

Produção de biocarvão a partir de espécies exóticas do género *Acacia* e de *pellets* a partir de subprodutos do género *Pinus*

Thiago Abolis Alvim Monarcha Simões

Relatório Final de Estágio Profissional apresentado à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão de Recursos Florestais

Orientador

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Coorientador

Engenheiro Pedro Caldeira

Bragança

2024

DEDICATÓRIA

Para a minha família,

É com muito amor e gratidão que dedico este trabalho a vocês, que sempre foram a minha constante fonte de apoio e inspiração. Cada página deste trabalho contém um pedaço do encorajamento e da força que me proporcionaram. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha mãe e ao meu pai, por todos os conselhos nas horas em que eu pensava em desistir, por sempre acreditarem e investirem em mim independente da área que seguisse. Ao meu irmão, que além de irmão é meu grande amigo de confiança e que mesmo longe estamos sempre juntos. E as minhas tias e meu avô que sempre me apoiaram e me ajudaram em tudo que eu precisasse nessa jornada.

Esta conquista é nossa e será muito bem aproveitada!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a minha orientadora Prof. Felícia Fonseca, por me orientar e me dar todo o suporte e ajuda para que eu atingisse meu objetivo principal que é concluir o mestrado. E ao meu coorientador, Eng. Pedro Caldeira, por ter me aceite e proporcionado a realização deste estágio profissional.

À empresa Aleatory Concept Lda, por toda a ajuda e conhecimento que me passaram durante a realização do estágio profissional.

À minha família, pelo amor incondicional e apoio constante. Vocês foram minha fortaleza e o meu refúgio em todos os momentos desta jornada acadêmica, mesmo estando a mais de 8 mil quilômetros de distância.

Aos professores do IPB, pelo ótimo trabalho feito com os alunos, por todo o conhecimento compartilhado e pela orientação sábia.

E por último, mas não menos importantes, aos meus verdadeiros amigos por terem feito esta caminhada comigo, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração que me ajudaram a manter o equilíbrio e a perspectiva.

RESUMO

O presente estudo envolve o fabrico de biocarvão (carvão biológico) e pellets, ambos os produtos são derivados de biomassa vegetal e transformados em fontes de energia. O biocarvão foi produzido a partir de espécies invasoras do género *Acacia* e os pellets a partir de subprodutos do género *Pinus*. Estes produtos têm aplicação diversa, desde fornos industriais até ao aquecimento de estufas e residências.

Os pellets são biocombustíveis granulados, produzidos a partir da matéria-prima triturada e compactada sob alta pressão. O carvão biológico, por seu lado, é uma fonte de energia 100% natural e ecológica, produzido através da pirólise lenta do material orgânico. Este procedimento transforma a madeira e outros resíduos florestais em carvão em um ambiente controlado com a ausência de oxigénio, removendo os gases tóxicos e outros elementos prejudiciais para obter um produto final mais ecológico e com melhor qualidade. Além do carvão biológico ser isento de toxinas, também não exala cheiro nem fumo, proporcionando uma melhor experiência ao utilizador.

O Estágio decorreu na empresa Aleatory Concept, também conhecida comercialmente por Koolnature, com sede no distrito de Coimbra. É uma empresa portuguesa que engloba duas fábricas, uma de produção de pellets com 100% de aproveitamento de resíduos de madeira natural e outra de produção de biocarvão exclusivamente a partir de espécies de acácias (*Acacia dealbata* e *Acacia melanoxylon*). Sendo as acácias espécies invasoras em Portugal, este aproveitamento tem contribuído para o seu controlo e preservação dos ecossistemas nativos.

Durante o estágio, tive a oportunidade de trabalhar e aprender todos os processos de fabrico do carvão biológico e dos pellets, operando em diversas funções dentro das fábricas de biocarvão e de pellets, ganhando experiência prática na área. Ainda tive a oportunidade de participar num projeto inovador designado de koolbiochar, a partir do qual foi produzido um novo produto, um fertilizante granulado, através da mistura de biochar produzido na fábrica de carvão e composto orgânico de estrume de aves, com a finalidade de aplicação

no solo de culturas hortícolas e florestais. Este trabalho destaca a importância de inovação e da sustentabilidade na produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: Biocarvão, pellets, koolbiochar

ABSTRACT

This study involves the manufacture of biological charcoal and pellets, both products derived from biomass and transformed into energy sources. Pellets are granulated biofuels, produced from raw material crushed and compacted under high pressure. By-products from timber industries, such as bark, tree pruning and sawdust, are used for its manufacture. These range from industrial ovens to heating greenhouses and homes.

