó, aparas e produtos com defeito. Por exemplo, na produção de rolhas, os resíduos derivados das operações representam cerca de 25 a 30 % da matéria-prima utilizada no processo de fabrico ou no ciclo produtivo [57].

Estes resíduos, juntamente com a cortiça virgem e a cortiça amadia com defeitos, que não pode ser empregue na produção diretamente de rolhas ou de outros produtos, são aproveitados para a produção de aglomerados ou valorizados energeticamente, em função da sua granulometria ou das necessidades das empresas que os originam.

Para tal, são triturados, em diferentes granulometrias conforme o tipo de valorização, nomeadamente em pó de cortiça, com granulometrias inferiores a 0,25 mm, ou em granulados de cortiça, com dimensões entre 0,25 e 22,4 mm [38, 58]. O pó de cortiça pode resultar de várias situações nomeadamente da trituração, de processos de limpeza, da separação granulométrica dos granulados e do acabamento de painéis/placas de aglomerados e isolamentos, bem como das operações de corte e lixamento.

Este pó, com granulometrias inferiores a 0,25 mm, tem como destino a valorização energética através da sua queima em caldeira, a aglomeração, a preparação de carvões ativados, adsorção de poluentes, entre outras aplicações [41]. O granulado é essencialmente empregue no fabrico de placas de isolamento térmico, acústico e antivibrático, argamassas e betões de baixa massa volúmica e em aglomerados para pavimentos e revestimentos [38, 58].

2.2.4 PRODUÇÃO DE GRANULADO NEGRO NAS EMPRESAS QUE PROCESSAM CORTIÇA

Numa empresa de produção de discos de cortiça natural com dimensões de 35x6mm (35 mm de diâmetro e 6mm de espessura) para as rolhas de champanhe e 26x6mm (26 mm de diâmetro e 6 mm de espessura) para a rolha de vinho técnica 1+1 (um disco na parte superior da rolha e outro na zona inferior) resultam, do processo de transformação, aparas de cortiça (desperdícios). Estas podem ser comercializadas diretamente ou ser utilizadas para a produção de granulado de cortiça que se destina à produção das rolhas referidas anteriormente [59].

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DISCOS DE CORTIÇA PARA AS ROLHAS

Após a receção da matéria-prima, a cortiça sofre processos de preparação e transformação até à obtenção de pranchas com cerca de 14 % de humidade. O processo de fabrico dos discos engloba uma série de etapas que se encontram descritas abaixo e esquematizadas na Figura 2.7.

1. Rabaneação: As pranchas de cortiça são cortadas em tiras de 7 cm de largura. Desta operação resultam desperdícios de pequenas tiras de cortiça designadas como *apara traço*, que serão transformadas em grânulo.
2. Laminação: As tiras, anteriormente obtidas, são laminadas em 3 partes, denominadas de costa (parte exterior da cortiça), barriga (barriga parte interior da cortiça) e palmilha (parte central da cortiça). A costa e a barriga irão ser posteriormente comercializadas, enquanto a palmilha é a parte da cortiça utilizada para a produção dos discos de cortiça para o champanhe e para o vinho.
3. Brocagem: As palmilhas são perfuradas obtendo-se assim os discos de cortiça com as dimensões de 35x6mm para a rolha de champanhe. Da perfuração resulta uma renda de cortiça que posteriormente também será utilizada na produção do granulado.
4. Escolha Eletrónica: Os discos de cortiça são sujeitos a uma seleção eletrónica onde é realizada uma seleção dos mesmos com base na porosidade dos discos, separando-os pelas diferentes classes.
5. Retificação dos discos: Após a escolha eletrónica, os discos são submetidos a uma retificação que consiste na operação de lixamento, ficando os mesmos com as dimensões e o acabamento pretendidos.
6. Segunda Escolha Eletrónica: Após a retificação dos discos estes são novamente submetidos a uma nova seleção eletrónica para afinação das classes.
7. Escolha Manual: Esta é a última etapa que os discos sofrem. Aqui é efetuada uma escolha manual para pequenas correções onde são removidos alguns discos que passaram pelas máquinas de escolha eletrónica.
8. Contagem e Embalagem: Nesta etapa os discos são contados e embalados em sacas de ráfia para expedição.

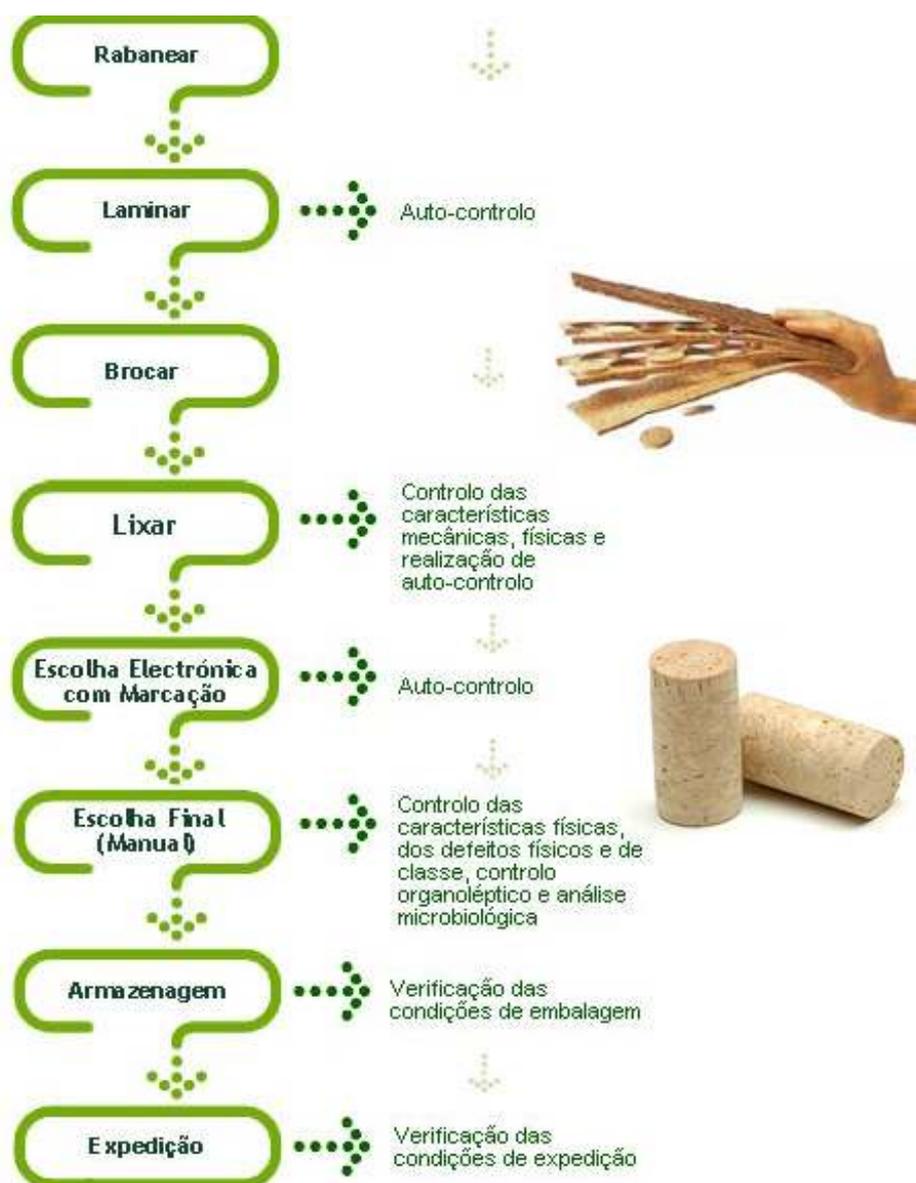


Figura 2.7: Esquema das etapas da produção dos discos em cortiça de 26x6mm [60]

PRODUÇÃO DE GRANULADOS

As aparas e desperdícios resultantes do processo, nomeadamente das etapas 1 e 3, são armazenadas de forma a sofrerem processos posteriores de secagem natural até atingirem teores de humidade que possibilitem a sua transformação em granulado. Após secagem, as aparas são submetidas a processo de trituração em moinhos de facas, de estrelas, de martelos e de mós, de modo a serem reduzidas a pequenos grânulos.

Posteriormente, este granulado é peneirado de forma a ser separado por diferentes granulometrias. Uma vez com as granulometrias definidas, os diferentes granulados passam por uma mesa densimétrica, onde por vibração são separados pela diferença de densidade em dois grupos, o de alta e baixa densidade, com 90 a 400 kg/m³ e 65 a 75 Kg/m³, respetivamente.

Por fim, o granulado de baixa densidade é aplicado na produção do corpo das rolhas de champanhe e vinho, enquanto o de alta densidade poderá encontrar como solução a produção de pellets de cortiça. Será a viabilidade desta aplicação que será estudada no âmbito do presente trabalho.

2.3 PELLETS: METODOLOGIA DE PRODUÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO

A biomassa florestal, embora ostente boas características combustíveis, apresenta desvantagens logísticas nomeadamente ao nível da sua recolha, manuseamento, transporte e armazenamento. Adicionalmente, não se torna expedita a sua utilização em sistemas de aquecimento domésticos devido à sua forma irregular e heterogénea. Por estas razões pensou-se e idealizou-se uma forma de utilizar este biocombustível de uma forma mais simples e prática, capaz de competir com os combustíveis fósseis, usados para produção de calor.

Neste contexto, surgem os pellets de madeira, constituindo a forma mais avançadas de utilização do potencial energético da biomassa florestal, apresentando um formato simples e prático de armazenar, transportar e utilizar. Considerados como biocombustível sólido granulado, são constituídos por matéria orgânica, com baixos teores de humidade, proveniente da biomassa florestal e de resíduos da indústria de processamento de madeira, de preferência livres de tratamentos, prensada em pequenas formas cilíndricas [61].

Até ao ano de 2010, o pinheiro era a espécie mais abundante em Portugal e, conseqüentemente, a mais utilizada para serração e posterior transformação. Por esta razão, e pela sua qualidade como combustível, uma grande percentagem de pellets é produzida a partir de serrim de pinho. Nos últimos anos, uma grande parte das empresas que geravam quantidades significativas de resíduo de madeira adotaram sistemas de produção de pellets, como forma de valorizar o subproduto gerado, que muitas vezes sentiam dificuldades em gerir. Atualmente, para além de muitos pellets terem como origem o serrim proveniente de vários tipos de madeira e biomassa florestal e agrícola, estuda-se cada vez mais a possibilidade de incorporação nos pellets de novos tipos de resíduos com elevado poder calorífico, tais

como polímeros, têxteis, pó de tinta, cartão, entre outros materiais passíveis de combustão, o que permite dar solução/destino a uma fração significativa dos resíduos gerados [62].

2.3.1 PROCESSO DE FABRICO

Os pellets passam por várias etapas de produção, tanto a montante como a jusante da sua extrusão pela matriz, como exemplificado no esquema da Figura 2.8 [63, 64].

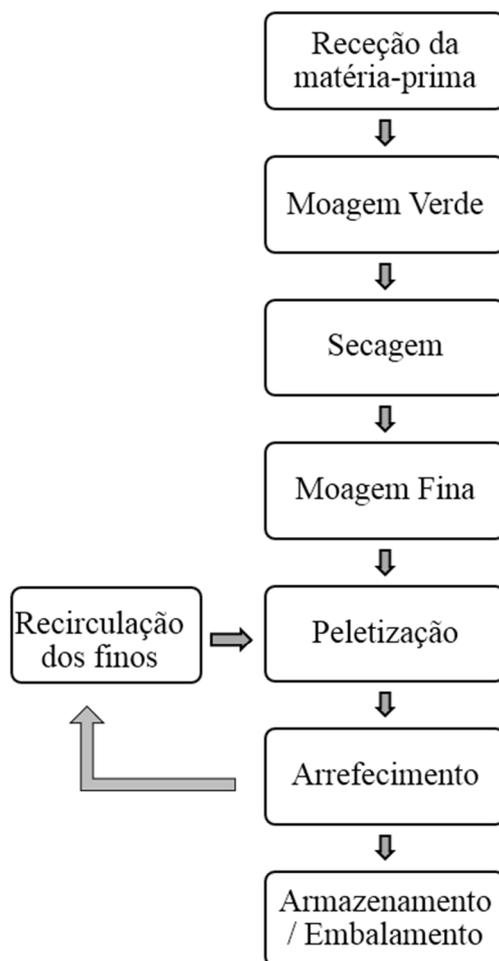


Figura 2.8: Esquema do processo de fabrico dos Pellets

Após a receção da matéria-prima nas instalações as etapas que se seguem incluem a moagem do material, de forma reduzir a granulometria do mesmo, e a secagem para ajuste do teor de humidade. O processo de secagem pode ser efetuado de forma natural ou através de secadores. A primeira opção tem a vantagem da redução dos custos energéticos, mas como desvantagens apresenta elevados tempos de secagem, ocupação de grandes espaços e dificuldades na regulação do teor de humidade. Estas etapas podem ser opcionais, quando a matéria-prima já se encontra na forma de serradura e sem

excesso de humidade. O passo seguinte passa pela moagem fina de toda a matéria de forma a uniformizar a granulometria dimensional do serrim, fator que irá influenciar a densidade do pellet final.

Garantidas estas etapas procede-se à peletização do material. Esta operação consiste na prensagem da matéria-prima, por ação de rolos, seguida da extrusão através de uma matriz perfurada com orifícios circulares. À saída da matriz a matéria prensada é cortada por facas ajustadas a uma medida de forma a obter-se um produto final com as dimensões pretendidas.

De um modo geral, este processo ocorre a temperaturas elevadas, que podem atingir 110-130 °C, consequência da fricção e da pressão na ordem dos 210 a 450 MPa, causadas pela força dos rolos sobre a matriz [65]. Em geral ambos os componentes (matriz e rolos) são em aço.

A temperatura elevada que se atinge durante o processo ajuda na agregação das partículas pois, ao aquecer, a lignina da madeira fica com alguma plasticidade. No entanto, por vezes usam-se aditivos de colagem natural, como o milho, para facilitar o processo de prensagem e melhorar o equilíbrio energético, assim como, a resistência dos pellets [63].

Posteriormente, deve ser assegurado o processo de arrefecimento, para que a lignina da biomassa endureça e os pellets adotem a sua forma rígida típica. Se nesta etapa resultar a produção de quantidades significativas de finos, então os pellets devem ser peneirados e os finos reenviados novamente para a fase de peletização.

Uma vez arrefecidos, os pellets podem ser armazenados em silos, aqueles que são para venda a granel, ou embalados em sacos de 15 kg ou big-bags de 500 a 1000 kg. O armazenamento, quer na fábrica ou no cliente, deve ser efetuado num local seco de modo a manterem a sua durabilidade, fruto do baixo teor de humidade.

2.3.2 CERTIFICAÇÃO

Anteriormente, na Europa, poucos países possuíam normas específicas para os biocombustíveis sólidos, com exceção da Áustria, Suécia e Alemanha que dispunham de normas internas. A inexistência desses diplomas constitui um constrangimento na transação de pellets entre os vários países, pois as suas características e normas variavam de país para país.

Com consciência dessa limitação, em 2010 foi criada a primeira norma europeia de certificação de biocombustíveis sólidos, com uma parte exclusiva para os pellets, a EN14961:2010: Biocombustível Sólidos - Especificações e Classes do Combustível, Parte 2 – Pellets de madeira para uso não industrial [66]. Formou-se igualmente um Concelho Europeu de Pellets (EPC – European Pellet Council) com o objetivo de promover a utilização dos pellets e implementar um sistema europeu de certificação de pellets ENplus. Cada país, membro deste concelho, é representado pela associação nacional de fabricantes de pellets, sendo Portugal representado pela ANPEB – Associação Nacional de Pellets Energéticos de Biomassa [67].

A EN 14961-2:2010 determina especificações e classes de qualidade de pellets de material lenhoso para utilização não industrial e fornece princípios de classificação claros para estes pellets. Esta norma é dividida em três classes, nomeadamente A1, A2 e B, e admite pellets produzidos a partir de povoamentos florestais e outras madeiras virgens, subprodutos e resíduos da indústria transformadora da madeira e madeira usada [68]. Nas classes A1 e A2 a matéria-prima pode englobar toda a madeira virgem ou resíduos de madeira sem tratamento-químico, sendo que para a classe A1 essa matéria tem de possuir baixos teores de cinza, azoto e cloro. Por sua vez, a classe B também inclui produtos lenhosos com tratamento químico ou em fim de vida.

O selo ENplus é uma garantia de qualidade e transparência desde a produção dos pellets até à sua entrega ao cliente final. Este modelo de certificação é baseado na norma EN 14961-2, mas não permite a inclusão de produtos lenhosos com tratamento químico ou em fim de vida e introduz o comportamento de fusão de cinzas como um parâmetro de caracterização obrigatório [69].

Este modelo de certificação também abrange três classes de qualidade, nomeadamente ENplus A1, ENplus A2 e EN B, como se pode observar na Figura 2.9.



Figura 2.9: Símbolos de certificação para as diferentes classes de Pellets [69]

Na Tabela 2.6 encontram-se representadas as classes de qualidade da certificação ENplus e a respetiva matéria-prima que cada uma admite.

Tabela 2.6: Classes representativas da certificação ENplus e a respetiva matéria-prima admitida

Classe	ENplus A1	ENplus A2	EN B
Matéria-prima	- Rolos/troncos; - Resíduos não tratados quimicamente da indústria de processamento de madeira.	- Árvores inteiras sem raízes; - Rolos/troncos; - Resíduos de abate; - Casca; - Resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira.	- Madeira de florestas, plantações e outra madeira virgem; - Resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira; - Madeira não tratada quimicamente.

Cada produtor e distribuidor certificado tem direito a um selo de certificação único (ENplus ID) para cada classe de pellet que produz ou vende. Cada ID ENplus tem cinco caracteres, onde os dois primeiros referem-se ao país onde o produtor/vendedor se encontra localizado e os restantes três representam a empresa certificada.

Em Portugal já existem três empresas de pellets certificados, com o selo ENplus A1, nomeadamente a Pinewells SA, cujo ID é PT001, a Pelletsfirst, PT002, e a José Afonso & Filhos, Lda, com o ID PT001 [66].

2.3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Os pellets devem possuir as características técnicas impostas pela certificação em vigor, de forma a poderem ser comercializados internacionalmente e sem problemas de incompatibilidade na utilização nos equipamentos de combustão.

As suas principais características, representadas na Tabela 2.7, relacionam-se com a dimensão do produto, a sua densidade, as suas propriedades químicas e os parâmetros mais relevantes durante a sua queima, tais como o poder calorífico, o teor de humidade e o teor de cinzas.

Tabela 2.7: Características dos pellets impostas pela certificação para as três classes [68 – 70]

		A1	A2	B	Norma de ensaio
Dimensões	(mm)	D=6 ou D=8 (± 1); $3.15 \leq L \leq 40$			EN 16217
Teor de humidade	%	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 14774-1
Teor de cinzas	%	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$	≤ 3	EN 14775
Densidade aparente	(kg/m ³)	≥ 600	≥ 600	≥ 600	EN 15013
Durabilidade mecânica	%	$\geq 97,5$	$\geq 97,5$	$\geq 96,5$	EN 15210-1
Poder calorífico	(MJ/kg)	16.5 a 19	16.3 a 19	16 a 19	EN 14918
Finos	(%)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	EN 15210-1
T. Fusibilidade cinza	(°C)	≥ 1200	≥ 1100	≥ 1100	EN 15370
Enxofre, S	(%)	$\leq 0,03$	$\leq 0,03$	$\leq 0,04$	EN 15289
Azoto, N	(%)	$\leq 0,3$	$\leq 0,5$	≤ 1.0	EN 15104
Cloro, Cl	(%)	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	EN 15289
Arsénio, As	mg/kg	≤ 1	≤ 1	≤ 1	EN 15297
Cádmio, Cd	mg/kg	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	EN 15297
Crómio, Cr	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Cobre, Cu	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Chumbo, Pb	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Mercúrio, Hg	mg/kg	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	EN 15297
Níquel, Ni	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Zinco, Zn	mg/kg	≤ 100	≤ 100	≤ 100	EN 15297

DIMENSÕES

A dimensão dos pellets é um dos aspetos mais importante, pois as caldeiras são projetadas e concebidas com base nos valores presentes nas normas, sendo que pellets com valores superiores aos normalizados podem causar problemas de alimentação no equipamento. Segundo a certificação ENplus, os pellets podem possuir diâmetros de 6 mm ou 8 mm e comprimentos até 40 mm, sendo que até 1 % dos pellets podem conter 45mm de comprimento. Antes de embalados, os pellets devem ser peneirados em peneiros com uma malha de 3,15 mm, valor mínimo referenciado na legislação [68].

TEOR DE HUMIDADE

A biomassa apresenta elevados teores de humidade, razão pela qual, quando enviada para a produção de pellets, deve sofrer um processo de secagem até obter níveis de humidade abaixo dos 15 %, valor médio recomendado pelos fabricantes dos equipamentos. Deste modo é assegurada a produção de pellets com teores inferiores a 10 %. O teor de humidade tem influência na capacidade de autoignição da biomassa, assim como no poder calorífico, uma vez que, durante a combustão parte da energia do combustível é desperdiçada na evaporação da água, e, conseqüentemente, não fica disponível para a sua utilização energética. Este parâmetro também intervém na diminuição da durabilidade do pellet, no aumento da densidade aparente e na estimulação do crescimento de fungos e emissões de esporos [68].