Biological charcoal, on the other hand, is a 100% natural and ecological energy source, produced through the slow pyrolysis of organic material. This procedure transforms wood and other forest residues into charcoal in controlled environment with the absence of oxygen, removing toxic gases and other harmful elements to obtain a more ecological and better-quality final product. In addition to biological charcoal being toxin-free, it also does not exude smell of smoke, providing a better experience when using it.

The company Aleatory Concept, which is also known commercially as koolnature, is a Portuguese company that has two factories, one produces pellets using 100% use of natural wood waste and the other factory produces biochar exclusively from acacia (*acacia dealbata* and *melanoxylon*), an invasive species in Portugal that needs to be controlled to preserve native ecosystems.

During the study carried out at the company Aleatory Concept, I had the opportunity to work and learn about all the processes in the manufacture of biological charcoal and pellets, operating in different real roles within the factories and gaining practical experience in the area. I also had the opportunity to participate in an innovative project called koolbiochar where a new product was produced in pellet format, through the mixture of biochar produced in the charcoal factory and organic compost from poultry manure, with the purpose of applying it to the soil of vegetable crops and forestry. This work highlights the importance of innovation and sustainability in the production of biofuels.

Keyword: Biochar, pellets, koolbiochar

Índice

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo geral	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Organização do trabalho	2
2. ENQUADRAMENTO DO TEMA	4
2.1 A história e a produção de carvão	4
2.2 A acácia e seu potencial bioinvasor em Portugal	5
2.3 Produção de biochar	6
2.4 Produção de pellets	8
2. ESTÁGIO	11
3.1 Empresa de acolhimento	11
3.2 Estrutura da empresa.....	12
3.2.1 Fábrica de biocarvão	12
3.2.2 Fábrica de pellets.....	14
3.3 Metodologia de trabalho.....	14
3.4 Tarefas desempenhadas durante o estágio	18
3.4.1 Na Fábrica de pellets	19
3.4.2 Na Fábrica de biocarvão.....	21
3.4.3 Operação de Suporte.....	23

3.4.4 Desenvolvimento de novos combustíveis para os reatores	24
3.4.5 Projeto KOOLBIOCHAR – Formulação de TPS.....	25
4. CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de <i>pellets</i> em Portugal no período 2016-2021 e principais mercados em 2021. Fonte: Associação Zero (2022)	9
Figura 2 - Localização da empresa Aleatory Concept Lda, local onde foi realizado o Estágio. Fonte: Google Earth Pro (2024)	11
Figura 3 - Fabrica de biocarvão. Fonte: Google Earth (Pro 2024).....	12
Figura 4 - Espaços no interior da fábrica utilizados nos diferentes processos de fabrico do biocarvão. (a) área onde as painelas são enchidas com madeira de acácia; (b) reatores em funcionamento; (c) área de arrefecimento das painelas; (d) encaminhamento do carvão para a área de embalagem; (e) embalagem; (f) armazenamento do carvão	13
Figura 5 - Fábrica de pellets - Fonte Google Earth Pro (2024)	14
Figura 6 - Cestos com madeira de acácia	15
Figura 7 - Secador Industrial	17
Figura 8 - Prensa peletizadora (a) e matriz peletizadora (b).....	17
Figura 9 - Camião de serrim descarregando no armazém	19
Figura 10 - Máquina de embalagem de <i>pellets</i>	20
Figura 11 - Camião sendo carregado com paletes de pellets dentro do armazém	21
Figura 12 - Painela sendo transportada para a área de resfriamento	22
Figura 13 - Biocarvão produzido pela empresa Aleatory Concept Lda. Fonte: https://koolnature.pt/	22
Figura 14 - Biocarvão produzido pela empresa Aleatory Concept Lda, disponível no mercado. Fonte: https://koolnature.pt/	23
Figura 15 - Amostra de estilha seca.....	21
Figura 16 - Imagens dos produtos produzidos a partir das três misturas de biochar e estrume de aves. Mistura 1 (a), Mistura 2 (b) e Mistura 3 (c).....	26
Figura 17 - Composto orgânico de estrume de aves secando ao ar.....	22

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações do composto orgânico comprado (estrume de aves)	27
---	----

1. INTRODUÇÃO

O fabrico de biocarvão ou carvão biológico e pellets envolve diferentes processos, mas a produção de ambos transforma biomassa em um produto final fonte de energia, podendo ser usados principalmente como combustível doméstico, industrial e até mesmo para aplicação no solo.