TEOR DE CINZA

O teor de cinzas é um parâmetro com relevância no design da caldeira e na operação da sua limpeza, pelo que a combustão de pellets com elevados teores de cinza necessitará de um processo de remoção de cinzas mais regular e eficaz. Este parâmetro varia muito em função dos diferentes tipos de biomassa sólida usadas no fabrico dos pellets, sendo que cascas e folhas conduzem a elevados teores de cinza. Paralelamente, as cinzas são um material abrasivo o que, a longo prazo, pode causar corrosão nos elementos metálicos dos queimadores. Os constituintes inorgânicos que mais contribuem para a formação de cinzas são o Si, Ca, Mg, K, Na, P, S, Cl, Al, Fe e Mn, pois são os vulgarmente encontrados em maiores teores nas análises elementares às cinzas cujo somatório é considerada baixa, e compreendido entre 1% e 3% [68].

DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente refere-se à massa média de um sólido por volume, ou seja representa a massa de um sólido granulado não considerando os espaços vazios entre os granulados. Esta característica tem especial efeito no transporte e armazenamento dos pellets. Este parâmetro é determinado através da relação entre o peso de uma amostra e o seu volume [68].

DURABILIDADE MECÂNICA

A durabilidade de um pellet define-se como uma medida de resistência na ocorrência de choques ou abrasão em consequência de processos de manuseamento e transporte. Este parâmetro tem grande influência na formação de finos, pelo que pellets com baixa durabilidade tem tendência a gerar grandes quantidades de finos durante as operações anteriormente referidas. Também a humidade interfere com este parâmetro, razão pela qual os fabricantes recomendam o armazenamento dos pellets em locais secos [68].

PODER CALORÍFICO

Num combustível, o poder calorífico corresponde à quantidade possível de energia libertada, durante a combustão, por unidade de massa, sendo representado em MJ/kg, segundo o sistema internacional de unidades. Nos pellets, este parâmetro varia conforme a origem da biomassa utilizada como matéria-prima, no entanto restrita a um intervalo relativamente estreito para as diferentes tipologias de madeiras, e consoante o teor de humidade. Segundo o estabelecido na certificação, este valor deve estar compreendido entre 16 e 19 MJ/kg [68].

TEOR DE FINOS

Os finos representam as partículas, contidas juntamente com os pellets, com dimensões inferiores a 3,15 mm [68]. Para a sua diminuição, após a produção e o arrefecimento, os pellets são passados por peneiros. Este parâmetro interfere no armazenamento e transporte dos pellets e, em grandes quantidades, pode causar risco para a saúde pela inalação da poeira causada e perigo de explosão. Durante a combustão tem influência no comportamento de queima das partículas e pode causar entupimento ou danos no sistema de alimentação [68, 69, 71].

TEOR DE VOLÁTEIS

A matéria volátil corresponde à matéria que, quando aquecida, se liberta na forma de gases voláteis e partículas sólidas carbonosas, responsáveis pela formação de alcatrões na caldeira. A diferença entre a unidade e este parâmetro, juntamente com o teor de cinza e de humidade, resulta no teor de resíduo carbonoso que o combustível ostenta, após a sua queima.

TEOR de C, H, e N

O carbono (C), presente no combustível, tem grande influência no poder calorífico do mesmo, pois é responsável pela libertação do conteúdo energético, através da sua oxidação. Paralelamente, o hidrogénio (H) também apresenta um papel relevante pois fornece a energia adicional para o processo de oxidação. A junção desta energia adicional e da produzida pelo carbono determina o poder calorífico final do combustível. O azoto (N) por norma apresenta teores mais elevados na biomassa agrícola e nas cascas e folhas de árvore, e mais baixos nas espécies lenhosas, sem casca. Durante a combustão é responsável pela formação de óxidos de azoto (NO_x), que são libertados através dos gases para a atmosfera e prejudiciais ao meio ambiente [68].

ELEMENTOS NÃO METÁLICOS (S, Cl e P)

Todos estes elementos não metálicos e presentes na biomassa encontram-se em teores superiores nas cascas e em menor percentagem na madeira [72]. O teor de enxofre (S) e de cloro (Cl) nos biocombustíveis sólidos lenhosos é relativamente baixo, compreendendo valores inferiores a 1% da matéria seca [63]. Durante a combustão, o enxofre ao reagir com o O_2 forma SO_2 , gás esse que é tóxico, e ao reagir na atmosfera gera ácido sulfúrico (H_2SO_4) que é prejudicial ao meio ambiente. Se existirem elevados teores de humidade durante a combustão o enxofre, ao reagir com a água, também poderá formar ácido sulfúrico que é corrosivo, com consequentes danos nos equipamentos. No entanto, apenas uma pequena parte deste elemento é libertado sobre a forma gasosa, permanecendo na sua maioria, entre 40 a 90% nas cinzas [68]. No caso do cloro a maioria também permanece nas cinzas e o restante é libertado sobre a forma de HCl, o que pode causar efeitos corrosivos e de oxidação, das partes metálicas internas do equipamento, bem como promover o aparecimento de incrustação nas paredes e tubos [68]. O fósforo (P), quando surge nas cinzas sob a forma de P_2O_5 , em quantidades superiores a 1 %, pode causar efeitos de *fouling*, fenómeno descrito no subcapítulo da fusibilidade das cinzas [73].

ELEMENTOS PRINCIPAIS Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Si e Ti

Nas espécies lenhosas a presença dos microelementos é mais reduzida na madeira, visto que estes se concentram na sua maioria nas folhas e cascas, tal como a maioria dos elementos químicos. Este grupo de elementos tem influência na alteração do comportamento de fusão das cinzas, pois ficam retidos nestas, podendo causar problemas na formação de escórias na grelha e na corrosão dos equipamentos.

O potássio (K) e o sódio (Na) reduzem o ponto de fusão das cinzas, o que leva mais facilmente à ocorrência de agredados, que podem causar sérios problemas na combustão. Além disso, no processo de combustão, o potássio é libertado sob a forma de partículas finas, sendo um dos elementos mais abundantes na constituição das mesmas [71, 73]. Em contrapartida, o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o alumínio (Al), o ferro (Fe) e o titânio (Ti) geralmente aumentam o ponto de fusão das cinzas, permitindo a minimização da formação de aglomerados nas cinzas [74]. A presença de silício (Si) no seu estado puro não provoca problemas de aglomeração, visto possuir um ponto de fusão elevado, no entanto, quando reage com óxidos alcalinos produz compostos com baixo ponto de fusão [73].

Outro aspeto interessante prende-se com a formação de compostos fundidos em função das proporções de Ca e K. Para temperaturas inferiores a 900 °C, quando a porção de K é elevada e a de Ca reduzida podem formar-se grandes quantidades de compostos fundidos. Contrariamente, se o teor de Ca for mais elevado e o de K reduzido já não é comum a formação desses compostos [74].

ELEMENTOS SECUNDÁRIOS As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V e Zn

Estes elementos são responsáveis pela formação de óxidos que são libertados nas cinzas causadas pela combustão. De entre todos, pode-se destacar o chumbo (Pb), o cádmio (Cd) e o zinco (Zn), como os que mais afetam o meio ambiente, sendo mais voláteis e, usualmente, surgirem em cinza fina [68].

FUSIBILIDADE DAS CINZAS

Como acima referido, o sistema de certificação ENplus, introduz o estudo do comportamento de fusão das cinzas como um parâmetro importante e obrigatório. Durante a combustão, com as elevadas

temperaturas que se atingem pode haver alterações nas cinzas até à sua fusão completa, podendo ocorrer *slagging* e *fouling*, ou seja a formação de escórias e incrustações [68, 69].

O *slagging* ocorre ao nível dos elementos que recebem calor por radiação, normalmente na grelha da caldeira, ao passo que o *fouling* verifica-se nos elementos que recebem calor por convecção, por exemplo nos tubos de fumo do permutador. Desta forma, torna-se importante estudar as temperaturas de fusão das cinzas para as quais estes fenómenos se verificam.

As espécies lenhosas, em geral, apresentam pontos de fusão elevados, compreendidos entre 1300 a 1400°C [73]. Os elementos Si, K, Na, S, Cl, P, Ca, Mg, Fe, são aqueles que normalmente se encontram envolvidos nas reações que conduzem à formação de depósitos e aglomerados de cinzas [9].

A norma europeia que rege o método de determinação da fusibilidade das cinzas é a CEN/TS 15370-1, que é baseada na internacional ISO – 540 [75 – 77].

2.3.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DOS PELLETS

Os pellets podem ser usados como combustível para produção de energia em centrais elétricas, de combustível pulverizado ou de leito fluidizado, embora nestes casos seja mais usual a biomassa sem posterior transformação ou apenas triturada. Nestas centrais também é comum utilizar pellets em modo de co-combustão com carvão. No entanto, a principal aplicação deste biocombustível é o setor de aquecimento ambiente de serviços e doméstico, para produção de calor [60, 66].

A escolha deste biocombustível, no setor doméstico, prende-se essencialmente com o seu baixo custo de utilização, embora o custo dos equipamentos seja relativamente mais caro, quando comparado com os outros combustíveis. Outro aspeto relevante para a sua preferência é a sensibilização ecológica da utilização de biocombustíveis, que nos últimos tempos tem ganho alguma relevância junto da sociedade.

Para a recuperação da energia deste biocombustível são essencialmente usadas salamandras, caldeiras ou queimadores de pellets. O custo dos equipamentos, para aquecimento ambiente, varia conforme a potência máxima empregue e o modo de funcionamento. Assim, em geral, os equipamentos com funcionamento a água são mais caros comparados aos que operam como lareira fechada e servem

apenas para o aquecimento da divisão onde inseridos. O rendimento de um equipamento com alimentação a pellets pode chegar aos 90 %.

Em 2011, os equipamentos com funcionamento a energia renovável podiam ser deduzidos em 30 % no IRS, até um máximo de 803 €. Em 2012, esta dedução foi revogada [78]. Atualmente, os pellets encontram-se sujeitos à taxa de IVA de 23 %, assim como os equipamentos para a sua queima, os quais até 2012 estavam sujeitos à taxa intermédia [79].

No mercado nacional, os pellets são vendidos, em média, a aproximadamente 0,23 €/kg, acondicionado em sacos de 15 kg, cujo preço varia entre 3 a 4 € por saco, para diferentes fabricantes e locais de venda autorizados. Para além dos sacos de 15 kg, também podem ser comprados a granel ou em sacos de aproximadamente 1 tonelada (“big bags”) onde o custo por kg é em geral inferior ao custo médio, a cerca de 0,19 €/kg. Em alguns fabricantes também se podem adquirir sacos de 15 kg a preços mais baixos, para carregamentos superiores a uma quantidade de sacos fixa pelos mesmos, que em regra ronda os 60 a 70 sacos no mínimo.

No Anexo A são apresentados os preços de um saco de 15 kg de pellets, de alguns fabricantes. Os preços expostos são obtidos através de pesquisa de locais de venda online e em superfícies comerciais. Verificou-se que, para um mesmo fabricante, os valores do custo do saco variam consoante o local e a distância de venda, no caso de entregas ao domicílio, assim como em função da quantidade encomendada.

Embora os pellets apresentem poderes caloríficos inferiores aos combustíveis fósseis, eles oferecem custos por kWh inferiores, conseguindo ser um dos combustíveis mais baratos usados para aquecimento ambiente de edifícios.

A Tabela 2.8 apresenta uma simples comparação de preço, poder calorífico e rendimento dos vários combustíveis existentes para climatização de edifícios, assim como uma estimativa do custo anual de cada um.

Tabela 2.8: Comparação dos diferentes combustíveis usados para aquecimento de edifícios [80, 81]

Combustível	PCI [MJ/kg]	Preço [€/kWh]	Rendimento médio [%]	Custo anual [€/ano]
Gás propano	46,3	0,192	85	3110,4
Gasóleo de aquecimento	42,9	0,159	80	2575,8
Eletricidade Bi-Horária (vazio)	-	0,0971	98	1573,02
Gás Natural	45,1	0,086	85	1393,2
Pellets	18	0,058	85	939,6
Lenha	12,5	0,032	80	518,4

A estimativa anual do consumo de energia, para aquecimento de uma casa, de cada um destes tipos de combustíveis, foi baseada para uma média de 6 horas de utilização diária, a uma potência útil de 15 kW, durante 6 meses, como apresentado na equação 2.1.

$$\text{Custo anual [€/ano]} = \text{Preço} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \times 15 \text{ kW} \times 6 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \times 6 \text{ meses} \quad (2.1)$$

Verifica-se que o combustível mais caro é o gás propano, ao passo que o mais barato é a lenha, seguida dos pellets. Apesar da lenha ser mais barata, e também ecológica, os pellets têm maior facilidade de armazenamento numa habitação, para além de poderem ser alimentados automaticamente na maioria dos equipamentos.

2.3.5 PRODUÇÃO E CONSUMO

Embora os pellets já se encontrem no mercado desde, a década de 90, só nos últimos anos é que começaram a ser procurados e comercializados em grande escala, e nas grandes superfícies. O elevado custo do gás propano e o gradual aumento do preço que o gasóleo (usado no setor doméstico) tem sofrido levou a que novos fabricantes apostassem na produção de pellets, inserindo este biocombustível no mercado numa maior escala e a preços mais competitivos.

Atualmente, a Europa é considerada como o maior produtor e consumidor de pellets do mundo. Na Tabela 2.9 encontram-se representados os maiores produtores e consumidores da união europeia, com valores de consumo e produção referentes ao ano de 2010 [82].

Tabela 2.9: Consumo e produção de Pellets na União Europeia em 2010 [82]

	Consumo (ton ×1000)	Produção (ton ×1000)
Suíça	2200	1645
Dinamarca	1600	180
Alemanha	1200	1750
Bélgica	920	286
Holanda	913	120
Itália	850	600
Áustria	660	850
França	400	495

A Suíça é o maior consumidor europeu de pellets, no entanto a sua produção interna não é suficiente, pelo que tem necessidades de importação, sendo um dos países com interesse na comercialização de pellets por parte de Portugal. Em contrapartida, a Alemanha é o maior produtor de pellets na UE, sendo que parte da sua produção tem como fim a exportação. Fora da UE, o Canadá representa um dos maiores produtores de Pellets com um elevado consumo e exportação.

Em 2012, Portugal produziu cerca de 690 000 toneladas de pellets face a um consumo interno de apenas 73000 toneladas [66]. Portugal possui uma capacidade instalada, supondo uma produção contínua de 24 horas e 365 dias por ano, de 904 000 toneladas de produção de pellets, sendo que parte desta produção é para exportação de alguns países europeus, nomeadamente para o Reino Unido. As unidades de produção nacional centram-se essencialmente na zona norte, acima do rio Douro, e na zona centro, entre os distritos de Viseu e Leiria [66]. No Anexo B estão representadas as maiores empresas de Pellets em Portugal, assim como a respetiva localização.

2.3.6 PELLETS DE CORTIÇA

Embora a maior parte dos pellets existentes no mercado tenham origem na madeira, já é possível encontrar pellets com incorporação de subprodutos de cortiça, quer na sua totalidade, quer em mistura com outro tipo de biomassa e em diferentes proporções. O facto deste biocombustível ser cada vez mais procurado, aliado à gestão dos resíduos derivados da indústria da cortiça, leva as empresas a aproveitar o granulado de cortiça para fins que possam ser economicamente rentáveis, como é o caso dos pellets. Na literatura estão já disponíveis alguns estudos que visam a avaliação da viabilidade destes pellets para uma posterior aposta no mercado. O presente trabalho constitui uma contribuição para estes estudos.

Através de uma pesquisa bibliográfica, foi identificado e analisado um artigo relativamente a um estudo, realizado em Espanha, que consiste no estudo da peletização de três matérias-primas distintas, nomeadamente de serrim de pinho, de resíduos da indústria corticeira e podas de vinha e seu potencial de aplicação. Como este último não tem relevância para o presente projeto, não foi tido em conta. Na Tabela 2.10 podem observar-se as principais características dos pellets elaborados no âmbito do artigo referido.

Tabela 2.10: Comparação entre as características de pellets de subprodutos da indústria da cortiça e pellets de serrim [83]

Parâmetro	Uni.	Resíduo da Indústria	
		Corticeira	Serrim de Pinho
Humidade	(%)	10,1	9,3
Cinza	(%)	4,4	0,9
Matéria Volátil	(%)	74,7	83,6
PCI	(MJ/kg)	20,6	19,5
Densidade Aparente	(kg/m ³)	400	650
Durabilidade	(%)	90,2	98,2
Carbono	(%)	52	50,5
Hidrogénio	(%)	6	6,1
Azoto	(%)	0,61	0,48
Enxofre	(%)	0,03	0,03
Cloro	(%)	0,06	0,01

De acordo com o estudo, um dos principais constrangimentos relativos aos pellets de cortiça prende-se com o elevado teor de cinzas, cujo valor é superior a 4 %, aquando da sua queima, o que era expectável visto a cortiça ser casca. Em contrapartida estes pellets apresentam um poder calorífico inferior, na ordem dos 20,6 MJ/kg, superior ao exibido pelos pellets de serrim de pinho [83].

Durante a combustão, os pellets de cortiça emitem elevados teores de poluentes nas emissões gasosas, tendo-se verificado valores de monóxido de carbono (CO) na ordem dos 3100 mg/Nm³, significativamente superiores quando comparados com os 600 mg/Nm³ correspondentes aos pellets de serrim. Paralelamente, os pellets de resíduo da indústria corticeira também apresentam elevados teores de partículas, na ordem dos 300 mg/Nm³, comparados aos 50 mg/Nm³ nos pellets de serrim, que segundo os autores se deve ao elevado teor de cinzas que os pellets apresentam, que somadas ao excesso de ar são arrastadas através do caudal dos gases. Quanto às emissões de monóxido de azoto (NO_x), os pellets de serrim apresentam igualmente menores teores quando comparados aos pellets de cortiça, com valores na ordem dos 100 mg/Nm³ e 470 mg/Nm³, respetivamente. Este valor aumenta com a respetiva concentração de azoto (N) no resíduo e a emissão de O₂ resultante da combustão [83].

Em relação ao comportamento de fusão das cinzas os pellets de cortiça apresentam menores problemas que os pellets de serrim de pinho. Enquanto os pellets de serrim apresentam temperaturas de fusibilidade entre os 1220°C e 1260 °C, os pellets de cortiça exibem pontos de fusão mais elevados, com temperaturas superiores a 1400 °C.

SITUAÇÃO ATUAL DO MERCADO DE PELLETS DE CORTIÇA

Em Portugal já é possível encontrar pellets produzidos através desta matéria-prima, com 100 % de granulado de cortiça ou com incorporação desta e de serrim de madeira. O preço destes pellets não varia muito face aos tradicionais, embora em alguns fornecedores sejam bastante mais económicos. No anexo C pode-se visualizar uma lista de alguns fornecedores de pellets de cortiça e o preço correspondente. Muitos utilizadores deste tipo biocombustível já optaram por adquirir esta tipologia de pellets, em vez dos tradicionais de serrim de madeira, aliciados pelo elevado poder calorífico que estes apresentam. Outra mais-valia que os utilizadores relatam é o facto de estes não deixarem “pedra na caldeira”, referindo-se aos aglomerados derivados da fusão das cinza na grelha [84]. No entanto, existem algumas desvantagens quanto ao elevado teor de cinza deixado na grelha, o que faz com que os utilizadores necessitem de fazer uma limpeza mais regular da mesma. Por vezes, há fornecedores que, quando o cliente altera de pellets de pinho para pellets de cortiça, fazem algumas alterações na caldeira por forma a promover uma combustão mais eficaz, uma vez que estas se encontram reguladas para pellets com as características exibidas pelos de serrim de pinho [84].

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para concretizar o estudo de incorporação do granulado de cortiça na produção de pellets seguiu-se a seguinte sequência de trabalhos práticos:

- Caracterização da matéria-prima;
- Produção de vários tipos de pellets, com diferentes porções das matérias-primas incorporadas;
- Análise das principais características químicas e físicas dos pellets produzidos;
- Queima dos pellets finais obtidos e monitorização das emissões gasosas geradas;
- Caracterização das cinzas.

Todos os trabalhos experimentais, relativos à produção dos pellets e respetivas análises, da matéria-prima e do produto final, foram desenvolvidos nas instalações do CVR- Centro para a Valorização de Resíduos. As tarefas relativas ao ensaio de combustão dos pellets foram realizadas numa caldeira existente nas instalações do DEM - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para a produção dos pellets é importante ter conhecimento das principais características da matéria-prima a usar, neste caso do serrim de madeira de pinho e do granulado negro de cortiça, cujas respetivas imagens se podem visualizar na Figura 3.1.

O serrim de pinho foi fornecido ao CVR por uma empresa da zona, a “Vimasol”, com atividade ligada às energias renováveis, incluindo a produção de pellets. Este serrim provém de serrações com atividade de transformação de madeira bruta e apresenta uma granulometria não homogénea, entre 3 a 10 mm. Este tem um custo que ronda os 7 a 13 €/m³, segundo o responsável pela empresa.

O granulado negro de cortiça foi fornecido pela empresa “Novacortiça”, apresentando uma granulometria compreendida entre 0,5 mm a 2 mm.

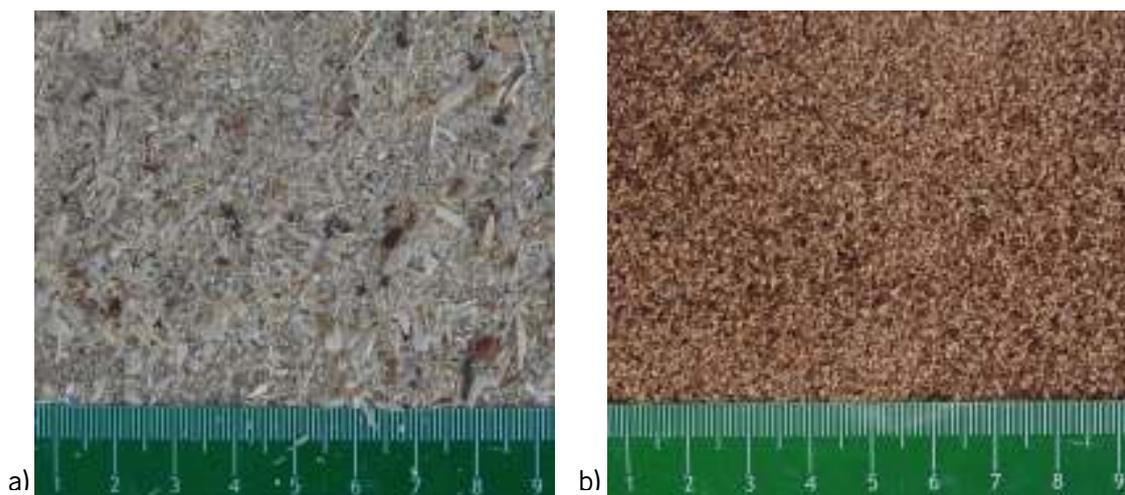


Figura 3.1: Matéria-prima: a) Serrim de pinho; b) Granulado de cortiça

Para ambas as matérias-primas não existia mais informação adicional, para além da descrita anteriormente, pelo que se procedeu experimentalmente à determinação do teor de humidade e do teor de cinzas.

A determinação do teor de humidade é um dado muito importante de modo a saber se é necessário retirar ou adicionar água para a produção de um produto final com um teor abaixo dos 10 %. Adicionalmente, com excesso ou carência de humidade a matéria-prima não se agrega devidamente.

Por outro lado, a obtenção do teor de cinzas das diferentes matérias é igualmente relevante para uma análise mais elaborada dos produtos finais, assim como para uma orientação durante a produção dos pellets com misturas de materiais.

Ambos os ensaios foram realizados através do método de gravimetria, método interno realizado pelo CVR, sendo que a determinação do teor de humidade é realizada numa estufa a 105 °C. Para a determinação do teor de cinzas foi necessário recorrer a uma mufla e promover o aquecimento até à temperatura de 800 °C. Estes ensaios são descritos no capítulo 3.3.

Na Tabela 3.1 estão representados os teores de humidade e de cinzas obtidos através dos ensaios realizados, assim como algumas das características indicadas pelos fornecedores, nomeadamente a densidade aparente e a granulometria, para os dois materiais em estudo.

Tabela 3.1: características da matéria-prima

	Serrim de Madeira	Granulado de Cortiça
Teor de Humidade [%]	13,2	6,5
Teor de Cinza [%]	0,8	1,8
Densidade aparente [kg/m³]	250	300
Granulometria [mm]	Pouco homogénea	0,5 a 2

O teor de cinzas do granulado de cortiça é superior ao do serrim de pinho, o que consequentemente se pode perspetivar que os pellets obtidos apenas desta matéria terão um teor de cinzas elevado, superior ao limite de 1,5 %, da classe A2, presente no modelo de certificação ENplus.

Como a granulometria do serrim era pouco homogénea e continha partículas com dimensões que ultrapassavam os 10 mm optou-se por submeter esta matéria a uma prévia moagem, de forma a obter uma granulometria final mais homogénea, compreendida entre 0,5 e 6 mm. O serrim foi triturado num moinho da marca *Fellner-Ziegler*, existente no CVR, com uma potência de 2,2 kW, uma tensão de 380/220 V e uma frequência de 50 Hz. Para o efeito usou-se uma matriz com orifícios circulares com um diâmetro de 6 mm (Figura 3.2).



Figura 3.2: Moinho Fellner-Ziegler

3.2 PELETIZAÇÃO

Durante o projeto foram produzidos 4 tipos de pellets, nomeadamente, pellets com 100 % de serrim de pinho, 100% de granulado de cortiça, 70% de granulado de cortiça e 30 % de serrim de pinho e 30% de granulado de cortiça e 70 % de serrim de pinho, seguindo esta ordem de produção.

Na Tabela 3.2 encontra-se a designação usada ao longo do texto para fazer referência aos diferentes tipos de pellets, assim como a respetiva imagem do aspeto de cada um.

Tabela 3.2: Designação dos pellets produzidos

Composição	Designação	Foto
100 % de Serrim de Pinho	SP	
100 % de Granulado de Cortiça	GC	
70 % de Serrim e 30% de granulado	70S - 30G	
30 % de serrim e 70 % de granulado	30S - 70G	

Tendo em conta as análises efetuadas à matéria-prima, espera-se que os pellets de cortiça excedam os valores limites de alguns parâmetros estabelecidos na legislação, nomeadamente ao nível do teor de cinzas. Por essa razão, foram produzidos pellets com mistura de serrim e cortiça de forma a se conseguir um produto com todos os parâmetros dentro dos limites expressos na legislação.

A percentagem de 30 % e 70% surge como um valor intermédio, arredondado para facilitar os cálculos na produção, entre os 50 e 100 %. A decisão de se iniciar a produção com os pellets virgem de

ambas as matérias é fundamentada na observação do comportamento de cada matéria no ato da pelletização, mais concretamente na humidade pretendida para o processo e na aglomeração de cada uma.

3.2.1 PELETIZADORA

Todos os pellets fabricados durante o processo foram produzidos numa peletizadora, existente no CVR, da marca Oliotechnology e modelo GR150E2, apresentada na Figura 3.3.

A alimentação da matéria-prima é realizada manualmente, por um alimentador que possui uma forma cónica, embora a instituição já tenha efetuado alguns estudos para um projeto de alimentação automática.



Figura 3.3: Peletizadora

Na parte inferior do alimentador encontra-se a matriz que possui uma forma circular com orifícios de cerca de 6 mm de diâmetro. Na parte superior desta estão acoplados dois rolos que possuem dois movimentos rotacionais, em torno do seu eixo, e em volta da matriz, como se pode visualizar na Figura 3.4.

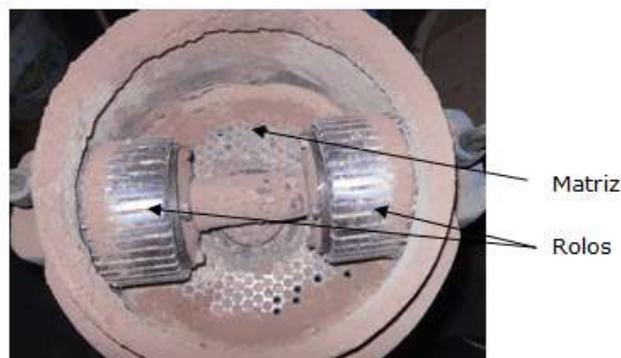


Figura 3.4: Matriz da peletizadora

Estes rolos podem ser ajustados à matriz, através de dois parafusos dispostos na parte exterior, de modo a exercerem mais ou menos força sobre a mesma (Figura 3.3). Na parte inferior da matriz encontra-se uma lâmina que corta os pellets, a um tamanho médio de cerca de 20 mm, à medida que os rolos se vão movimentando. Os pellets são recolhidos na saída lateral da peletizadora, de acordo com o visualizado na Figura 3.3. Na Tabela 3.3 estão representadas as principais características da peletizadora.

Tabela 3.3: Características da Peletizadora

Potência (P)	15 000 W
Tensão Elétrica (U)	380 V
Frequência (f)	50 Hz
Capacidade de produção (Q)	400-600 kg/h
Intensidade da corrente (I)	50 A

Antes de se iniciar um processo de peletização é necessário proceder à limpeza da peletizadora de modo a remover quaisquer vestígios de material e assegurar que não há contaminação de outras matérias usadas em anteriores processos de peletização.

Ao iniciar o processo, a alimentação da matéria-prima deve ser efetuada lentamente e regularmente de modo a nunca cobrir totalmente os rolos, para não se correr o risco de engasgamento do equipamento. À medida que se vai se introduzindo o material vão-se ajustando os rolos contra a matriz até se atingir um ponto ótimo, verificado pela saída de pellets bem agregados. Durante o processo de funcionamento a temperatura aumenta consideravelmente, sendo que em 3 a 5 minutos pode atingir temperaturas de 50 a 70 °C [85].

3.2.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para dar início ao processo de peletização é necessário preparar previamente a matéria a peletizar. O primeiro processo passa pela sua pesagem, seguida da adição da quantidade de água necessária, tendo em conta que a humidade final do pellet deve ser inferior a 10 %, e procede-se à mistura da(s) matéria(s).

TEOR DE ÁGUA

Segundo o manual da peletizadora e estudos apresentados na bibliografia, para uma correta e eficiente peletização, o teor de humidade presente na matéria-prima antes de entrar no alimentador deve estar compreendido entre 12 e 18 % [85].

Para a determinação da quantidade de água a adicionar na mistura da matéria, foi elaborada uma folha de cálculo em excel. Note-se que durante o processo de peletização são atingidas temperaturas elevadas, até 100 °C, o que leva à evaporação de alguma água existente na biomassa, fator este que tem de ser tido em conta nos cálculos.

Para o cálculo da quantidade de água a adicionar é necessário saber qual o valor da humidade existente em cada tipo de biomassa e aquele que se pretende obter na mistura final.

Com base nas percentagens de humidade de cada matéria-prima obtida experimentalmente para o caso das misturas, poder-se-á calcular o valor da quantidade de massa de água presente em cada matéria, bem como a respetiva massa de matéria seca, segundo as equações 3.1 e 3.2:

$$M_{ap} = \frac{M_t \times H}{100} \quad (3.1)$$

$$M_s = M_t - M_{ap} \quad (3.2)$$

Onde,

M_{ap} – Massa de água presente (g)

H – Humidade inicial da matéria (%)

M_t – Massa total inicial (g)

M_s – Massa de matéria seca (g)

Por fim, a quantidade de água a adicionar na mistura, determinada pela diferença entre a massa total final e a massa de água presente na biomassa, pode ser obtida recorrendo à Equação 3.3:

$$M_{aa} = \frac{\left(\frac{H_f \times M_t}{100}\right) - M_{ap}}{1 - \frac{H_f}{100}} \quad (3.3)$$

Onde,

M_{aa} – massa de água adicional (g)

H_f – Humidade final pretendida (%)

HOMOGENEIZAÇÃO

Após a pesagem da quantidade de massa para a produção de pellets e a adição da água necessária é importante misturar o preparado de modo a ficar o mais homogêneo possível.

Para o efeito utilizou-se uma misturadora, existente no CVR, constituída por uma câmara cilíndrica, posicionada na horizontal, munida de rotação, com uma potência máxima de 1,50 kW, uma tensão de 380 V e uma frequência de 50 Hz, apresentada na Figura 3.5.



Figura 3.5: Misturadora

Para a homogeneização, a mistura é introduzida no interior da câmara e, em seguida, é programado o seu funcionamento para um dado número de voltas, a velocidade constante. A câmara é fechada manualmente com um tampo, que é apertado com 2 parafusos.

O número de voltas programável para cada processo depende da mistura a homogeneizar. Na massa com apenas matéria virgem (serrim de madeira ou granulado de cortiça) e água, optou-se por uma homogeneização média de 100 voltas, enquanto que em massa com mistura de matérias (serrim e granulado) se optou por um rotação média de 150 voltas, função das proporções. Este equipamento apresenta uma velocidade média de 25 rpm.

3.2.3 PRODUÇÃO DOS PELLETS

Ao longo de todo o projeto foram produzidos vários lotes de pellets. Na Tabela 3.4 podem-se encontrar os principais parâmetros inerentes da produção dos pellets, de um dos lotes.

Tabela 3.4: Características de produção das diferentes formulações de pellets

	SP	GC	70S-30G	30S-70G
Massa total inicial (matéria) (g)	10 000	10 000	7 850	10 000
Massa de água inicial (g)	1 320	750	878	851
Humidade final pretendida (%)	14	14	13	13
Quantidade de água adicionada (g)	80	650	221	450
Nº de voltas da misturadora	100	100	150	150
Duração do processo (min)	≈15	≈15	≈12	≈15
Massa desperdiçada (g)	1 000	2 000	1 850	2 000
Massa Final Pellets (g)	9 000	8 000	6 000	8 000

Para além da quantidade de água adicionada, antes da homogeneização da matéria, foi-se promovendo nova adição, durante o processo de peletização, com auxílio de um pulverizador. Com o excesso de evaporação foi possível constatar-se que em alguns momentos operacionais não era possível a obtenção de pellets, sendo que estes surgiam pela saída da peletizadora em forma de pó, consequência do baixo teor de água presente na matéria. No entanto, essa quantidade de água

adicionada não foi contabilizada, apenas se pode referir que era substancialmente inferior face à incorporada antes da homogeneização.

A massa desperdiçada, apresentada na Tabela 3.4, engloba a massa de matéria inicial usada na limpeza da peletizadora, o pó derivado do processo, os finos após a peneiração e a massa de água evaporada. A massa inicial de limpeza varia consoante a última utilização da peletizadora e inclui os pellets e pó com contaminação de outras matérias.

3.3 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

Para a caracterização dos pellets foi realizado pelo menos um ensaio para cada parâmetro a determinar. Apenas a determinação de um elemento químico (o enxofre), das análises químicas das cinzas e do comportamento de fusibilidade das mesmas, foi realizada em instituições externas ao CVR.

3.3.1 TEOR DE HUMIDADE

A determinação do teor de humidade realiza-se através do método de gravimetria, que consiste na pesagem de amostras e utiliza uma massa ou uma variação de massa como sinal analítico. Os equipamentos usados para a realização do ensaio são uma balança analítica e uma estufa. Para a realização dos testes seguiram-se as seguintes tarefas:

1. Preparação dos gobelés (limpeza e secagem);
2. Pesagem dos gobelés vazios na balança;
3. Colocação das amostras no gobelé (cerca de $\frac{1}{4}$ da altura do gobelé);
4. Pesagem do gobelé mais as amostras (com humidade);
5. Colocação dos gobelés com as amostras na estufa a 105°C , durante cerca de 24h;
6. Extração dos gobelés com as amostras secas da estufa e posterior arrefecimento;
7. Pesagem dos gobelés mais as amostras secas (sem humidade);
8. Determinação do teor de humidade (equação 3.4).

O teor de humidade é dado pela relação entre a massa de água evaporada e a massa da amostra original, de acordo com a equação 5.

$$\% H = \frac{(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1)}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde:

m_1 corresponde à massa do gobelé;

m_2 corresponde à massa do gobelé com a massa da amostra com humidade;

m_3 corresponde à massa do gobelé com a massa da amostra sem humidade.

No Anexo D encontram-se discriminados os cálculos efetuados para 10 amostras de cada tipologia de pellets.

3.3.2 TEOR DE CINZAS

O processo para o cálculo do teor de cinzas é idêntico ao anterior, com a diferença da balança usada, que neste caso é mais precisa, e com o equipamento utilizado, uma mufla que suporta temperaturas até 1800 °C. As etapas para o procedimento do método foram:

1. Preparação dos cadinhos (limpeza);
2. Pesagem dos cadinhos numa balança analítica;
3. Colocação de uma pequena quantidade de amostra em cada cadinho, de modo a tapar apenas o fundo;
4. Pesagem dos cadinhos com as amostras;
5. Colocação dos cadinhos mais amostras no forno a 800 °C, durante cerca de 3 h;
6. Extração dos cadinhos com as amostras, em cinza, do forno e posterior arrefecimento;
7. Pesagem dos cadinhos com as amostras calcinadas;
8. Determinação do teor de cinzas (equação 6);

Para o cálculo do teor de cinzas determinou-se a relação entre a massa de cinza e a massa da amostra original, de acordo com a equação 3.5.

$$\% C = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3.5)$$

Sendo que:

m_1 corresponde à massa do cadinho;

m_2 corresponde à massa do cadinho com a massa da amostra original

m_3 corresponde à massa do cadinho com a massa da amostra calcinada

A descrição dos cálculos efetuados para cada ensaio realizado para as diferentes formulações de pellets podem ser consultados no anexo E.

3.3.3 MATÉRIA VOLÁTIL

O procedimento do método para a determinação do teor de matéria volátil contida nos pellets é o mesmo do das cinzas, apenas difere nos parâmetros da temperatura e duração do processo. As etapas para o procedimento são:

1. Preparação dos cadinhos (limpeza);
2. Pesagem dos cadinhos numa balança analítica;
3. Colocação de uma pequena quantidade de amostra em cada cadinho, de modo a cobrir apenas o fundo;
4. Pesagem dos cadinhos com as amostras;
5. Colocação dos cadinhos com as amostras no forno a 900 °C, durante cerca de 7 minutos;
6. Extração das amostras em cinzas do forno e posterior arrefecimento;
7. Pesagem dos cadinhos com as amostras calcinadas;
8. Determinação do teor de matéria volátil (equação 3.6);

O teor de Matéria Volátil é dado pela diferença entre a relação da massa de água perdida e da matéria original e o teor de humidade calculado anteriormente:

$$\% MV = \left[\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \right] - H(\%) \quad (3.6)$$

Onde:

m_1 corresponde à massa do cadinho;

m_2 corresponde à massa do cadinho com a massa da amostra original

m_3 corresponde à massa do cadinho com a massa da amostra calcinada

3.3.4 DENSIDADE APARENTE

Para o cálculo da massa volúmica aparente utilizou-se um método interno do CVR, baseado na norma indicada na Tabela 2.7. O método baseia-se na pesagem de uma amostra contida numa proveta com um volume de 0,0005 m³. Para a obtenção da massa volúmica nas unidades do sistema internacional, ou seja quilograma por metro cubico, basta dividir a massa, em quilograma, obtida em cada um dos ensaios, pelo volume da proveta (0,0005 m³).

$$Densidade\ aparente\ (kg/m^3) = \frac{Massa\ amostra}{Volume\ amostra} \quad (3.7)$$

Para cada tipologia de pellets foram realizados três ensaios para a determinação da densidade aparente, cujos parâmetros estão discriminados no Anexo F.

3.3.5 DURABILIDADE MECÂNICA

Para a determinação do valor da durabilidade mecânica de cada tipo de pellet é necessário a realização de dois ensaios. Caso o valor obtido nos ensaios seja igual ou superior a 97,5 % a diferença entre cada resultado não pode ultrapassar os 0,2 %. No entanto, se o valor de durabilidade mecânica obtido for inferior a 97,5 % esta diferença não pode ultrapassar 1%. Para cada ensaio é necessário uma amostra de pellets de 500±10 g peneirada manualmente, através de um peneiro com orifícios de 3,15 mm.

O ensaio consiste na introdução da amostra numa câmara retangular submetida a uma rotação com uma velocidade de 50±2 rpm durante cerca de 10 minutos, o que se traduz em cerca de 500 voltas. Após este passo, as amostras são novamente peneiradas e pesadas. Abaixo encontram-se enumerados os passos a efetuar para cada ensaio.

1. Peneiração das amostras de pellets;
2. Pesagem da amostra (500±10 g);
3. Colocação da amostra na camara com uma rotação de 50 rpm durante cerca de 10 minutos;
4. Extração da amostra da câmara e nova peneiração;
5. Pesagem da amostra peneirada retida;
6. Determinação da percentagem de durabilidade (equação 3.8).

Para os cálculos do valor da durabilidade (DU) é utilizada a equação 3.8:

$$DU (\%) = \frac{m_A}{m_E} \times 100 \quad (3.8)$$

Onde,

m_A (g) corresponde à massa da amostra peneirada após sujeita à rotação;

m_E (g) corresponde à massa da amostra peneirada antes de ser submetida à rotação.

No Anexo G encontram-se os valores determinados em cada parâmetro necessário para a determinação do valor final.

3.3.6 PODER CALORÍFICO

A análise ao poder calorífico é realizada num equipamento designado de calorímetro AC 500 LECO, existente no CVR-Laboratório de caracterização de resíduos. O método utilizado é interno às instalações, embora seja baseado na norma europeia CEN/TS 14918 - Method for the determination of calorific value.

Antes de ser utilizado, o equipamento tem de estar calibrado, e antes de cada processo é necessário verificar a respetiva calibração. Para tal, realiza-se uma análise padrão com ácido benzoico e compara-se os resultados obtidos com os indicados no rótulo do produto.

Para a análise de cada tipo de produto o primeiro passo é a preparação da amostra, que passa pela sua pesagem e introdução no equipamento. Este método baseia-se na queima do produto, através de uma explosão provocada por corrente elétrica através de fios condutores e oxigénio.

Para tal, durante a preparação da amostra, esta é colocada num cadinho, que por sua vez é acoplado num suporte, onde se coloca o fio condutor, e introduzido num cilindro, denominado de “*bomba*” que, após ser devidamente fechado, é pressurizado com oxigénio. Esta bomba é colocada numa cavidade que contem água destilada.

Cada análise comporta uma duração de aproximadamente 15 minutos, sendo que cerca de 5 são empregues na pressurização da bomba, 3 na estabilização e 5 na análise, acrescentando o tempo de preparação da amostra.