Os pellets são biocombustíveis granulados, com diferentes tamanhos, elaborados à base de biomassa vegetal triturada e compactada a alta pressão. Frequentemente, na sua produção é utilizada biomassa vegetal com origem em subprodutos de indústrias madeireiras, como serrim, e ainda cascas e podas de árvores e outros tipos de resíduos vegetais. São utilizados para diversas finalidades, desde fornos industriais até aquecimento de estufas e residências.

A empresa Aleatory Concept, onde foi desenvolvido o estágio, utiliza exclusivamente espécies de acácias (*Acacia dealbata* e *Acacia melanoxylon*) na produção de biocarvão. Esta prática pode trazer grandes benefícios para a flora e fauna nativa, já que a acácia é uma espécie com grande potencial invasor e que altera todo o ecossistema natural onde ela se instala. A sua exploração legalizada para estes fins ou outros, pode ser uma forma de controlar a espécie e de a transformar num investimento rentável.

O carvão biológico ou biocarvão é uma fonte de energia 100% natural e ecológica, produzido por pirólise lenta de materiais orgânicos, destinando-se a diversos usos, incluindo a aplicação no solo como corretivo orgânico. A pirólise transforma a madeira e outros resíduos florestais em carvão num ambiente controlado pobre em oxigénio. Nesse processo, todos os gases tóxicos são removidos para obter um produto final mais ecológico e de melhor qualidade. Esse tipo de carvão além de ser isento de toxinas, não exala cheiro nem fumo proporcionando melhor experiência ao utilizá-lo para grelhar alimentos.

No decorrer do estágio tive a oportunidade de trabalhar e aprender o processo completo de fabrico de carvão biológico e de pellets, operando em diversas funções dentro das respetivas fábricas. Através de rotinas de trabalho e da aprendizagem de diversas metodologias obtive uma vasta experiência prática na área da produção, embalagem, armazenamento e expedição.

Tive ainda a oportunidade de participar num projeto inovador que visou a criação de um novo corretivo orgânico para aplicação em solos agrícolas e até mesmo florestais. O produto foi fabricado a partir de uma mistura de biochar produzido na empresa e estrume de aves, tendo sido submetida a mistura ao processo de peletização, ficando com um aspeto granular final.

1.1 Objetivo geral

O estágio profissional teve como objetivo principal participar em todo o processo de fabrico de biocarvão (carvão biológico) e de *pellets* nas fábricas de Biocarvão e de *Pellets* da empresa Aleatory Concept Lda, localizada no distrito de Coimbra.

1.2 Objetivos específicos

- Aprender o funcionamento das fábricas e exercer funções nos processos de produção de biocarvão e *pellets*.
- Criar soluções para reduzir os custos da empresa em combustíveis usados como fonte de energia nos processos de produção.
- Formulação de novos tipos de Terra Preta de Síntese (TPS), para funcionarem como corretivos orgânicos em solos agrícolas.

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se a introdução e os objetivos a alcançar com a realização do estágio.

No segundo capítulo faz-se um enquadramento teórico do tema com relevância de temáticas sobre plantas invasoras do género *Acacia*, carvão, biochar e *pellets*.

O terceiro capítulo é dedicado ao estágio propriamente dito: apresenta-se a empresa de acolhimento e as respetivas fábricas de biocarvão e de *pellets*;

metodologias de trabalho em ambas as fábricas; tarefas desempenhadas durante o estágio nas fábricas e no projeto KoolBiochar.