As etapas a seguir para a realização do ensaio são:

1. Pesagem da amostra (cadinho tara zero);
2. Introdução da massa da amostra no programa no computador;
3. Colocação do cadinho com a amostra no suporte;
4. Colocação do fio condutor no suporte;
5. Colocação do suporte com a amostra no interior da bomba;
6. Fecho da bomba e aperto a válvula;
7. Pressurização da bomba com oxigénio (30 a 35 psi);
8. Colocação da bomba no equipamento na cavidade que contém a água destilada;
9. Iniciação do programa para analisar;
10. Verificação dos resultados;
11. Medição do fio condutor restante, conseqüente subtração da diferença aos 10 cm iniciais e introdução do valor no programa.

A equação de cálculo do PCI, após o cálculo do PCS, que é o obtido durante o ensaio, é a seguinte (equação 3.9):

$$PCI[J/g] = PCS - 24,41(H_{ad} \times 8,936) \quad (3.9)$$

Onde:

H_{ad} corresponde à percentagem de Hidrogénio contido na amostra

24,41 é o valor do calor latente de vaporização da água (J/g)

8,936 corresponde ao rácio da massa molecular H_2O e H_2 .

Esta equação é meramente uma informação adicional, visto que o equipamento calcula o PCI diretamente.

3.3.7 TEOR DE FINOS

O teor de finos de cada amostra é calculado, através de um método interno da instituição, baseado na norma CEN/TS 15210, com recurso a um peneiro com granulometria de 4 mm e uma balança analítica.

Para o procedimento do método seguiu-se as seguintes etapas:

1. Pesagem da amostra;
2. Peneiração da amostra através de um peneiro de granulometria de 4 mm;
3. Nova pesagem da amostra, agora peneirada;
4. Determinação da percentagem de finos (equação 3.10).

A equação usada para o cálculo da percentagem foi a seguinte:

$$\% \textit{ Finos} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3.10)$$

Onde,

m_1 corresponde à massa amostra original

m_2 corresponde à massa amostra retida

Para cada tipo de pellets foram realizados três ensaios, cujos vários parâmetros calculados podem ser observados no Anexo H.

3.3.8 ANÁLISE ELEMENTAR (C, N, H e S)

Esta análise permite determinar os teores de Hidrogénio (H), Azoto (N) e Carbono (C) contidos na massa dos pellets produzidos, através da queima do produto. Estas são realizadas num equipamento, existente no LCR do CVR, denominado de analisador multi-elementar da marca *LECO* modelo *TRUPSEC CNC*, apresentado na Figura 3.6.

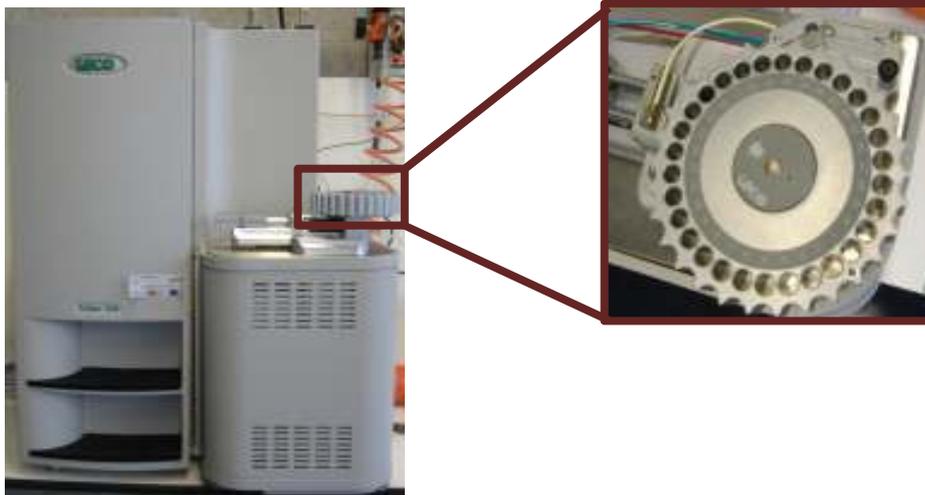


Figura 3.6: Analisador multi-elementar, com pormenor da peça onde se colocam as amostras

Antes de iniciar um lote de ensaios é necessário calibrar a máquina, assim como assegurar que as linhas de gases de alimentação estão isentas de algum contaminante.

Neste tipo de ensaios, as amostras são embrulhadas em folhas de estanho, com ajuda de um suporte, para que a sua dimensão máxima seja a de cada orifício do porta-amostras, e assim garantir que estas entram na máquina, sem correr o risco de ficarem presas. Para além disso, os pellets, como qualquer outro tipo de material a analisar neste equipamento, têm de ser moídos de modo a ficarem reduzidos a pó, caso contrário não caberiam no porta-amostras.

As etapas para a execução destes ensaios encontram-se enumeradas abaixo:

1. Calibração da máquina;
2. Ensaio de brancos para limpeza e descontaminação:
 - a. Análise de um produto padrão da EDTA, cujos valores de H, N e C se encontram fixos na embalagem;
 - b. Verificação dos resultados.
3. Preparação das amostras:
 - a. Pesagem das folhas de estanho na balança analítica;
 - b. Colocação das amostras nas folhas de estanho e moldagem, com ajuda de um tubo, de modo a obter a dimensão dos orifícios do porta-amostras;
 - c. Fecho das folhas com as amostras, em forma tipo rebuçado;
 - d. Pesagem das folhas mais as amostras;
4. Colocação das amostras na máquina na posição indicada pela seta (Figura 3.6);

5. Introdução do valor da massa de cada amostra no programa instalado num computador e iniciação da análise;
6. Verificação dos resultados através do programa.

A determinação do teor de enxofre foi realizada em laboratório externo ao CVR, no analisador CTS da marca LECO modelo CS-200.

3.3.9 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS PELLETS E CINZAS

A determinação da percentagem de elementos químicos presentes nos pellets, quer metálicos ou não metálicos, foi realizada num outro laboratório, externo ao CVR, através do método S-METAXHB1/2 - Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma, onde a amostra foi homogeneizada e mineralizada em água.

A análise química às cinzas foi igualmente realizada numa instituição externa ao CVR, através do método FRX – Espectrometria de Fluorescência de Raios-X, no equipamento X'Unique II da marca Philips. De um modo geral, este método utiliza sinais de raios-X para excitar uma dada amostra, e em seguida, os elementos químicos presentes na amostra emitem seus raios-X característicos.

3.3.10 FUSIBILIDADE DAS CINZAS

Como a certificação ENplus considera o estudo do comportamento de fusão das cinzas como um aspeto importante optou-se neste estudo por também analisar este parâmetro. Para tal, foi necessário enviar amostras de pellets para um laboratório externo à instituição, uma vez que nesta não se realizam este tipo de ensaios. Uma vez que na bibliografia existem dados relativos ao comportamento das cinzas em pellets de serrim de madeira, optou-se por enviar para análise apenas pellets de 100 % de granulado de cortiça, visto que os ensaios em causa têm um custo elevado. Relativamente aos pellets de serrim de madeira foram considerados os dados disponibilizados na literatura.

De acordo com a norma europeia CEN/TS 15370-1, o processo de determinação baseia-se na observação contínua de uma amostra de cinzas que é aquecida a uma velocidade constante, com medição e gravação das temperaturas às quais ocorrem alterações são gravadas. A amostra de cinza é

preparada com uma forma cilíndrica, apresentando uma altura entre 3 a 5 mm e um diâmetro igual à altura. Este processo divide-se em 4 fases, nomeadamente [75, 76]:

- SST (Shrinkage starting temperature): designada por temperatura de contração, observa-se quando a altura do cilindro se encontra a cerca de 95 % da altura da amostra inicial.
- DT (Deformation temperature): corresponde à temperatura de deformação, à qual ocorrem os primeiros sinais de arredondamento das arestas do provete.
- HT (Hemisphere temperature): a temperatura de hemisfério é registada quando a altura da amostra é igual a metade do diâmetro.
- FT (Flow temperature): corresponde à temperatura de fluidez da cinza e é observada quando a amostra se espalha sobre o suporte, e que em geral corresponde a metade da altura observada na HT.

Na Figura 3.7 pode observar-se o comportamento de uma amostra ao longo do processo de fusibilidade durante as várias fases acima descritas.

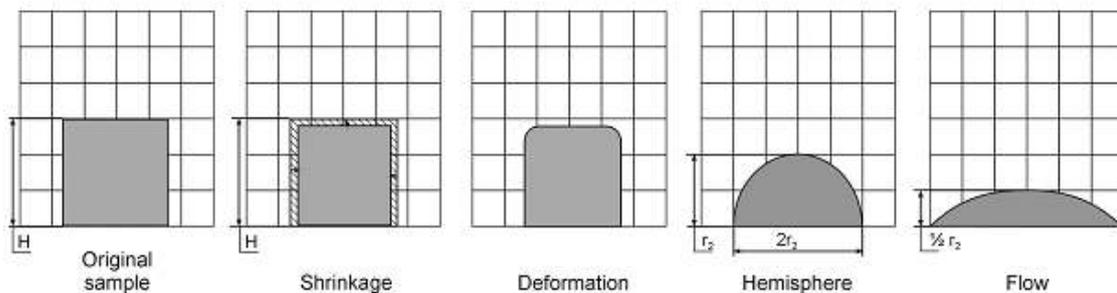


Figura 3.7: Fases do processo de fusibilidade de cinzas [75]

O processo da norma europeia é baseado na norma internacional ISO – 540 e apresenta algumas diferenças no método de fusibilidade [77]. A norma internacional introduz uma outra temperatura denominada de Temperatura de Esfera (ST), que é observada quando a altura da amostra é igual ao diâmetro da base, e não determina a temperatura de contração (SST). Nesta norma, a amostra de cinzas é em pirâmide ao contrário da cilíndrica na norma europeia.

O teste de fusibilidade das cinzas, para os pellets GC, foi realizado segundo a norma ISO-540 e em atmosfera oxidante, visto que os pellets são queimados em excesso de oxigénio

3.4 ENSAIOS DE QUEIMA

Para a determinação das emissões gasosas que os pellets fabricados anteriormente emitem é necessário a realização de ensaios de combustão. Estes ensaios vão permitir a medição das emissões de partículas, COV's, CO, CO₂, NO_x, SO₂, e O₂, e assim verificar se são cumpridos os limites de emissões permitidos pela legislação.

3.4.1 CALDEIRA

Os ensaios de combustão dos pellets são realizados numa caldeira existente no DEM, apresentada na Figura 3.8.



Figura 3.8: Caldeira utilizada para os ensaios de combustão dos pellets

Esta é composta por três módulos agregados, nomeadamente, câmara de combustão, queimador e permutador de calor. Esta caldeira apresenta um consumo médio contínuo de cerca de 6,6 kg/h.

O queimador é constituído por uma grelha fixa inclinada, onde se encontra acoplada uma resistência, responsável pela auto-ignição dos pellets alimentados através de uma entrada superior. A câmara de combustão encontra-se acima do queimador, não havendo uma separação física. Acima desta encontram-se os tubos de fumo do permutador de calor.

Para uma combustão com oxigénio, a camara possui várias entradas de ar primário, na grelha, e secundário, que se situam acima da grelha. Também na zona da resistência existe uma entrada de ar, aquecido pela mesma, que facilita a ignição do combustível.

Acoplado à caldeira existe um sistema de alimentação automático ligado a um reservatório de pellets, independente da caldeira, associada a uma balança, cujo objetivo é o de controlar a quantidade de pellets que a caldeira consome. O alimentador, que apresenta uma inclinação de 45°, é composto por um parafuso sem-fim, envolto de uma tubagem de aço, sendo acionado por um motor elétrico (Figura 3.9 - A, B,C).

Existe igualmente um sistema de análise e medição de gases, composto por um analisador para o gás de NO_x , e outro para os gases CO , CO_2 e O_2 (Figura 3.9 - E, F).

Como outras caldeiras, esta também tem como objetivo o aproveitamento do poder energético libertado pelo combustível, pelo que tem acoplado um permutador de calor, onde ocorre a dissipação do mesmo, através da recirculação da água efetuada com recurso a uma bomba. (Figura 3.9- G).

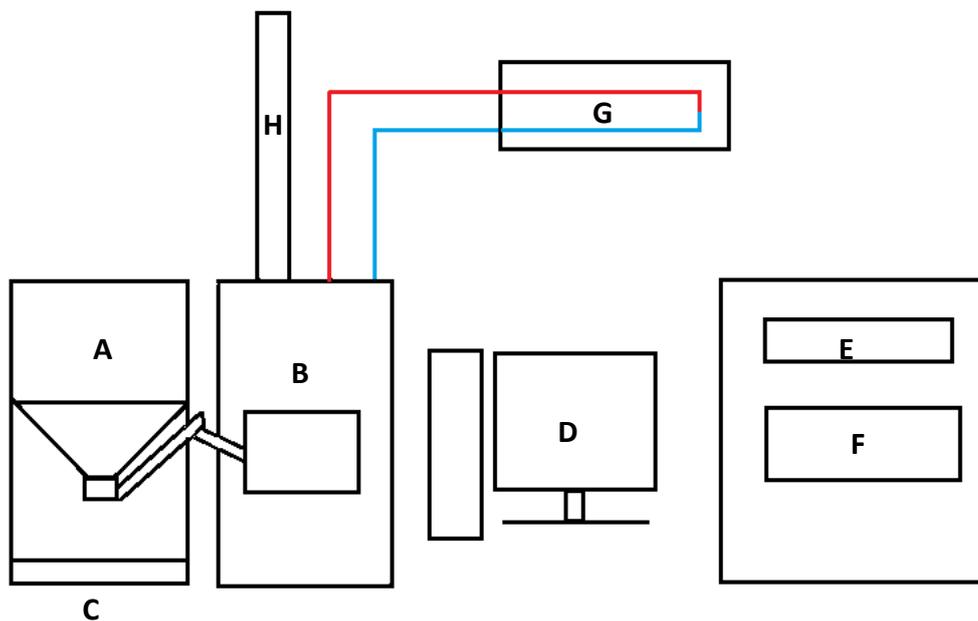


Figura 3.9: Esquema da instalação do sistema de queima: A) Alimentador; B) Caldeira; C) Balança; D) Sistema de aquisição de dados; E) Analisador de gases (NO_x); F) Analisador de gases (CO , CO_2 , O_2); G) Permutador de calor; H) chaminé

Todos os sistemas acima descritos encontram-se ligados a um sistema de aquisição e controlo dos dados. Este sistema é composto por um chassis, que funciona como uma placa onde todos os módulos

são ligados, um controlador, uma placa de aquisição, módulos de termopares, de inputs analógicos, de inputs digitais e de outputs digitais (Figura 3.9- D).

Através do programa existente é possível selecionar um funcionamento automático ou manual. A programação deste sistema encontra-se em linguagem LabVIEW.

3.4.2 FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA

Todos os ensaios foram realizados com o mesmo procedimento, em modo de funcionamento automático, com apenas algumas alterações nos parâmetros de alimentação dos pellets.

O primeiro passo consiste em ligar a caldeira e abrir as válvulas de ar primário e secundário. Em seguida liga-se o alimentador durante um determinado tempo, até que a grelha tenha pellets suficientes para, com o aumento da temperatura através de uma resistência, que chega em média a atingir os 500 °C, e uma baixa velocidade do ventilador, se iniciar a combustão. Após os gases atingirem a temperatura de ignição (definida pelo utilizador), a resistência é desligada e o ventilador passa a funcionar a uma velocidade definida conforme a potência que se pretende.

Após esta fase de arranque, segue-se a fase estacionária onde se regula a abertura das entradas de ar e onde a bomba de circulação de água é ligada. Por fim dá-se início à alimentação automática dos pellets e os ensaios de medição das emissões gasosas são iniciados após os gases atingirem um nível de estabilidade, em geral cerca de 30 min a 40 minutos.

Os parâmetros a controlar pelo utilizador são o tempo inicial de alimentação, a temperatura para iniciar o ciclo normal de alimentação, a temperatura para paragem da ignição, a velocidade do ventilador na fase de arranque e na fase estacionária e o tempo de funcionamento (on) e paragem (off) do alimentador

Na Tabela 3.5 apresenta-se os parâmetros usados para cada ensaio de combustão realizado para cada tipologia de pellets.

Tabela 3.5: Parâmetros introduzidos nos ensaios de queima

	Ensaio 1:	Ensaio 2:	Ensaio 3:	Ensaio 4:
	SP	GC	70S-30G	30S-70G
Tempo inicial de alimentação [s]	95	95	50	65
Temperatura gases para iniciar a alimentação [°C]	110	110	110	110
Velocidade do ventilador na fase de arranque [m³/h]	120	120	120	120
Velocidade do ventilador na fase estacionária [m³/h]	150	150	150	150
Tempo de funcionamento do alimentador				
OFF	10	10	10	10
ON	10	3	4	3

Os pellets de serrim (SP), correspondentes ao ensaio 1, não apresentaram problemas ao nível da ignição, combustão e concentração dos poluentes nas emissões gasosas. Esta queima foi realizada com um tempo inicial de alimentação de 95 segundos e um período de alimentação de modo off e on de 10 em 10 segundos. Em contrapartida, durante os ensaios de queima das formulações de pellets com granulado de cortiça incorporado surgiram vários problemas, nomeadamente na ignição, no controlo da combustão e da emissão de poluentes gasosos.

O ensaio 2 foi realizado com os pellets GC, com um tempo de alimentação inicial igual ao anterior. No entanto, surgiram problemas ao nível da ignição, na medida em que esta não se verificava e, conseqüentemente formavam-se elevadas quantidades de fumo dentro da câmara, sem a formação de chama. Este problema foi resolvido ao fim de algumas tentativas, nomeadamente pela extração de alguns pellets da grelha, até se conseguir obter a chama. Uma vez iniciada a combustão experimentou-se alimentar a câmara com um período de alimentação idêntico ao do ensaio 1: SP. Esta situação gerou problemas ao nível da combustão, levando a uma diminuição acentuada da chama, uma vez que este resíduo necessita de mais tempo para a sua queima completa, em comparação aos pellets de serrim. Deste modo, foi necessário alterar o período de alimentação ao longo do ensaio, de modo a se conseguir um maior tempo em modo off. Adicionalmente, o domínio deste parâmetro também teve influência no controlo das emissões gasosas, registadas no analisador de gases acoplado à caldeira. Inicialmente os teores dos poluentes, principalmente o do monóxido de carbono, encontravam-se muito elevados e com dificuldade em estabilizar.

Nos ensaios 3 e 4, com os pellets 70S-30G e 30S-70G respectivamente, diminuiu-se o tempo inicial de alimentação, face ao pellets SP, de modo a se obter uma menor massa inicial de pellets na grelha e assim facilitar a ignição do combustível. Por outro lado, como estes pellets têm um processo de combustão mais lenta também foi necessário diminuir o tempo de alimentação em modo ligado (ON), para que os pellets queimassem, tal como verificado nos pellets GC.

Em todos os ensaios de combustão de pellets com incorporação de granulado de cortiça (ensaio 2, 3 e 4), verificou-se que as cinzas obtidas apresentam uma elevada quantidade de resíduo carbonoso que se acumulou em grande porção com a cinza, consequência de uma combustão incompleta (Figura 3.10).



Figura 3.10: Resíduo carbonoso presente na cinza derivada do ensaio 3

3.4.3 ANÁLISE DA COMBUSTÃO

A análise da eficiência da combustão é um parâmetro interessante para a comparação do rendimento entre os quatro tipos de pellets em estudo. Como já referido, a combustão dos pellets não foi realizada com os mesmos parâmetros experimentais para cada formulação em estudo, sendo que estes foram ajustados de forma a se promover a correta e eficiente combustão em cada um.

O rendimento térmico da combustão pode ser obtido através da razão entre o calor transferido para a água e potência teórica fornecida (equação 3.11).

$$\eta [\%] = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{fornecida}}} \quad (3.11)$$

O cálculo da potência útil, que corresponde ao calor transferido para a água, é obtido através da equação 3.12:

$$P_{\text{útil}} [kW] = \dot{m}_{\text{água}} \times cp \times \Delta T \quad (3.12)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{água}}$ – caudal mássico da água [kg/s]

cp – calor específico da água [kJ/kg K] = 4,22 kJ/kg K

ΔT – Variação de Temperatura [°C]

O valor do caudal mássico da água ($\dot{m}_{\text{água}}$), facultado pelo responsável da caldeira, corresponde a cerca de 450 kg/h.

A variação da temperatura é dada pela diferença entre a temperatura da água quente e a da água fria, para um mesmo instante.

O caudal mássico de combustível (\dot{m}_{comb}) é obtido entre a razão da massa total de pellets consumida (m) e a duração do ensaio (Δt), como apresentado na equação 3.13:

$$\dot{m}_{\text{comb}} [kg/h] = \frac{m (kg)}{\Delta t (h)} \quad (3.13)$$

Tendo o caudal mássico de pellets, e sabendo o poder calorífico (PCI) dos mesmos, pode-se calcular a potência teórica fornecida ($P_{\text{fornecida}}$), através da equação 3.14:

$$P_{\text{fornecida}} [kW] = \dot{m}_{\text{comb}} \times PCI \quad (3.14)$$

Na Tabela 3.6 encontram-se descritos os valores de alguns parâmetros relevantes para o cálculo da eficiência, assim como os resultados obtidos para o cálculo da potência e do rendimento térmico.

Tabela 3.6: Rendimento da combustão para as diferentes formulações

	Ensaio Serrim	Ensaio 2: GC	Ensaio 3: 70S-30G	Ensaio 4: 30S-70G
Massa de combustível consumido [kg]	5,6	2,6	2,1	2,3
Duração do ensaio [h]	2,67	1,62	1,25	1,17
Caudal mássico [kg/h]	2,13	1,61	1,68	1,67
Potência teórica fornecida [kW]	9,9	8,58	8,31	9,97
Potência teórica útil [kW]	9,0	7,35	7,88	6,83
Rendimento (%)	90,85	85,7	94,8	68,5

Os parâmetros apresentados na tabela 16, face ao ensaio “serrim”, não correspondem aos dos pellets SP produzidos neste projeto. Estes dados foram retirados de outro ensaio de combustão com pellets da mesma tipologia, realizado na mesma caldeira com parâmetros similares. No referido ensaio, foi usado um menor tempo de alimentação em modo ON, de 4,5 segundos, face aos 10 segundos usados no ensaio 1: SP. A necessidade do uso de dados de outro ensaio resulta da ocorrência de uma falha técnica, ao nível do permutador de calor, uma vez que não foi ligado inicialmente mas sim sensivelmente a meio do ensaio. No ensaio 4: 30S-70G, o valor do rendimento também poderá não corresponder ao real visto que durante o teste ocorreu um problema de falha de energia que levou à perda dos dados obtidos ao longo do mesmo. No entanto durante o ensaio registaram-se alguns valores que permitiram calcular o rendimento para aquele exato momento.

3.4.4 MEDIÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS

A medição das emissões gasosas pode ser efetuada através de um analisador de gases, Signal Instruments, modelos 9000MGA e 4000VM que se encontra permanentemente ligado à caldeira, ou com recurso ao equipamento disponibilizado e monitorizado por um técnico, pertencente ao CVR. Para o efeito foram utilizadas as duas formas de medição.

ANALISADOR DE GASES - SIGNAL INSTRUMENTS

O analisador ligado à caldeira mede apenas a concentração de alguns gases, nomeadamente do CO, O₂ e CO₂, através do modelo 9000MGA e de NO_x com o modelo 4000VM (Figura 3.11).



Figura 3.11: Analisador de gases, acoplado à caldeira

Este aparelho apresenta um monitor para cada gás permitindo a visualização imediata dos valores reais de emissão correspondentes. Os dados de CO e NO_x são dados em ppm (partes por milhão) enquanto os relativos a CO₂ e O₂ obtidos em percentagem.

Antes de se iniciar a combustão é necessário calibrar o aparelho para a obtenção de uma leitura fiável. O equipamento encontra-se calibrado quando são obtidos valores de 5000 ppm de CO, 10 % de CO₂, 20 % de O₂ e 500 ppm de NO_x. Quando terminado o ensaio, os dados obtidos pelo sistema de aquisição e controlo dos dados são guardados em formato Excel. Nesses dados encontram-se os valores, medidos a cada segundo, gerados durante o ensaio de combustão.

ANALISADOR DO CVR

Com o equipamento existente no CVR é possível não só medir a concentração e o caudal dos mesmos gases que os medidos pelo equipamento descrito, assim como as emissões de SO₂, de partículas totais em suspensão (Pts) e de compostos orgânicos voláteis (COV's). Este sistema de medição é formado por um conjunto de equipamentos, nomeadamente:

- Amostrador isocinético: TCR Tecora Isostack Basic;
- Analisador de gases: Testo 350 XL, com capacidade para medir concentrações em tempo real de O₂, CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂, H₂S e efetuar o cálculo do teor de CO₂;
- Bomba de amostragem: Gilian 3500;
- Sacos de amostragem para COV's: Tedlar de 5 litros;
- Balança campo: Kern 440-47N;
- Balança analítica: AE PW 254



Figura 3.12: Analisador de gases, fixo na chaminé

Os ensaios são realizados numa abertura de secção circular de 0,15 m na chaminé, como apresentado na Figura 3.12, através de uma serie de equipamentos, e tem uma duração de cerca de 30 min. Os resultados das concentrações obtidas durante os ensaios são apresentados para uma correção de 11% de O_2 , valor indicado para a biomassa. Para a conversão dos valores medidos para os corrigidos é utilizada a equação 3.15:

$$Valor\ corrigido = valor\ medido \times \frac{21 - \% O_2}{21 - \% O_{2,medido}} \quad (3.15)$$

Sendo que:

$\% O_2$ corresponde aos 11 %,no caso do combustível ser biomassa

$\% O_{2,medido}$ corresponde à percentagem de oxigénio medido no ensaio

No caso do caudal mássico (m) também é usada uma equação para a sua determinação que relaciona a concentração medida e o caudal seco (equação 3.16).

$$\dot{m}[kg/h] = C_{medida} \times Q_{seco} \quad (3.16)$$

Onde:

C_{medida} corresponde à concentração gasosa medida em kg/m^3

Q_{seco} equivale ao caudal volúmico seco normalizado em m^3/h

No anexo I pode-se visualizar uma tabela com alguns dos parâmetros usados durante cada ensaio.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nos ensaios descritos no capítulo anterior são apresentados nos subcapítulos seguintes.

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PELLETS

A Tabela 4.1 apresenta os resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados nos quatro tipos de pellets produzidos.

Tabela 4.1: Resultados da análise das características técnicas realizadas aos Pellets produzidos

Parâmetro	Uni.	SP	GC	70S-30G	30S-70G
Teor de humidade	%	9,32	8,52	9,01	7,27
Teor de cinza	%	0,77	1,96	0,86	1,64
Teor de Matéria Volátil	%	72,1	76,6	73,1	71,9
Densidade a granel	kg/m ³	650	602	603	611
Durabilidade mecânica	%	94,2	96,2	93,7	93,4
PCI	MJ/kg	16,9	19,2	17,8	18,6
Teor de Finos	%	0,61	0,15	0,32	0,24

Embora o teor de humidade, em todos os pellets, se encontre abaixo dos 10%, é nos pellets com maior percentagem de serrim de madeira que se registam valores mais elevados. Este parâmetro não tem grande relevância na rejeição ou seleção de um tipo de pellet, pois não depende apenas da matéria-prima a usar mas sim do seu controlo no processo de produção.

Em contrapartida, o teor de cinza depende essencialmente da matéria incorporada nos pellets, sendo que como referido anteriormente, este é superior no caso de folhas ou cascas de árvore. Como era espectável, os pellets com granulado de cortiça incorporado apresentam um teor de cinza superior àqueles que apenas contém serrim de madeira na sua constituição. Os pellets GC e 30S-70G apresentam valores superiores ao teor de 1,5% referido na certificação ENplus A2, mas inferiores a 3 %, valor limite da classe ENB.

Em relação ao teor de matéria volátil, os pellets GC apresentam o valor mais elevado, embora com uma diferença pouco significativa quando comparado com as outras formulações de pellets.

Paralelamente, os pellets com incorporação de granulado de cortiça registam maior poder calorífico inferior. No caso dos pellets GC conseguiu-se um PCI na ordem dos 19,2 MJ/kg, enquanto nos SP registou-se 16,9 MJ/kg. Este valor é influenciado pela percentagem de carbono, que nos pellets GC apresenta um teor na ordem dos 53,8 %, face aos 49,5 % registados nos pellets SP, como apresentado na Tabela 18. Todos os valores obtidos, face a este parâmetro, estão de acordo com o limite de todas as classes da legislação ENplus, à exceção dos pellets GC, que ultrapassam os 19 MJ/kg, embora por uma diferença pouco significativa.

Face ao parâmetro de durabilidade, também os pellets com maior percentagem de granulado de cortiça são os que apresentam melhores resultados, embora os valores obtidos se encontrem, em todos os casos, abaixo dos 97,5%. Estes valores podem ser resultado da granulometria da matéria-prima utilizada, e de parâmetros de controlo utilizados no processo de produção, como é o caso do teor de humidade. Assim sendo, é possível elevar o valor deste parâmetro através do controlo de ambos os parâmetros.

Em consequência, os pellets com maior percentagem de durabilidade mecânica são aqueles que apresentam menor teor de finos, como é o caso dos pellets GC. Em relação ao teor de finos, todas as tipologias de pellets apresentam um valor inferior a 1%.

Na Tabela 4.2 encontram-se apresentados os valores obtidos para o teor dos elementos em maior abundância nos pellets, bem como os elementos não metálicos.

Tabela 4.2: Resultado da análise elementar e elementos não metálicos dos pellets produzidos

Parâmetro	Uni.	SP	GC	70S-30G	30S-70G
C (Carbono)	%	49,5	53,8	50,9	50,8
N (Azoto)	%	<0,01	0,35	0,11	0,31
H (Hidrogénio)	%	6,67	6,62	6,76	6,36
S (Enxofre)	%	0,012	0,034	0,02	0,015
Cloro Total	mg/kg	28,5	491	196	395
P	mg/kg	94,3	334	164	268

O carbono é o elemento em maior abundância, fator este que entra em concordância quando no Capítulo 2 se referiu que a biomassa era essencialmente constituída por átomos de carbono.

Paralelamente, o carbono, assim como, o azoto e enxofre, estão presentes em maior quantidade nos pellets que na sua constituição possuem granulado de cortiça, embora a percentagem dos dois últimos no geral seja relativamente baixa, o que pode indicar um baixo nível de emissões de NO_x e SO₂, respetivamente.

Em termos do elemento hidrogénio, a sua percentagem é baixa e não varia muito entre os diferentes tipos de pellets, embora aqueles que possuam um maior teor são aqueles que possuem maior percentagem de serrim.

Relativamente ao teor de cloro (Cl) e de fósforo (P) os valores mais elevados registaram-se nos pellets que possuem maior quantidade de granulado de cortiça na sua constituição.

Em relação aos restantes elementos químicos todos os valores se encontram abaixo dos limites, embora relativamente ao teor de Hg (mercúrio) este facto não pode ser confirmado nem desmentido, visto que o resultado obtido, em todos os pellets, indica apenas que o seu teor é inferior a 0,2%, valor limite de deteção do equipamento utilizado.

Segundo a literatura, quando se verifica um elevado teor de Ca e K e um reduzido teor de Si, a reação entre os dois primeiros pode levar à formação de um revestimento, constituído por silicatos de potássio fundidos, na superfície das partículas do leito do queimador [74].

Em todas as tipologias de pellets analisadas estes valores são os que se encontram em maior abundância, embora a percentagem mais acentuada seja verificada nos pellets GC e 30S-70G, ou seja nos que possuem maior porção de granulado de cortiça.

Na Tabela 4.3 pode-se visualizar os resultados obtidos para os restantes elementos químicos para cada formulação de pellets.

Tabela 4.3: Resultado dos restantes elementos químicos dos pellets

Parâmetro	Uni.	SP	GC	70S-30G	30S-70G
As	mg/kg	0,52	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	mg/kg	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Cr	mg/kg	3,32	1,45	1,66	1,12
Cu	mg/kg	2,9	7,7	4,1	5,6
Pb	mg/kg	<1	1	<1	1,2
Hg	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ni	mg/kg	1,2	<1	<1	<1
Zn	mg/kg	13	7,7	7,9	7
Sb	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Co	mg/kg	0,23	<0,2	<0,2	<0,2
Mn	mg/kg	90,9	107	92,8	96,3
Ti	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	mg/kg	0,2	0,21	0,22	0,22
Al	mg/kg	263	133	157	93
Fe	mg/kg	442	182	348	180
K	mg/kg	629	3850	1620	2970
Na	mg/kg	80	212	120	177
Si	mg/kg	149	86	125	97
Mg	mg/kg	318	364	325	348
Ca	mg/kg	746	8170	2930	6280
Mo	mg/kg	<0,4	<0,4	<0,4	<0,2
Ba	mg/kg	5,33	24	9,5	17,6
Se	mg/kg	<2	<2	<2	<2

4.2 EMISSÕES GASOSAS

Como já referido, foram efetuados quatro ensaios, um para cada tipologia de pellets. Na Tabela 4.4 estão disponibilizados os dados relativos às emissões gasosas obtidos em cada ensaio durante a combustão dos pellets referidos anteriormente, assim como os valores limites de concentração e caudal limiar expressos para os mesmos poluentes nas portarias n.º 677/09 e n.º 80/2006, respetivamente [86, 87].

Tabela 4.4: Valores das emissões gasosas emitidas durante os ensaios

	Ensaio 1: SP	Ensaio 2: GC	Ensaio 3: 70S-30G	Ensaio 4: 30S-70G	Valor limite	
					Mínimo	Máximo
CO						
Concentração [mg/Nm ³]	154	2231	568	838	500	
Caudal [kg/h]	0,04	0,26	0,05	0,12	5	100
NOx						
Concentração [mg/Nm ³]	159	465	361	448	650	
Caudal [kg/h]	0,04	0,05	0,03	0,06	2	30
COV						
Concentração [mg/Nm ³]	<1	127	6	19	200	
Caudal [kg/h]	<0,0002	0,015	0,0005	0,0028	2	30
Pts						
Concentração [mg/Nm ³]	6	149	134	25	150	
Caudal [kg/h]	0,001	0,017	0,012	0,004	0,5	5
S02						
Concentração [mg/Nm ³]	16	<29	<24	<23	500	
Caudal [kg/h]	<0,004	<0,003	<0,002	<0,003	2	50

A cor verde representa os valores abaixo do limite mínimo e o vermelho os valores acima do limite máximo indicado nas portarias.

Os dados de concentração expostos referem-se aos valores corrigidos para um teor de 11 % de O_2 , de acordo com a equação 3.15.

Todos os caudais limiares mássicos medidos encontram-se abaixo do valor limite estipulado na legislação, o que pode derivar da baixa potência à qual a caldeira funcionou e principalmente devido às várias quedas de velocidades provocadas pela irregular instalação da tubagem dos gases de escape da combustão até à chaminé, onde foram efetuadas as medições.

Os pellets SP apresentam concentrações significativamente abaixo do valor limite expresso nas portarias, não apresentando assim qualquer problema a nível de emissões gasosas.

Em contrapartida nos pellets GC o teor de CO encontra-se largamente acima do limite permitido. Este valor pode derivar do elevado tempo que o granulado de cortiça necessita para a combustão completa em grelha. A esta formulação corresponde o maior teor de NO_x e partículas em suspensão mas em ambos os casos dentro dos valores legais. Constata-se assim a existência de combustão incompleta destes pellets e um aumento dos níveis de óxidos de azoto consequência da composição química do material constituinte dos pellets.

Nos pellets com distintas proporções de serrim e granulado de cortiça, verificaram-se elevados teores de partículas, principalmente nos que apresentam maior percentagem de serrim. Pelo contrário, os teores mais elevados de NO_x e CO são verificados nos pellets que apresentam maior percentagem de granulado de cortiça. O valor de CO encontra-se acima dos valores limites em ambas as formulações, embora no caso dos pellets que apresentam apenas 30 % de granulado de cortiça, o valor ultrapasse o limite apenas em 68 mg/Nm³, sendo que o valor medido, para 13,4 % de O_2 , foi de 431 mg/Nm³, não ultrapassando o limite. Os níveis de COV's encontram-se largamente abaixo dos limites, pelo que não requer preocupação face a este parâmetro.

A concentração de SO_2 , cujo teor varia entre os 16 e os 23 mg/Nm³, nos quatro ensaios, encontra-se largamente abaixo do limite, o que é válido visto que o teor de enxofre presente nos pellets é relativamente baixo, tal como mencionado anteriormente.

Nas Figura 4.1, 4.2 e 4.3 estão representados os gráficos referentes às emissões de CO e O_2 , dos pellets SP, GC e 70S-30G, respetivamente, medidas em cada instante do ensaio através do analisador de gases acoplado à caldeira.

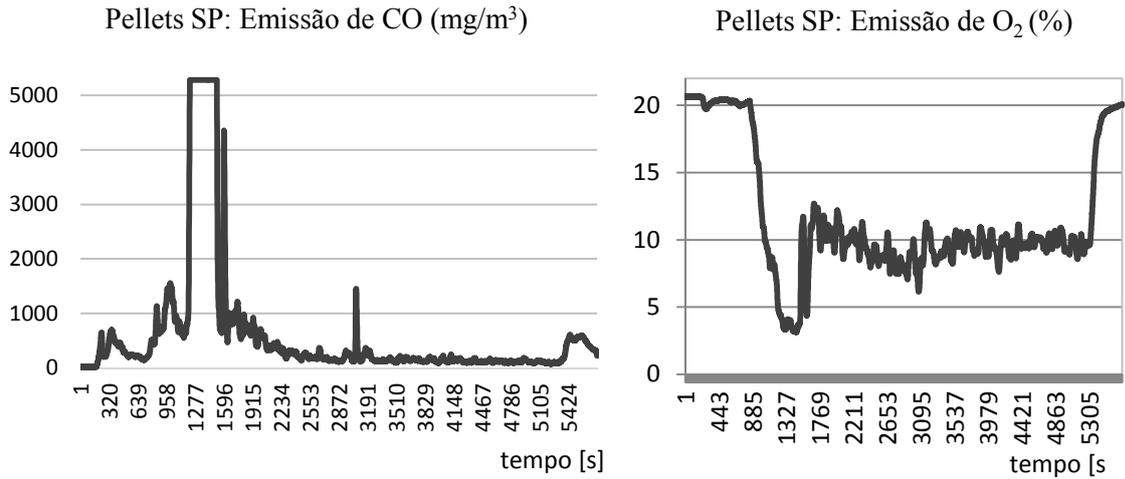


Figura 4.1: Concentração de CO e O₂ medida nos pellets SP

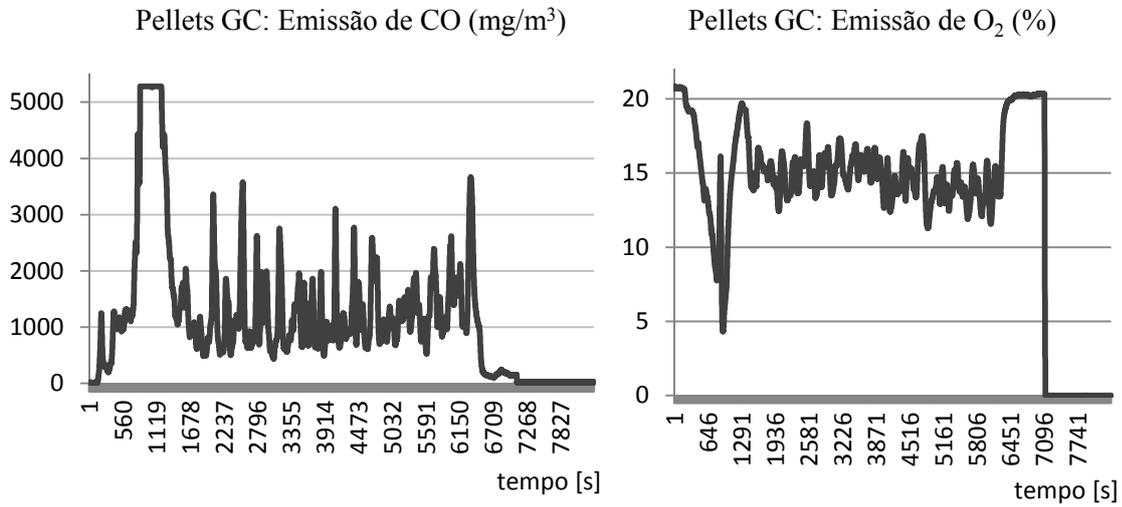


Figura 4.2: Concentração de CO e O₂ medida nos pellets GC

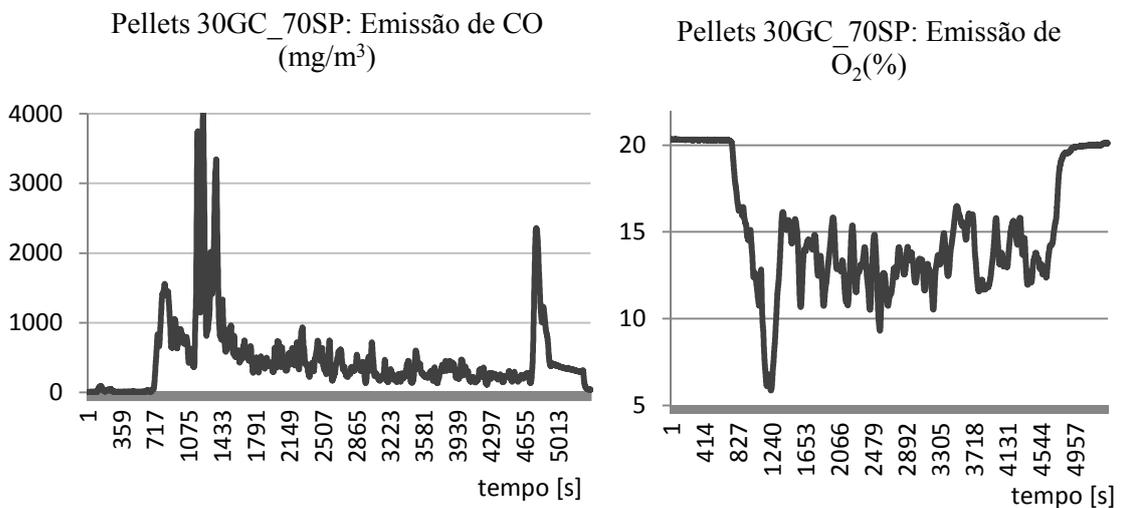


Figura 4.3: Concentração de CO e O₂ medida nos pellets 70S-30G

Os valores de CO apresentados não se encontram corrigidos para o teor de 11% de O₂, mas sim ao teor de O₂ calculado em cada instante e representado no gráfico das respetivas emissões. Os valores iniciais representados nos gráficos não constam nos testes efetuados para a determinação das emissões representadas na Tabela 4.4 uma vez que estes ensaios apenas eram iniciados quando os valores se encontravam minimamente estabilizados.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS

Na Tabela 4.5 são apresentados os resultados dos testes relativos à determinação da fusibilidade das cinzas para os pellets com 100 % de granulado de cortiça (GC), assim como, os valores referidos na bibliografia quanto à fusibilidade dos pellets de serrim de madeira (pinho).