Finalmente, no Capítulo quatro apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. ENQUADRAMENTO DO TEMA

2.1 A história e a produção de carvão

A conquista do fogo e a possibilidade da queima direta de material vegetal, foi de grande importância para os avanços da humanidade. Isso possibilitou uma melhoria na qualidade de vida, com a criação de utensílios e ferramentas, ampliou a variedade de alimentos disponíveis por meio do cozimento, estabelecendo a madeira como o combustível mais antigo utilizado pelo homem. Assim, começou a produção de carvão vegetal para ser usado como fonte de energia nas residências (Juvilar, 1980).

A utilização do carvão vegetal tem sido essencial para a humanidade desde há longa data, apresentando uma grande diversidade em suas formas de uso. Como matéria-prima ou fonte de energia, pode ser utilizado na indústria química, farmacêutica e nas áreas de siderurgia e metalurgia. Para os consumidores diretos, na grande maioria é usado no dia a dia para cocção de alimentos (Dias Júnior et al., 2015)

O carvão vegetal é um recurso versátil para usos diversos. Ele é muito utilizado na indústria química e como carvão ativado por ter alta capacidade de absorção. Este recurso é frequentemente utilizado para descolorir, desgaseificar e ainda purificar líquidos como água e vinho, além da sua utilização muito importante na área da medicina. Complementarmente, o carvão vegetal também é uma fonte de carbono no fabrico de vários compostos como o sulfureto, tetracloreto de carbono e cianeto. Na indústria, é um combustível fundamental em procedimentos metalúrgicos e siderúrgicos (Arantes, 2009).

Portugal é um país que importa, todos os anos, cerca de 36 mil toneladas de carvão vegetal para consumo interno, principalmente da América Central e do Sul, atingindo um valor que ronda os 12 milhões de euros. Contudo, o país também realiza exportações de carvão vegetal, cerca de 6 mil toneladas por ano, que rendem à volta de 1,4 milhões de euros. A produção interna anual, que varia de 5 a 6 mil toneladas, é incapaz de atender a demanda e geralmente é um carvão de baixa qualidade por ser, em grande parte, fabricado a partir de madeira de pinheiro e eucalipto. O carvão produzido de madeira de sobreiro e azinheira

é de maior qualidade, porém a utilização dessa madeira para este fim é legalmente restrita (EA, 2015).

O carvão vegetal com o maior valor económico, importado por Portugal, tem proveniência em Cuba, por ter qualidade superior. Este carvão é feito com a madeira do marabu (*Dichrostachys cinerea* L.), uma espécie com potencial bioinvasor que se assemelha, em relação à aparência e estrutura, com a *Acacia longifolia* W. Atualmente a acácia é uma espécie invasora que gera um grande problema na gestão florestal portuguesa, mas que tem potencial para ser aproveitada e transformada em uma espécie lucrativa (Rebelo, 2016). E foi pensando nisso que a empresa Aleatory Concept começou a produzir biocarvão utilizando exclusivamente como matéria-prima espécies de acácia, tornando-as num produto lucrativo e, ao mesmo tempo contribuiu para a conservação da fauna e flora nativa.

2.2 A acácia e seu potencial bioinvasor em Portugal

Acacia é um género de plantas da família das leguminosas (Leguminosae), e da sub-família das mimosóideas (Mimosoideae) (Castroviejo et al., 1999). Essa família inclui cerca de 1200 espécies divididas entre árvores e arbustos, sendo que cerca de 900 espécies são originárias de África e Austrália (Whibley, 1980).

Várias espécies de acácias (*A.melanoxylon*, *A.longifolia* e *A.floribunda*), foram introduzidas em Portugal no século XX no sistema dunar de Quiaios-Mira, com a finalidade de fixar margens de valas, e também para fixação de areias, plantadas em consórcio com pinheiros. Muitas espécies de *Acacia* sp. foram semeadas em ambientes controlados para serem utilizadas na fixação de areia na orla do pinhal do sistema dunar de Quiaios-Mira (Rei, 1924).

Outra espécie de Acácia que também foi introduzida entre 1902 e 1905 no Parque Nacional Peneda-Gerês foi a *A.dealbata*, com a finalidade de estabilizar taludes mas que muito rapidamente se tornou em uma espécie bioinvasora, alcançando proporções alarmantes e gerando grandes problemas para a flora nativa (Liberal e Esteves, 1999).