Tabela 4.5: Comportamento de fusibilidade das cinzas [88]

Parâmetros	Pellets GC	Pellets SP
Temperatura de deformação (DT)	1500 °C	1150 °C
Temperatura de Esfera (ST)	1510 °C	1180 °C
Temperatura de Hemisfério (HT)	1520 °C	1200 °C
Temperatura de Escoamento (FT)	1530 °C	1225 °C

O ponto de fusibilidade da cinza nos pellets de granulado encontra-se significativamente acima do valor mínimo de referência na certificação, pelo que à partida não apresentarão problemas de *slagging* ou *fouling*. Em contrapartida, os pellets de serrim apresentam um ponto de fusão muito próximo dos 1100 °C, pelo que em algumas ocasiões podem ocorrer problemas com aglomerados ou depósitos.

Tal como referido no capítulo 2 os elementos Ca e Mg podem causar um aumento do ponto de fusão das cinzas. Este facto pode explicar o elevado ponto de fusão dos pellets GC, visto que o elemento Ca se encontra em grande abundância na sua composição química, com valores na ordem dos 8170 mg/kg. Nos pellets SP o teor de Ca ronda os 756 mg/kg.

Na Tabela 4.6 encontram-se expressos os valores de análise química efetuada às cinzas.

Tabela 4.6: Composição química das cinzas resultantes da combustão dos pellets

Parâmetro	Unidade	SP	GC	70S_30G	30S_70G
Na ₂ O	%	4,48	2,38	1,94	1,47
MgO	%	7,03	1,67	7,61	4,01
Al ₂ O ₃	%	8,38	1,58	4,21	1,58
SiO ₂	%	16,17	3,44	9,42	4,01
P ₂ O ₅	%	2,34	1,75	2,44	1,76
SO ₃	%	6,79	1,62	1,64	1,17
Cl	%	4,59	2,4	1,38	0,81
K ₂ O	%	9,52	13,55	15,22	9,61
CaO	%	32,4	70,3	53,98	74,31
TiO ₂	%	0,38	0,05	0,11	0,05
Cr ₂ O ₃	%	0,1	0,04	0,01	0,004
MnO	%	1,1	0,24	0,38	0,2
Fe ₂ O ₃	%	4,48	0,28	1,42	0,55
NiO	%	0,06	0,06	0,07	0,004
CuO	%	0,003	0,002	0,01	0,06
ZnO	%	0,16	0,07	0,02	0,24
SrO	%	0,28	0,41	0,06	0,07
ZrO ₂	%	0,04	0,02	-	-
BaO	%	-	0,03	-	-

Estes valores de um modo geral estão de acordo com a presença de cada elemento nos pellets. O CaO é o óxido mais abundante na totalidade das cinzas analisada, função da matéria-prima analisada inicialmente. Em geral, este parâmetro tem efeito no comportamento de fusibilidade das cinzas, nomeadamente no aumento da temperatura de deformação inicial (DT).

Verifica-se igualmente a presença de outros óxidos na composição das cinzas, sendo que os mais representativos correspondem ao K₂O, SiO₂, SO₃, Al₂O₃, Na₂O, MgO, P₂O₅ e Fe₂O₃. Elevados teores de Al₂O₃, por norma, têm influência no aumento da temperatura de fluidez (FT), ao passo que o aumento de K₂O tende a diminuir a temperatura geral de fusão das cinzas.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma vez determinados e analisados todos os parâmetros de caracterização dos vários tipos de pellets, pode-se identificar a formulação que apresenta maior potencial de aplicação. Para esta seleção é importante ter em consideração alguns aspetos como os valores limite dos parâmetros expressos na certificação ENplus, bem como os relativos à emissão de poluentes gasosos e à viabilidade económica da sua produção e utilização em processos de combustão.

Relativamente ao primeiro aspeto referido existem 3 classes de certificação onde os pellets podem ser inseridos, nomeadamente a ENplus A1 e A2 e a EN B, como já referido ao longo deste trabalho. Na Tabela 4.7 encontram-se listados os valores dos parâmetros dos pellets produzidos e a representação, através de cores, da respetiva classe ENplus onde cada valor pode ser inserido. A cor verde pertence à classe ENplus A1, a azul à classe ENplus A2 e a vermelha à classe EN B. No final da tabela é indicada a classe onde cada formulação de pellets se pode inserir.

Tabela 4.7: Agrupamento das formulações dos pellets pelas classes da ENplus

Parâmetro	GC	70S-30G	30S-70G	ENplus A1	ENplus A2	EN B
Teor de humidade (%)	8,52	9,01	7,27		≤ 10	
Teor de cinza (%)	1,96	0,86	1,64	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3
Densidade a granel (kg/m ³)	602	603	611		≥ 600	
Durabilidade mecânica (%)	96,2	93,7	93,4		≥ 97,5	≥ 96,5
PCI (MJ/kg)	19,2	17,8	18,6	16.5 a 19	16.3 a 19	16 a 19
Teor de Finos	0,15	0,32	0,24		≤ 1	
T. Fusibilidade cinza (°C)	1500	-	-	≥1200	≥1100	
N (Azoto)	0,35	0,11	0,31	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1.0
S (Enxofre)	0,034	0,02	0,015		≤ 0,03	≤ 0,04
Classe	EN B	ENplus A2	EN B			

Nesta tabela não estão representados os pellets SP, visto que o objetivo deste trabalho passa pelo estudo e pela análise da viabilidade da incorporação de granulado de cortiça nos pellets. Desta forma para a seleção do mais viável apenas se teve em consideração as formulações que apresentam granulado de cortiça.

Os pellets “GC” e os “30S-70G” apenas podem ser agrupados na EN B, devido ao teor de cinza que lhes está associado, cujo valor em ambos se encontra entre 1,5 % e 3 %, e no caso dos CG, também ao teor de enxofre, cujo valor ultrapassa os 0,03%.

Contrariamente, os pellets “70S-30G” podem ser agrupados na ENplus A2, uma vez que o teor de cinza, que se situa entre 0,7 e 1,5 %, não permite que esta tipologia de pellets se enquadre na classe ENplus A1. Por todos os outros parâmetros analisados, que não o teor de cinza, os pellets “70S-30G” poderiam ser agrupados na melhor classe, ou seja na ENplus A1.

Os valores de durabilidade mecânica encontram-se fora dos teores limite da certificação de todas as classes, resultado dos parâmetros usados na operação de peletização. No entanto esta razão não impede que se possa agrupar os pellets nas diferentes classes, visto que esta é uma variável influenciada significativamente pelos parâmetros de produção dos pellets, e não tanto pela matéria-prima que constitui o pellet. Por exemplo, a diminuição do teor de humidade, e o controlo da granulometria da matéria-prima, permite elevar o valor da durabilidade mecânica acima dos 97,5 %, valor que o selo ENplus indica.

Por outro lado, em termos de emissões gasosas, todos os pellets, à exceção dos “SP”, ultrapassam o limite de emissão de 500 mg/Nm³ de CO. No caso dos pellets “GC”, esse valor encontra-se acima dos 2000 mg/Nm³. No entanto, nos pellets “70S-30G” a concentração de CO registada (568 mg/Nm³) encontra-se bastante próxima desse valor. Paralelamente, com uma regulação do equipamento ao nível da entrada de ar e do tempo de queima do biocombustível, é possível uma ligeira diminuição deste valor, permitindo o cumprimento da legislação. Quanto aos restantes poluentes todos apresentam valores abaixo dos limites, sendo que os pellets “70S-30G” são os que possuem concentrações mais baixas de NO_x, COV's e SO₂, face às restantes formulações com incorporação de cortiça. Quanto à fusibilidade das cinzas os pellets com granulado de cortiça não apresentam problemas de suscetibilidade de formação de aglomerados, sendo que ostentam melhores características ao nível deste parâmetro que os pellets de serrim.

Um outro aspeto em consideração é a viabilidade económica que este produto poderá ter para uma empresa com elevada produção de resíduo de granulado de cortiça. Assim sendo, a produção de pellets com maior percentagem de incorporação de granulado de cortiça, para além de apresentar um processo mais facilmente exequível, ao nível da aglomeração da matéria, não necessitam da aquisição de matéria-prima externa à empresa. Paralelamente, estas formulações também apresentam excelentes características capazes de agradar aos clientes finais, como por exemplo o elevado poder calorífico.

No entanto, é essencial que a formulação selecionada como a mais viável apresente a melhor classificação Enplus, pois este é um parâmetro de seleção relevante na comercialização do produto. Paralelamente, é igualmente importante que essa formulação de pellets cumpra os limites legislados a nível das emissões gasosas.

Assim sendo, e ponderando todos os parâmetros descritos e analisados, optou-se pela formulação “70S-30G” como a mais viável. Para além de ser a que ostenta a melhor classificação certificada, na classe ENplus A2, também é a que apresenta valores de poluentes de emissões gasosas mais baixos, dentro dos limites da legislação.

5. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

Para uma perceção da viabilidade económica dos pellets “70S-30G” realizou-se um breve estudo dos custos de produção. Para os referidos cálculos assumiu-se que a peletização de 10 kg de pellets demora em média 10 min, o equivalente a 0,017 h/kg.

A acrescentar a este tempo há ainda que contabilizar o tempo associado à homogeneização da matéria. Assumindo a rotação de 25 rpm, e tendo em conta que para 10 kg se optou por homogeneizar a matéria com 150 voltas, obtém-se uma duração média de processo de homogeneização de 0,008 h/kg.

Tendo em conta as potências dos equipamentos e o custo da eletricidade é possível obter o custo total de energia gasto neste processo através da equação 5.1:

$$\text{Custo Energia} \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h)} \times C_{E.E.} \left(\frac{\text{€}}{\text{kW.h}} \right) \quad (5.1)$$

Onde,

P – Potência útil do equipamento

t – tempo de duração do processo

$C_{E.E.}$ – custo de energia elétrica

Para os cálculos assumiu-se um custo de energia elétrica de 0,1418 €/kWh, correspondente à tarifa de venda em baixa tensão com potência superior a 20 kVA [89].

Na Tabela 5.1 apresentam-se os custos elétricos associados às distintas operações que integram o ciclo produtivo de pellets, bem como o tempo respetivo de funcionamento.

Tabela 5.1: Gastos de energia elétrica na produção de pellets

	Potência equipamento (kW)	Tempo de Funcionamento (h)	Custo de energia elétrica (€/kWh)	Custo (€/kg)
Peletizadora	15	0,017	0,1418	0,035
Misturadora	1,5	0,008	0,1418	0,002
			Total	0,037

Em média, para a produção de 1 kg de pellets são gastos aproximadamente 4 cêntimos relativos ao consumo de energia elétrica. A acrescer a este custo há a considerar o preço da matéria-prima utilizada. Relativamente ao granulado de cortiça, e partindo do princípio que será a própria empresa a produzir pellets, não será acrescentado um valor relativamente à aquisição da matéria-prima.

Para o cálculo do custo do serrim de pinho, através da equação 5.2

(5.2) assumiu-se um valor entre os 7 a 13 €/m³ e uma densidade aparente na ordem dos 250 kg/m³.

$$Custo_{serrim} = \frac{\text{€/m}^3}{250\text{kg/m}^3} = \text{€/kg} \quad (5.2)$$

Assumindo um valor de 10 €/m³, obtém-se um preço 0,05 €/kg para o serrim. Acrescentando este valor ao custo dos gastos energéticos, será possível obter um custo médio de produção. Na Tabela 5.2 pode-se visualizar o custo de produção para os pellets produzidos com 70 % de serrim e 30 % de granulado de cortiça, e assumindo um custo de 0 € para o granulado de cortiça.

Tabela 5.2: Custo de produção dos pellets 70S-30GC

	Custo de EE	Custo de serrim	Custo Total
Pellets 70S_30G	0,04 €/kg	0,05 €/kg	0,09 €/kg

A produção dos pellets “70S-30G” auferem um custo médio de produção de aproximadamente 0,09 €/kg, na instalação experimental usada, o que corresponde a uma capacidade de peletização de 60 kg/h e um gasto de 5,4 €/h, ou seja 950 €/mês.

Caso o trabalho desenvolvido seja implementado a nível industrial, e a empresa pretenda produzir o produto, é necessário a implementação de uma linha industrial para a produção dos pellets, paralelamente ao processo produtivo atualmente implementado.

5.1 EXEMPLO DE LINHA DE PRODUÇÃO

Após o pedido de orçamentos a empresas do setor de venda de equipamentos para uma linha de produção de pellets, selecionou-se como o equipamento mais adequado uma peletizadora da marca *Nova Pellet*, modelo *N-MIDI*, apresentado na Figura 5.1. Para a escolha deste equipamento ponderaram-se parâmetros como o custo e as funcionalidades do mesmo. A linha de peletização selecionada inclui um refinador, um silo de armazenamento, uma peletizadora e um sistema de embalagem de sacos.



Figura 5.1: Linha de produção de pellets: 1) sistema de peletização; 2) sistema de embalagem

O refinador, que se encontra ligado a uma tremonha através de um sem-fim, pelo qual é realizada a alimentação, é uma peça importante para a preparação da matéria-prima. Este é responsável pela trituração do material até à obtenção da granulometria desejada. Após passar a peneira, com o auxílio

de um ventilador que atua em sistema de subpressão, o material é enviado para um silo, com uma capacidade de armazenamento de 10 m³. Neste processo de ventilação é eliminada uma fração das poeiras e finos indesejáveis. Por fim, o material é enviado do silo para a peletizadora através de um sistema sem-fim.

A peletizadora possui uma capacidade de produção máxima 600 kg/h, dependendo do material a peletizar. Para o efeito, este equipamento é composto por uma matriz e dois rolos, com uma potência de 45 kW. A matéria-prima deve apresentar um teor de humidade entre os 8 e 14 %.

Para o sistema de embalagem do produto selecionou-se um sistema da marca Nova Pellet, e modelo N-PACK, que permite embalar diretamente os pellets após a produção em sacos de 15 kg. Este equipamento possui uma tela de vibração que permite a limpeza dos pellets, eliminando os finos, e um transportador inclinado que carrega um silo, com uma capacidade de armazenamento de 2 a 3 m³, onde o produto pode ser armazenado, e posteriormente, embalado em sacos, através da abertura de uma válvula pneumática. Este sistema também assegura a selagem dos sacos.

Na Tabela 5.3 apresenta-se uma breve descrição da potência e do custo de cada equipamento necessário ao funcionamento da linha de produção.

Tabela 5.3: Distinção da potência e do custo de cada equipamento

Equipamento	kW	€
Tremonha	2,2	9000
Refinador	40,5	22680
Silo	5,95	31800
Peletizadora	45	79200
Linha de embalar	3	26400
Total	96,65	169080

Esta linha de produção tem um valor aproximado 170 mil euros, a que acresce os custos da respetiva montagem.

Em seguida, é apresentado um cálculo sucinto do custo de produção de pellets constituídos por 70 % de serrim e 30 % de granulado de cortiça, a partir de 125 kg/h de resíduo disponível pela empresa “Nova Cortiça”. Para a produção desta formulação é necessária a aquisição de 292 kg/h de serrim, correspondentes aos 70 %, obtendo-se um total de 417 kg/h de matéria-prima.

Tendo em conta o custo do serrim, de 0,05 €/kg, pode-se calcular o custo de aquisição deste material, cujo valor corresponde a 14,6 €/h, através da equação 5.3:

$$Custo\ serrim \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] = Quantidade \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \times Custo \left[\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right] \quad (5.3)$$

Para o cálculo dos gastos de energia elétrica, estimou-se que a peletizadora trabalharia a 83 % da potência total da linha de produção. Este valor foi obtido tendo em conta que ao rendimento máximo seriam produzidos aproximadamente 500 kg/h de pellets, valor indicado pelo fabricante. Tendo em conta o custo de 0,1418 €/kW.h, calculou-se uma média de 11,4 €/h, para os gastos energéticos, através da equação 5.4:

$$Custo\ Energia\ Elétrica \left[\frac{\text{€}}{\text{h}} \right] = Quantidade \left[\frac{\text{kW.h}}{\text{h}} \right] \times Custo \left[\frac{\text{€}}{\text{kW.h}} \right] \quad (5.4)$$

O total destes da soma destes dois parâmetros corresponde a 26 €/h, como apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Custos de aquisição da matéria-prima e energéticos

	Quantidade	Custo	Custo total
Matéria-prima (serrim)	290 kg/h	0,05 €/kg	14,6 €/h
Energia Elétrica	80 kW/h	0,1418 €/kW.h	11,4 €/h
			26 €/h
Custo total			0,06 €/kg

Através da razão entre o custo total por hora e a massa total de pellets produzidos numa hora, que equivale a 417 kg, é possível obter-se um valor aproximado do custo do quilograma, que corresponde a 0,06 €/kg.

Ao fim de um ano de trabalho equivalente a 2080 h, correspondentes a 8 horas por dia, 5 dias por semana e 52 semanas por ano, é possível obter-se uma média de 866 667 kg (57 777 sacos de 15 kg), o que equivale a um gasto mínimo de 54 090 €/ano. Se o produto for vendido a 0,23 €/kg, ao fim de um ano de trabalho é possível obter um retorno aproximado de 199 333 €.

Se ao valor do custo médio deste produto no mercado, correspondente a 0,23 €/kg, se subtrair o valor de 0,06 €/kg, obtém-se uma margem de 0,17 €/kg, que irá incluir os custos de amortização do equipamento, bem como os custos de administração da empresa, entre outros, que não serão contabilizados nos cálculos deste trabalho.

Admitindo que o equipamento é adquirido sem custo de taxas de juros pode-se, de uma forma sucinta, calcular os custos de produção dos pellets incluindo a amortização do equipamento. Na Tabela 5.5 são apresentados esses custos para 5 e 10 anos de amortização.

Tabela 5.5: Custos de produção dos pellets com amortização do equipamento

	5 anos	10 anos
Custo €/ano	34 000	17 000
Custo €/h	16,4	8,2
Custo total (€/h)	42,4	34,2
(€/kg)	0,10	0,08

No caso de uma amortização a 5 anos, o custo de produção dos pellets durante esse período rondaria os 42,4 €/h, o equivalente a 0,10 €/kg, ao passo que em 10 anos corresponderia a 0,08 €/kg. Nestes custos estão incluídas apenas as despesas de compra da matéria-prima, de gastos energéticos e de amortização da compra da linha de produção.

6. FICHA DE PRODUTO

Para a comercialização dos pellets é importante a elaboração de uma ficha de produto, onde constem algumas informações importantes para o cliente, e de um rótulo para a embalagem. A ficha de produto deve ser elaborada a pensar nos clientes finais, com uma escrita perceptível e capaz de prender a atenção do consumidor ao produto.

A ficha de produto elaborada no âmbito do presente trabalho, para a formulação considerada com maior potencial de aplicação, 70 % serrim e 30 % de granulado, aborda os seguintes pontos:

- **Definição do produto:** breve e simples definição dos pellets, onde se menciona que este produto é um biocombustível sólido, ideal para o uso no setor doméstico e de serviços, em aquecimento ambiente, e no setor industrial, com necessidades térmicas ou produção de energia elétrica.
- **Composição do produto:** descrição detalhada sobre a composição dos pellets, nomeadamente sobre as matérias-primas usadas e a respetiva percentagem incorporada - 70 % serrim de madeira de pinho e 30% granulado de cortiça.
- **Vantagens:** é importante realçar as vantagens que este combustível tem face aos combustíveis fósseis, com realce para as questões económicas e ambientais que sensibilizam uma parte significativa dos clientes. Além disso também se destacam os benefícios dos pellets obtidos com granulado de cortiça face aos pellets tradicionais, nomeadamente o maior poder calorífico que detêm.
- **Características técnicas:** constituem um dos pontos mais importantes que não pode deixar de ser mencionado nesta ficha. Optou-se por indicar apenas o valor dos parâmetros mais importantes, do ponto de vista do utilizador, nomeadamente o teor de humidade, o teor de cinza e de finos, a densidade a granel, a durabilidade mecânica e o poder calorífico (PCI).
- **Manuseamento e armazenamento:** é relevante expor informação face aos cuidados a ter durante o manuseamento dos pellets, de modo a evitar a produção de finos, e durante o

armazenamento dos mesmos, o qual deverá ser assegurado num local seco de modo a evitar ganhos de humidade.

- **Recomendações de utilização:** é importante informar os clientes que os pellets devem ser empregues em equipamentos próprios para a utilização deste combustível, pois caso contrário o efeito esperado deste produto pode não ocorrer. O modo de utilização é aquele que o fabricante do equipamento indica. No entanto deve-se referir algumas recomendações de utilização como a ventilação do local, e o uso de máscara respiratória e óculos, principalmente em casos onde seja propícia a formação de poeiras. Esta situação será mais expectável que ocorra aquando da compra de pellets a granel.

- **Informações de segurança:** embora não sejam conhecidos riscos e perigos para a saúde humana, deve-se realçar algumas informações de segurança, nomeadamente, referir que caso haja inalação de grandes quantidades de pó se deve abandonar o local e ocupar uma zona com ventilação e ar fresco, e que em caso de contacto com olhos deve-se lavar com água abundante, para evitar irritação e vermelhidão.

- **Certificação:** neste ponto apenas se indica que este produto contém os parâmetros dentro dos padrões de certificação ENplus, uma vez que ainda não está formalizada a sua comercialização.

- **Outras informações:** aqui faz-se referencia à ecologia da embalagem, pois no caso dos pellets serem comercializados em sacos de 15 kg, é importante a reciclagem da embalagem, sendo que para tal é necessário que o utilizador a coloque no respetivo ecoponto amarelo, pois só assim se pode referir que este produto é ecologicamente amigo do ambiente.

No Anexo J pode-se visualizar um exemplar da ficha de produto elaborada para os pellets em questão.

6.1 RÓTULO DA EMBALAGEM

Como praticado pela maioria dos fabricantes, os pellets desenvolvidos com granulado de cortiça e serrim podem ser expostos para venda em sacos de 15 kg, em big-bags de 1000 kg e/ou a granel. No caso dos sacos de 15 kg, a rotulagem da embalagem é um aspeto importante, que requer alguns cuidados de imagem e de seleção de informação a colocar.

Na Figura 6.1 encontra-se um exemplo de rótulo de um saco de pellets do fabricante “Nova lenha” do grupo JAF.



Figura 6.1: exemplo de rotulagem de um saco de pellets da "Nova Lenha "

Tal como noutros rótulos encontrados no mercado existem aspetos importantes que não podem faltar na embalagem, nomeadamente o nome do produto e do respetivo fabricante, as principais características técnicas do produto e a quantidade do conteúdo do saco.

Na frente da embalagem deve, acima de tudo, constar a designação do produto, com referência à sua composição, dando especial ênfase ao granulado de cortiça e às suas vantagens, podendo ser acompanhada de uma frase apelativa ao consumo. Também nesta zona da embalagem, e/ou na parte lateral, devem ser inseridos os dados da empresa fabricante do produto, nomeadamente o nome,

localização e contactos, assim como a simbologia relativa à reciclagem e à certificação, exposta na Figura 6.2.



Figura 6.2: Simbologia presente nas embalagens dos pellets (reciclagem e certificação)

Na parte de trás do saco devem constar as principais características técnicas dos pellets, as mesmas que constam na ficha de produto, nas unidades S.I. e nas principais línguas europeias. Aqui também se pode aferir o diâmetro dos pellets, expresso em milímetros, e o peso do conteúdo da embalagem.

7. CONCLUSÃO

O consumo de biomassa tem crescido nos últimos anos, principalmente no setor de produção de energia elétrica e na climatização do meio ambiente, sendo que neste a biomassa é o recurso mais consumido.

Os pellets surgem como forma de rentabilizar este recurso, visto que na sua forma natural, a biomassa não é prática nem rentável, no que se refere essencialmente ao seu transporte, armazenamento e modo de conversão em energia, devido ao seu grande volume e baixa densidade aparente. O mercado dos pellets é caracterizado essencialmente por pellets produzidos a partir de serrim de madeira, com relevância para o de pinho, essencialmente proveniente de serrações ou empresas da indústria de transformação de madeira. Estes primam pelas boas características a nível de poder calorífico, que ronda os 18 MJ/kg, teores de humidade menor que 10 %, e percentagens de cinza inferiores a 3 %. Estes parâmetros encontram-se dentro da gama de valores expressos na norma que regulamenta o setor (EN 14961-2), permitindo a sua certificação de qualidade ENplus.

Com este estudo comprovou-se que é possível produzir pellets a partir de granulado negro de cortiça, exibindo para algumas formulações testadas características superiores face aos tradicionais pellets de serrim. Ao nível da peletização, estes apresentam maior facilidade de agregação da matéria, ao contrário dos de serrim que perante uma pequena variação do teor de humidade apresentam maiores problemas de aglomeração. Adicionalmente, os pellets produzidos a partir de granulado de cortiça apresentam valores de poder calorífico superiores, bem como de durabilidade mecânica, associado a uma conseqüente quantidade de finos inferior. Quanto à combustão, tanto estes pellets como os de serrim apresentam um bom rendimento, na ordem dos 90 %.

Em contrapartida, estes pellets induzem maiores quantidades de cinza, embora menos suscetíveis de formar aglomerados, devido ao elevado ponto de fusibilidade que esta matéria apresenta. Outra grande desvantagem deste tipo de pellet prende-se com o elevado teor de alguns poluentes que geram a nível das emissões gasosas, nomeadamente do monóxido de carbono e óxidos de azoto, significativamente superiores aos registados na combustão dos pellets de serrim.

Tendo em conta os parâmetros físicos e químicos dos pellets e os valores limite permitidos na legislação é possível agrupar as diferentes formulações pelas três classes da certificação ENplus. Desta

forma, os pellets “GC” e “30S-70G” podem ser agrupados na classe EN B, devido ao elevado teor de cinza de ambos, que se situa entre 1,5 % e 3 %, e de enxofre nos pellets “GC”, que se encontra acima de 0,03 %, valor limite da ENplus A2. Adicionalmente, os pellets “70S-30G” só podem ser inseridos na classe ENplus A2, também devido ao teor de cinza acima dos 0,7 %, sendo que pelo valor de todos os outros parâmetros podia ser agrupado na classe ENplus A1.

Quanto às emissões de poluentes gasosos, os pellets “GC” e “30S-70G” ostentam concentrações de monóxido de carbono (CO) acima dos 2000 mg/Nm³, enquanto os pellets “70S-30G” possuem um valor aproximado do limite de 500 mg/Nm³, permitido na legislação. Em relação aos restantes poluentes, todos os pellets cumprem os limites legislados.

Assim sendo, os pellets “70S-30G” são aqueles que para além de cumprirem os requisitos técnicos descritos na certificação ENplus A2 também são os que possuem melhor qualidade em relação aos poluentes de emissões gasosas. Estes apresentam um poder calorífico na ordem dos 17,8 MJ/kg e um teor de cinza de 0,86%. As emissões de monóxido de carbono atingem os 500 mg/Nm³, valor que pode ser controlado através da regulação do equipamento de combustão.

Economicamente, os pellets “70S-30G” apresentam um custo de produção na ordem dos 0,09 €/kg, onde cerca de 4 cêntimos são gastos em energia elétrica e os restantes na matéria-prima necessária a adquirir, ou seja, no serrim de madeira. A instalação de uma linha de produção, com silo de armazenamento, sistema de alimentação, peletizadora e sistema de embalagem, poderá ter um custo acima de 170 mil euros.

Atualmente, o resíduo produzido na empresa, durante o processo de produção de discos para rolhas de cortiça, tem como destino a exportação irregular, com consequência de acumulação do subproduto. Assim sendo a implementação de uma linha de produção de pellets na empresa permitirá gerir autónoma e internamente os seus resíduos, podendo eventualmente receber granulado da mesma tipologia de outras empresas da indústria corticeira. Paralelamente, com os pellets produzidos, para além da comercialização dos mesmos, a empresa poderá também satisfazer eventuais necessidades internas de calor, no seu ciclo produtivo.

8. TRABALHOS FUTUROS

A elaboração desta dissertação trouxe algumas conclusões mas também a deteção de alguns aspetos que importa analisar e aprofundar em trabalhos futuros.

Em relação à situação atual da biomassa, era interessante, e importante, a realização de um estudo nacional atual mais pormenorizado sobre a quantificação da produção e do potencial anual dos vários tipos de resíduo de biomassa. Por outro lado, ainda dentro deste enquadramento considera-se igualmente relevante o estudo de toda a gestão/logística que envolve a recolha desta fonte de energia, a nível nacional, com identificação de perspetivas futuras de melhorias no sentido de incrementar o desenvolvimento deste setor.

O equipamento usado nas operações de produção dos pellets pode ter interesse para desenvolvimento futuro. A preparação da matéria-prima usada para a produção de pellets e posterior alimentação na peletizadora é realizada manualmente. Neste sentido a elaboração de um layout para um sistema de alimentação automático, capaz de introduzir controladamente a quantidade de matéria a peletizar e a massa de água necessária, bem como um sistema de homogeneização da mistura, seria uma boa aposta para um futuro trabalho.

Na caldeira existem algumas melhorias que podem ser implementadas, principalmente ao nível do sistema de alimentação, uma vez que o alimentador em causa interfere negativamente no controlo da combustão. Por outro lado também pode ser viável a elaboração de um estudo com vista a efetuar melhorias no funcionamento geral da caldeira, de modo a ser possível assegurar uma combustão mais controlada e eficiente, nomeadamente ao nível da câmara de combustão, da grelha ou do controlo das entradas e saídas de ar.

Por fim, o estudo face aos pellets a partir de granulado de cortiça também pode ser continuado. Em vez da utilização de serrim para a incorporação durante a produção dos pellets, podem ser estudados outros tipos de resíduos de biomassa, de forma a se poder obter um produto final com características superiores às obtidas neste estudo, em que se considerou a formulação mais adequada a que corresponde a 70 % de serrim e 30 % de granulado de cortiça.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOARES Thelma, CARNEIRO Angélica, GONÇALVES Elzimar, LELLES José; *Uso da biomassa florestal na geração de energia*, Universidade Federal de Viçosa, Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Agosto de 2006
- [2] PNAER - Plano nacional de acção para as energias renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE, República portuguesa, 2009
- [3] Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E., *Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method*, National Technical University of Athens, Greece, September 2000
- [4] ENES Patrícia, DANS DEL VALLE Francisco; *Promoção do uso da Biomassa Florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa*, Enersilva, 2007
- [5] Decreto-lei n.º 117/2010 de 25 de Outubro, *Diário da República* 1ª série n.º 207, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa.
- [6] Decreto-lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro de 2006, *Diário da República*, 1ª série n.º 171. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa
- [7] DIAS João, *Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, 2002
- [8] SEVERO Elias, CALONEGO Fred, SANSÍGOLO Cláudio, *Composição Química da Madeira de Eucalyptus citriodora em Função das Direcções Estruturais*, Silva Lusitana 14 (1): 113 - 126, EFN, Lisboa 2006
- [9] B.M. Jenkins, L.L. Baxter, T.R. Miles Jr., T.R. Miles, Combustion properties of biomass, Fuel Processing Technology 54 17–46, 1998
- [10] ROSAS Cátia, *Aproveitamento de biomassa agrícola em Portugal – Situação de referência*, Departamento Técnico da CONFAGRI
- [11] MCKENDRY Peter, *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*, Bioresource Technology, July 2001
- [12] *Bioenergia - manual sobre tecnologias, projecto e instalação*, 2004
- [13] Fórum- *Portal das Energias Renováveis*, URL: <http://www.portal-energia.com/category/energias/energabiomassa/>, acessado em Junho 2013

- [14] AZEVEDO T., ARAÚJO J., COELHO P., e outros, *Projeto NewBiodiesel- Desenvolvimento de um equipamento de baixo custo para produção de biodiesel em pequena e média escala*, CVR – Valorização de resíduos, Publicação semestral, n° 12, Novembro de 2008
- [15] TEIXEIRA José, *Bioetanol – Desenvolvimento de processos fermentativos para a produção de bioetanol*, CVR – Valorização de resíduos, Publicação semestral, n° 13, Junho de 2009
- [16] TEIXEIRA José Carlos, FERREIRA Manuel Eduardo, e outros, *Caracterização de resíduos e de produtos bioenergéticos*, CVR – Valorização de resíduos, Publicação semestral, n° 14, Dezembro de 2009
- [17] Tonelada de Lenha, <http://quintadosmoinhos.wordpress.com/2006/12/15/tonelada-de-lenha/>, acessido em Junho de 2013
- [18] Martos & Companhia, Industria e comércio de madeiras e derivados, URL: <http://www.martos.pt/?p=FF3&pc=FF7&l=pt>, acessido em Junho de 2013
- [19] Pellets & Biofuels, URL: <http://www.greatbearenergy.com/pellets.html>, acessido em Junho de 2013
- [20] Briquetes, URL:<http://www.briquetes.net/>, acessido em Junho de 2013
- [21] MCKENDRY Peter, *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*, Bioresource Technology , July 2001
- [22] Balanço Energético 2011, DGEG, <http://www.dgeg.pt/>, consultado em Janeiro de 2013
- [23] MAGALHÃES M^a Carmo, CAMEIRA M^a Cristina, PATO Rosinda, SANTOS Fernando, BANDEIRA Jorge, *Biomassa florestal residual: efeitos da sua remoção na qualidade do solo*, Escola Superior Agrária de Coimbra, Revista de Ciências Agrárias, vol. XXXIV, 2: pág. 206, 2011
- [24] *Centrais Eléctricas de Biomassa - Uma Opção Justificável?* CELPA & AAIMMP, Lisboa, 2004 (pode ser consultado em www.celipa.pt)
- [25] SILVEIRA Péricles, KOEHLER Henrique, SANQUETTA Carlos, ARCE Julio, *O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais*, UFPR, Brasil, 2007
- [26] PEDRO Nuno, *Novos sistemas de gestão da biomassa florestal*, Floresta Viva – Património e Futuro, ISSN 1647-2195. pág. 111-120, 2008 (pode ser consultado em <http://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/333>)
- [27] Decreto-Lei n°124/2006 de 28 de Junho, Diário da República, I Série - A n° 123, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas

- [28] 6º Inventário Florestal Nacional - *Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa. Fevereiro 2013
- [29] *Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas* (Ponto da situação), Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2005
- [30] PINTO João, *Características da cinza de combustão de biomassa em leito fluidizado*, Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, 2011
- [31] FERREIRA Marta, *Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança*, Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental, Instituto Politécnico de Bragança, 2012
- [32] WAKELIN Tony, BEAUCHEMI Paul, TAMPIER Martin, *Emissions from Wood-Fired Combustion Equipment*, Envirochem Services INC, 2008
- [33] HORTA Carmo, LUPI Samuel, ANJOS Ofélia, ALMEIDA José, *Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal*, Escola Superior Agrária, Castelo Branco, 2010
- [34] FERNANDES U., COSTA M., *Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010
- [35] *Culturas Energéticas Florestais – Primeira abordagem do levantamento da situação actual*, Direcção Nacional das Fileiras Florestais, Junho, 2010
- [36] Decreto-Lei nº 5/2011 de 10 de Janeiro de 2011, *Diário da República*, 1ª Série nº 6.
- [37] Centrais Termelétricas, EDP, http://www.nossaenergia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=te&map_type=te, consultado em Janeiro de 2013
- [38] GIL Luís, *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção - Cortiça*, capítulo 13, pág. 663-715, 2012 (pode ser consultado em <http://repositorio.Ineg.pt/handle/10400.9/1582>)
- [39] *Instruções para o trabalho de campo do inventário florestal nacional - IFN 2005/2006*, Direcção de Unidade de Gestão Florestal, Autoridade Florestal Nacional e Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2009 (pode ser consultado em http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/MCAMPO_IFN_Final.pdf)

- [40] FONSECA Teresa, PARRESOL Bernard, *A NEW model for cork weight estimation in Northern Portugal with methodology for construction of confidence intervals*, Forest Ecology and Management 152, pág. 131-139, 2001
- [41] PINTOR Ariana, et al, *Use of cork powder and granules for the adsorption of pollutants: A review*, Water research 46, pág.3152- 3166, 2012
- [42] Decreto-Lei nº 11/97, de 14 de Janeiro, *Diário da República*— I Série-A nº11, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- [43] MATA Pedro, *Caracterização de compósitos de cerâmica- cortiça*, Grau de Metre em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2008, pág.17
- [44] *Código Internacional das Práticas Rolheiras*, versão 6.03, EUROPEAN CORK FEDERATION, Celiege
- [45] APCOR- Associação Portuguesa da Cortiça, *A produção suberícola*, URL: <http://www.apcor.pt/artigo.php?art=289>, acedido em Junho de 2013
- [46] APCOR- Associação Portuguesa da Cortiça, *Comercialização de Produtos Portugueses de Cortiça* , URL: <http://www.apcor.pt/artigo/292.htm>, acedido em Junho de 2013
- [47] APCOR- Associação Portuguesa da Cortiça, *Indústria Transformadora* URL: <http://www.apcor.pt/artigo/290.htm>, acedido em Junho de 2013
- [48] MESTRE Ana, CAMPELO M^a da Graça, SILVA Marta, VELHINHO Ricardo, *Dossier info cortiça- Setor e materiais de cortiça*, SUSDESIGN, 2006
- [49] APCOR- Associação Portuguesa da Cortiça, *Propriedades da cortiça*, URL: <http://apcor.pt/artigo/propriedades-cortica.htm>, acedido em Junho de 2013
- [50] Amorim Isolamentos, S.A., *Natureza e tecnologia a solução ideal*, Grupo Amorim, (pode ser consultado em <http://www.apcmc.pt/apcmc/2012/SeminarioTektonica2012/img/Amorim.pdf>)
- [51] GIL Luís, *As aplicações de cortiça*, INETI (pode ser consultado em http://www.winresources.pt/_docs/aplicacoes_cortica.pdf)
- [52] Mercado vinícola – Rolhas, URL: <http://www.jpscorkgroup.com/cortica/aplicacoes>, acedido em Junho de 2013
- [53] Piso e parede - Laminados, URL: <http://www.corkdobrasil.com.br/produtos.asp?produto=mc11>, acedido em Junho de 2013
- [54] Construção Civil e Automóveis, URL: <http://www.verportugal.net/Aveiro/Santa-Maria-Da-Feira/Madeln/Cortica/>, acedido em Junho de 3013

- [55] Produtos de cortiça de São Brás no catálogo do MoMA, URL: <http://gaudencionabos.blogspot.pt/2010/08/arte-produtos-de-cortica-de-sao-bras-no.html>,
acedido em Junho de 2013
- [56] Relatório de sustentabilidade – 2011, CORTICEIRA AMORIM, S.G.P.S., S.A.
- [57] GIL Luís, *Cork powder waste: an overview*, INETI, Barcarena, 1997
- [58] GIL Luís, *A cortiça como material de construção-Manual Técnico*, APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, Santa Maria de Lamas
- [59] Relatório recebido pela empresa Grupo Amorim – Nova Cortiça
- [60] NovaCortiça - Discos de Cortiça – 26 x 6 mm, URL: <http://www.novacortica.pt/produto.php?idProduct=2>
- [61] GARCIA Dorival, CARASCHI José, VENTORIM Gustavo, *Caracterização energética de pellets de madeira*, Universidade Estadual Paulista, Brasil
- [62] FERREIRA M., VILARINHO M., CASTRO F., PINTO A., FERREIRA P., TEIXEIRA J., *Incorporation of industrial wastes in wood pellets*, Department of Mechanical Engineering, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
- [63] LOUÇÃO I., Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de peletes, Grau de Mestre em Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, 2008
- [64] PINTO A., FERREIRA M., VILARINHO M., TEIXEIRA J., CASTRO F., *Produção de CDR a partir de resíduos industriais e de biomassa*, CVR- Valorização de Resíduos, publicação mensal nº 12, Novembro 2008
- [65] NIELSEN Niels, et al, *Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets*, Wood and Fiber Science 41(4) pp. 414–425, Society of Wood Science and Technology, 2009
- [66] Norma EN 14961:2010 – Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use, 2010
- [67] ANPEB- Associação Nacional de pellets Energéticas de Biomassa, URL: <http://www.anpeb.pt/#!home/mainPage>, acedido em Junho de 2013
- [68] MENDES Cláudia, *Normas e qualidade dos biocombustíveis sólidos*, Workshop - Biocombustíveis Sólidos – Produção, Qualidade e Utilização no Mercado de Calor, Centro da Biomassa para a Energia

- [69] European Pellet Council - *Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes*, (pode ser consultado em <http://www.ENplus-pellets.eu/wp-content/uploads/2012/01/ENplus-Handbook-2.0.pdf>)
- [70] ALAKANGAS E., *New european pellets standards* – European pellets conference, 2010, (pode ser consultado em http://www.biointernational.ru/sites/default/files/Alakangas_Pellet_standard_EN14961-1.pdf)
- [71] WERKELIN Johan, *Ash-forming elements and their chemical forms in woody biomass fuels*, Finlândia, 2008
- [72] FILBAKK Tore, JIRJIS Raida, NURMI Juha, HOIBO Olav, *The effect of bark content on quality parameters of Scots pine pellets*, Biomass and bioenergy 35, pág. 3342 a 3349, 2011
- [73] ABREU Pedro, *Investigação Experimental da Taxa de Formação de Depósitos na Co-Combustão de Carvão com Biomassa*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, 2009
- [74] BIEDERMANN Friedrich, OBERNBERGER Ingwald, *Ash-related Problems during biomass combustion and possibilities for a sustainable ash utilization*, Austria
- [75] Norma CEN/TS 15370-1: Solid biofuels – method for the determination of ash melting behavior – Part1: Characteristic temperatures method, 2006
- [76] BioNorm II - *Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards- Report on ash melting behavior*, 2007
- [77] Norma ISO 540: 1995 - Solid mineral fuels – Determination of fusibility of ash – High-temperature tube method
- [78] Deduções IRS 2013 - Despesas Equipamentos de Energias Renováveis, URL: <http://declaracoesirs.blogspot.pt/p/deducoes-irs.html>, acedido em Junho de 2013
- [79] IVA dos equipamentos para renováveis, URL: <http://greensavers.sapo.pt/2011/12/29/portugal-iva-dos-equipamentos-para-renovaveis-sobe-para-23/>, acedido em Junho de 2013
- [80] Vimasol – Simulador energético, URL: <http://pellets.vimasol.pt/s/72>, acedido em Maio, 2013
- [81] SÁ Artur, *Caracterização da recolha de matéria-prima para a produção de pellets*, Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2009

- [82] AUDIGANE Nicolas, *European Pellet Report*, PelCert Project, 2012 (pode ser consultado em www.ENplus-pellets.eu/wp-content/uploads/2012/04/Europe_pellet_report_April2012.pdf)
- [83] I. MEDIAVILLA, M.J. FERNÁNDEZ, L.S. ESTEBAN, *Optimization of pelletisation and combustion in a boiler of 17.5 kW for vine shoots and industrial cork residue*, CEDER, Spain
- [84] Fórum – Nova Energia, URL: <http://www.novaenergia.net/forum/viewtopic.php?f=44&t=15189>, consultado em Junho 2013
- [85] Manual de utilização da peletizadora, *Oliotechnology: mode d'emploi des machines GR150E*
- [86] Portaria n° 675/2009 e n° 677/2009 de 23 de Junho, Diário da República, 1ª série n° 119, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional da Economia e da Inovação e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- [87] Portaria n° 80/2006 de 23 de Janeiro, Diário da República, I Série – B - n° 16, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional da Economia e da Inovação e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas
- [88] ALAKANGAS Eija, *Properties of wood fuels used in finland*, Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, 2005
- [89] EDP – Tarifas 2013, URL: http://www.edpsu.pt/pt/EDP%20Docs/Tarifario_2013T1_BTN.pdf

ANEXOS

Anexo A – Preços atuais dos pellets de madeira

Fornecedor	Preço (€/15kg)	Tipo de venda	Referência dos preços
Briquete Raro	3,46	Em hipermercado	Preço consultado no Hipermercado (Viana do Castelo) em Março de 2013
Pinewells (produto certificado)	3,59	Em hipermercado	Preço consultado no Hipermercado (Viana do Castelo) em Março de 2013
Novalenha	3,25	Em hipermercado	Preço consultado no Hipermercado em Março de 2013
Soferragens	3,15	Online	Preço consultado em http://www.soferragens.pt/index.php/promocoes-materiais-de-construcao/97-venda-de-pellets , em Março de 2013
Pelletslar	4	Online	Preço consultado em http://www.pelletslar.com/?pID=49&seIID=49%7C54 , em Março de 2013
Biofogo (certificado)	3,51	Online ou nas instalações	Preço consultado em http://biofogo.net/index.php?route=product/category&path=63_65 , em Março de 2013
Biofogo (certificado)	3,69	Online ou nas instalações	Preço consultado em http://biofogo.net/index.php?route=product/category&path=63_65 , em Outubro de 2013
LojaClimatiza	3,75	Online	Preço consultado em http://www.lojaclimatiza.com/index.php?route=product/category&path=102 , em Março de 2013
CasaLavrador	3,3 3,4(novembro)	Online ou nas instalações	Preço consultado em http://www.casa-do-lavrador.com/products/saco-pellets-15kg-a-partir-de-2-90EUR-saco/ , em Março de 2013

Anexo B – Lista de empresas nacionais produtoras de pellets

Empresa	Localidade	Capacidade (ton/ano)
Enermontijo	Lisboa	50 000 – 100 000
Pellets Power 2	Alcácer do Sal	>100 000
Glowood	Cercal do Alentejo	50 000 – 100 000
CMC Biomassa	Alcobaça	5 000 – 10 000
Martos & Ca	Leiria	10 000 – 50 000
Enerpellets	Pedrógão Grande	>100 000
Palser-Bioenergia e Paletes, Lda	Sertã	50 000 – 60 000
Nova Lenha	Oleiros	50 000 – 100 000
Centroliva	Vila Velha de Ródão	50 000 – 100 000
Pinewells, Lda	Arganil	>100 000
Pellets Power	Mortágua	>100 000
Raro	Porto	10 000 – 50 000
Vimasol Pellets	Celorico de Basto	5 000 – 10 000
Junglepower	Lousada	50 000 – 100 000
Tecpellets	Póvoa do Varzim	>100 000
Biomad	Guimarães	< 5 000
Castro e Filhos	Guimarães	< 5 000
Thermowall	Braga	< 5 000
XPZ	Esposende	< 5 000
Fourpellets	Barcelos	< 5 000
Stellep	Chaves	10 000 – 50 000
Melpellets	Melgaço	< 5 000
Pelletsfirst	Alcobaça	>100 000

Anexo C- Preços atuais de pellets de cortiça

Fornecedor	Preço (€/15 kg)	Referência dos preços
LojaClimatiza	3,3	Consultado em http://www.lojaclimatiza.com/index.php?route=product/product&path=102&product_id=2042 , em Junho de 2013
Biofogo	4,43	Consultado em http://biofogo.net/index.php?route=product/product&path=63_65&product_id=51 , em Fevereiro de 2013
MartinsFerreira	2,7	Consultado em http://www.martinsferreira.pt/tabelas/pellets.pdf em Junho de 2013
Thermowall	2,40	Consultado em http://www.thermowall.pt/documentos/Documentos%20PT/REVENDA%20E%20GRANDES%20CONSUMOS.pdf em Junho de 2013

Anexo D - Teor de humidade

M1 = Massa do Gobelé

M2 = Massa do gobelé + massa amostra húmida

M3 = Massa do gobelé + massa amostra seca

Massa Original = M2-M1

Massa Seca = M3 – M1

Água Evaporada = Massa Original - Massa Seca

Perda 105°C = (Água Evaporada/ Massa Original) x 100

Amostra	M1	M2	M3	M. Original	M. Seca	Á. Evaporada	Perda 105°C
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
100% Serrim (H = 9,32 %)							
1	71,32	94,09	91,96	22,77	20,64	2,13	9,35
2	90,64	114,91	112,66	24,27	22,02	2,25	9,27
3	71,37	91,84	89,94	20,47	18,57	1,9	9,28
4	31,5	42,59	41,55	11,09	10,05	1,04	9,38
5	31,19	42,45	41,4	11,26	10,21	1,05	9,33
6	32,84	43,82	42,81	10,98	9,97	1,01	9,20
7	71,83	94,02	91,95	22,19	20,12	2,07	9,33
8	71,4	95,83	93,54	24,43	22,14	2,29	9,37
9	88,02	108,62	106,69	20,6	18,67	1,93	9,37
10	76,26	98,07	96,04	21,81	19,78	2,03	9,31
100 % Granulado (H= 8,52%)							
1	71,32	89,65	88,09	18,33	16,77	1,56	8,51
2	90,65	109,65	108,05	19	17,4	1,6	8,42
3	71,37	92,89	91,06	21,52	19,69	1,83	8,50
4	31,5	45,08	43,92	13,58	12,42	1,16	8,54
5	31,2	42,35	41,4	11,15	10,2	0,95	8,52

6	32,85	44,74	43,71	11,89	10,86	1,03	8,66
7	71,83	95,42	93,41	23,59	21,58	2,01	8,52
8	71,41	91	89,33	19,59	17,92	1,67	8,52
9	88,03	105,57	104,09	17,54	16,06	1,48	8,44
10	76,27	96,6	94,86	20,33	18,59	1,74	8,56
30% Granulado e 70% Serrim (H= 9,03%)							
1	71,33	88,82	87,24	17,49	15,91	1,58	9,03
2	90,65	110,44	108,63	19,79	17,98	1,81	9,15
3	71,38	92,18	90,31	20,8	18,93	1,87	8,99
4	31,5	40,6	39,79	9,1	8,29	0,81	8,90
5	31,2	39,86	39,07	8,66	7,87	0,79	9,12
6	32,84	44,18	43,14	11,34	10,3	1,04	9,17
7	71,83	92,12	90,26	20,29	18,43	1,86	9,17
8	71,41	92,93	91	21,52	19,59	1,93	8,97
9	88,03	113,95	111,62	25,92	23,59	2,33	8,99
10	76,27	97,05	95,22	20,78	18,95	1,83	8,81
70% Granulado e 30% Serrim (H= 7,27%)							
1	71,32	97,56	95,62	26,24	24,3	1,94	7,39
2	90,64	117,04	115,15	26,4	24,51	1,89	7,16
3	71,37	95,9	94,14	24,53	22,77	1,76	7,17
4	31,51	46,05	44,98	14,54	13,47	1,07	7,36
5	31,19	47,08	45,9	15,89	14,71	1,18	7,43
6	32,85	45,67	44,73	12,82	11,88	0,94	7,33
7	71,82	102,89	100,62	31,07	28,8	2,27	7,31
8	71,41	99,28	97,27	27,87	25,86	2,01	7,21
9	88,03	111,7	109,99	23,67	21,96	1,71	7,22
10	76,27	96,89	95,42	20,62	19,15	1,47	7,13

Anexo E - Teor de cinza

M1 = Massa do Cadinho

M2 = Massa do Cadinho + massa amostra original

M3 = Massa do gobelé + massa amostra calcinada

Massa amostra original = M2-M1

Massa amostra seca = M3 – M1

Água Evaporada = Massa Original - Massa calcinada

Perda = (Água Evaporada/ Massa Original) x 100

Cinzas = 100 - Perda

	M1	M2	M3	M. Original	M. Seca	Água Evaporada	Perda	Cinzas
Amostra	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
100% Serrim (C = 0,77 %)								
1	32,694	35,2281	32,7121	2,5341	0,0181	2,516	99,29	0,71
2	32,5216	35,1863	32,5403	2,6647	0,0187	2,646	99,30	0,70
3	32,1936	34,3294	32,2091	2,1358	0,0155	2,1203	99,27	0,73
4	32,3862	34,7523	32,4042	2,3661	0,018	2,3481	99,24	0,76
5	33,746	36,2363	33,766	2,4903	0,02	2,4703	99,20	0,80
6	33,815	35,7998	33,8294	1,9848	0,0144	1,9704	99,27	0,73
7	66,9004	71,4571	66,9407	4,5567	0,0403	4,5164	99,12	0,88
8	62,516	66,9152	62,5501	4,3992	0,0341	4,3651	99,22	0,78
9	27,2604	29,1849	27,2756	1,9245	0,0152	1,9093	99,21	0,79
10	42,9318	46,3976	42,961	3,4658	0,0292	3,4366	99,16	0,84
100 % Granulado (C= 1,96 %)								
1	32,6926	35,0681	32,7398	2,3755	0,0472	2,3283	98,01	1,99
2	32,5206	35,1814	32,5728	2,6608	0,0522	2,6086	98,04	1,96
3	32,1934	34,7549	32,2447	2,5615	0,0513	2,5102	98,00	2,00
4	32,3854	34,6163	32,4286	2,2309	0,0432	2,1877	98,06	1,94

5	33,7455	35,6174	33,7816	1,8719	0,0361	1,8358	98,07	1,93
6	33,8147	35,8372	33,8544	2,0225	0,0397	1,9828	98,04	1,96
7	66,8952	70,8657	66,9742	3,9705	0,079	3,8915	98,01	1,99
8	62,5126	67,1231	62,6016	4,6105	0,089	4,5215	98,07	1,93
9	27,2606	28,9479	27,2936	1,6873	0,033	1,6543	98,04	1,96
10	42,932	45,9068	42,9913	2,9748	0,0593	2,9155	98,01	1,99

30% Granulado e 70% Serrim (C= 0,87%)

1	32,6953	35,1056	32,7361	2,4103	0,0408	2,3695	98,31	1,69
2	32,524	34,7373	32,5599	2,2133	0,0359	2,1774	98,38	1,62
3	32,196	34,1284	32,2276	1,9324	0,0316	1,9008	98,36	1,64
4	32,3883	34,9911	32,4325	2,6028	0,0442	2,5586	98,30	1,70
5	33,7482	35,9974	33,7847	2,2492	0,0365	2,2127	98,38	1,62
6	33,8173	36,075	33,8549	2,2577	0,0376	2,2201	98,33	1,67
7	66,9004	70,7762	66,9643	3,8758	0,0639	3,8119	98,35	1,65
8	62,4958	66,7859	62,5657	4,2901	0,0699	4,2202	98,37	1,63
9	27,2617	28,7631	27,2867	1,5014	0,025	1,4764	98,33	1,67
10	42,9348	45,6691	42,9789	2,7343	0,0441	2,6902	98,39	1,61

70% Granulado e 30% Serrim (C= 1,96 %)

1	32,6975	34,2377	32,71	1,5402	0,0125	1,5277	99,19	0,81
2	32,5279	34,2774	32,5413	1,7495	0,0134	1,7361	99,23	0,77
3	32,1983	34,1371	32,2149	1,9388	0,0166	1,9222	99,14	0,86
4	32,3905	34,3496	32,4065	1,9591	0,016	1,9431	99,18	0,82
5	33,7512	35,6654	33,7685	1,9142	0,0173	1,8969	99,10	0,90
6	33,8201	35,6261	33,839	1,806	0,0189	1,7871	98,95	1,05
7	66,9007	70,5019	66,9355	3,6012	0,0348	3,5664	99,03	0,97
8	62,279	66,0621	62,3115	3,7831	0,0325	3,7506	99,14	0,86
9	27,2642	28,7182	27,2765	1,454	0,0123	1,4417	99,15	0,85
10	42,9395	45,382	42,9604	2,4425	0,0209	2,4216	99,14	0,86

Anexo F - Massa volúmica aparente

$$\text{Massa Volúmica Aparente} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{massa (kg)}}{\text{volume (m}^3\text{)}}$$

	Massa (g)	Volume (cm³)	Massa Volúmica Aparente (kg/m³)	Massa Volúmica Aparente Média (kg/m³)
	326,14	500	652	
100 % Serrim	329,27	500	652	651
	160,48	250	642	
	300,58	500	601	
100 % Granulado	299,38	500	599	602
	124,46	205	607	
	305	500	610	
70 % Serrim + 30 % Granulado	300	500	600	603
	150	250	600	
	309,45	500	619	
30 % Serrim + 70 % Granulado	303,38	500	608	611,22
	152	250	608	

Anexo G – Durabilidade mecânica

$$DU (\%) = \frac{m_A}{m_E} \times 100$$

Onde,

m_A (g) corresponde à massa da amostra peneirada após sujeita à rotação;

m_E (g) corresponde à massa da amostra peneirada antes de ser submetida à rotação.

	MA (g)	ME (g)	Durabilidade mecânica (%)	Durabilidade mecânica média (%)	Repetibilidade (%)
100 % Serrim	500,6	467,58	93,40	93,7	0,53
	500,05	469,72	93,93		
100 % Granulado	500,18	471,77	94,32	94,2	0,26
	500,29	470,58	94,06		
70 % Serrim + 30 % Granulado	500,01	480,85	96,17	96,2	#DIV/0!
30 % Serrim + 70 % Granulado	500,08	467,16	93,42	93,4	0,06
	500,52	467,86	93,47		

Anexo H - Teor de finos

$$\text{Teor de finos} = \frac{\text{massa amostra} - \text{massa amostra retida}}{\text{massa amostra}} \times 100$$

	Massa amostra (g)	Massa amostra retida (g)	Teor de Finos (%)	Teor Médio de Finos (%)
	114,99	113,99	0,87	
100 % Serrim	125,67	124,93	0,59	0,61
	93,64	93,3	0,36	
	124,24	124,1	0,11	
100 % Granulado	93,95	93,76	0,20	0,15
	135,16	134,96	0,15	
	109,71	108,98	0,67	
70 % Serrim + 30 % Granulado	124,62	124,1	0,42	0,32
	116,52	116,14	0,33	
	97,27	96,95	0,33	
30 % Serrim + 70 % Granulado	109,14	108,91	0,21	0,24
	88,01	87,85	0,18	

Anexo I – Parâmetros utilizados durante os ensaios de combustão

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Data de amostragem	09-04-2013	18-04-2013	30-05-2013	26-06-2013
Período de amostragem (início/fim) (min)	10.09/10.39	10.56/11.21	15.19/15.40	15.19/15.40
Secção	Circular	Circular	Circular	Circular
Diâmetro (m)/ área (m2)	0,15/0,02	0,15/0,02	0,15/0,02	0,15/0,02
Número de Pontos do plano de amostragem	1	1	1	1
Altura*(m)	10	10	10	10
P. Atmosférica (kPa)	98,50	99,60	99,40	99,40
T^a ambiente (°K)	292	296	297	307
T^a exaustão (°K)	333	306,2	311,2	317,2
P. absoluta exaustão (kPa)	98,6	99,82	99,51	99,54
O₂(%)	9,4	14,7	13,4	13,3
CO₂* (%)	6,56	3,56	4,30	4,36
N₂ * (%)	84	81,7	82,3	82,3
H₂O (%)	6	12,1	3,1	2,6
Velocidade do Escoamento (m/s)	4,2	3,8	2,3	3,6
Caudal efectivo (m3/h)	269	240	143	229

ANEXO J – Ficha de produto**FICHA DE PRODUTO**

1. Descrição do produto

Os pellets são um combustível renovável, ecológico e natural, livre de contaminações e aditivos. Apresentam emissões de CO₂ baixas, que podem ser anuladas pelo contributo que as árvores em vida têm aquando da realização da fotossíntese, contribuindo para a redução do efeito de estufa.

São produzidos através de serrim de madeira e de granulado negro de cortiça, permitindo a gestão de resíduos derivados de empresas do ramo da transformação de madeira.



São usados, essencialmente, no setor doméstico e de serviços, para o aquecimento de edifícios, através de caldeiras, salamandras e queimadores de pellets. Também podem ser empregues na produção de eletricidade em centrais elétricas e de cogeração.

2. Composição do produto

Os pellets são compostos por dois tipos de matéria-prima natural, em diferentes proporções:

70 % Serrim de madeira:

essencialmente madeira de pinho proveniente de serrações, livre de contaminantes.



30 % Granulado negro de cortiça:

proveniente de operações resultante da produção de discos para rolhas de champagne e vinho.



3. Vantagens

Porquê usar pellets?

Cada vez mais existe uma consciencialização para a proteção do meio ambiente, através de um incentivo à redução e reciclagem dos resíduos, assim como, à diminuição das emissões gasosas causadoras de problemas à atmosfera, como por exemplo o caso do efeito de estufa. Nesse sentido os pellets são um excelente combustível que pode substituir o gás natural e o gasóleo, que para além de serem um recurso não renovável, também são responsáveis por elevadas quantidades de emissão de poluentes gasosos prejudiciais ao meio ambiente. Para além disso, com a produção de pellets é possível reciclar produtos derivados da biomassa, ou outros combustíveis, que caso não fossem aproveitados poderiam ter como destino a queima a seu aberto, ou o aterro.

Porquê usar estes pellets?

Os pellets constituídos por 70 % de serrim de madeira e 30 % de granulado negro de cortiça possuem um poder calorífico (PCI) superior ao dos pellets tradicionais de madeira, que resulta num maior rendimento da combustão. Além disso, contêm características técnicas dentro dos padrões de

certificação ENplus, que para além de garantirem um boa eficiência durante a queima, também dão garantias para um prolongar da vida do equipamento de queima.

4. Características técnicas

O produto apresenta as seguintes características técnicas:

Diâmetro	6 mm
Perda a 105°C	9 %
Cinzas a 800°C	0,86 %
Densidade a granel	600 kg/m ³
Durabilidade	94 %
PCI	17,8 MJ/kg
Teor de Finos	0,32 %

5. Manuseamento e armazenamento

Os pellets devem ser transportados e manuseados com algum cuidado, de modo a evitar a sua quebra, e conseqüentemente a formação de pó. Devem ser armazenados num local seco ao abrigo das intempéries.

6. Utilização do produto

Os pellets devem ser usados em equipamentos apropriados, nomeadamente, em salamandras, caldeiras e queimadores de pellets, com indicação para este combustível.

7. Recomendações de utilização

Ventilação: O produto deve ser manuseado num local ventilado de modo a evitar a ocorrência de acumulação de poeira no ar;

Proteção individual: não é obrigatório o uso de luvas, mas é recomendado o uso de óculos de proteção e máscara de respiração em locais onde a poeira possa ser um problema.

Inflamabilidade: Apesar de inflamável, este produto não tem uma autoignição fácil. No caso de incêndio atuar com os meios adequados para extinção de fogos (água, spray ou espuma).

8. Informações de segurança

Não são conhecidos perigos e riscos para a saúde humana no uso deste produto.

Deve-se ter especial cuidado com os olhos pois o contacto com os finos pode conduzir a ligeiras irritações e vermelhidão. Nesse caso deve-se lavar os olhos com água em abundância.

Durante o manuseamento dos pellets, e em casos de produção de muito pó no ar, deve-se evitar a inalação prolongada do pó, principalmente em pessoas com problemas respiratórios, abandonando o local para um mais fresco e ventilado.

9. Certificação

O produto cumpre os requisitos da norma EN14961:2010 – parte 2, com o selo de certificação ENplus A2.

10. Outras informações

A embalagem é composta por um polímero (PEBD). Após a utilização do seu conteúdo, esta deve ser depositada no ecoponto amarelo para posterior reciclagem, como indica a simbologia.