A bioinvasão é basicamente caracterizada pela introdução de uma espécie em um ambiente onde ela não existia antes, de forma acidental ou intencional, podendo dispersar-se de forma rápida competindo com as espécies nativas (Carlton, 1996). Atualmente, a bioinvasão é a segunda maior ameaça mundial ao meio ambiente onde a espécie exótica se estabelece, sendo a primeira a exploração antrópica dos ecossistemas (Ziller, 2001). Algumas ameaças ambientais tendem a diminuir ao longo do tempo como a poluição química, pois existem muitos estudos e soluções que permitem minimizar os seus impactos, o que é diferente com a bioinvasão que só vem crescendo com o passar do tempo trazendo diversos prejuízos para os ecossistemas, que por vez não conseguem se recuperar de forma natural (Santana e Encinas, 2008).

As espécies exóticas tendem a ter um elevado potencial invasor por produzirem muitas sementes de tamanho pequeno, o que facilita a sua dispersão. Também, a alta taxa de germinação e o crescimento mais rápido que as espécies nativas, criam uma concorrência por nutrientes, água e espaço (Genovesi, 2005). Existem diversos fatores que permitem determinar o potencial invasivo de algumas espécies como a extensão da área ocupada, informações sobre os atributos da espécie, tempo de residência, a biota local do ambiente em que a espécie se estabelece e pelas características da cobertura do solo (Zanchetta e Diniz, 2006).

A falta de um planejamento prévio muitas vezes resulta na perda da vegetação nativa, levando em conta que é muito frequente a introdução de espécies exóticas em meio urbano prejudicando o equilíbrio ecológico. Isto coloca em destaque a necessidade de informar/formar técnicos e a comunidade em geral, para evitar a introdução de espécies exóticas em espaços urbanos e rurais (Ribeiro e Muniz, 2011).

2.3 Produção de biochar

A prática do uso de resíduos orgânicos carbonizados está sendo reavaliada e considerada como uma forma de aprimorar a qualidade do solo. O *biochar* é um biocarvão, com dimensões pequenas, que está atualmente a ser considerado como um excelente corretivo orgânico do solo para aumentar a produtividade

(Bassey e Oko, 2023). O *biochar*, resultante da decomposição térmica de material orgânico em ambiente controlado sob condições de baixo fornecimento de oxigênio e temperaturas moderadas, ajuda na correção da qualidade do solo (Lehmann e Joseph, 2009). A formação do *biochar* envolve uma reorganização dos átomos de carbono, fazendo com que aumente a porosidade do material e adquira propriedades que beneficiam as propriedades químicas dos solos, especialmente devido à sua grande superfície específica, resultando numa maior capacidade de troca de cátions e absorção de nutrientes e água (Atkinson et al., 2010; Bassey e Oko, 2023).

Na natureza, o *biochar* está comumente associado a solos de origem antrópica, por ter processos de formação parecidos, envolvendo a decomposição de material vegetal por meio da temperatura. Todavia, os solos de origem antrópica iniciaram a sua formação há milhares de anos, permitindo assim a reposição de material orgânico. Frequentemente pesquisadores relacionam o *biochar* com a “Terra Preta de Índio”, um tipo de solo encontrado na Amazônia que se formou ao longo do tempo pela decomposição de material de origem vegetal e animal, em locais onde habitavam tribos indígenas (Glaser et al., 2001; Novotny et al., 2009).

Podendo ser obtido através de uma variedade de processos, a qualidade do biocarvão (*biochar*) é influenciada tanto pelo processo aplicado quanto pela matéria-prima utilizada (Sohi et al., 2010). Utilizando o método da pirólise, um processo que envolve a decomposição térmica de substâncias orgânicas em um ambiente sem oxigênio, pode resultar em três produtos distintos: um em forma líquida conhecido como bio-óleo; um sólido que pode ser aplicado no solo como *biochar* ou usado como fonte de energia como biocarvão; e um gás não condensável composto por monóxido de carbono e outros gases (Mccarl et al., 2009). Existem três processos principais na produção de biocarvão, determinados principalmente pela temperatura de pirólise, pelo tempo em que o material fica dentro do reator e pela taxa de aquecimento (rampa de aquecimento). A pirólise lenta abrange a transformação térmica da biomassa por meio do aquecimento em temperaturas baixas e médias, em ambiente sem oxigênio. A pirólise rápida envolve o aquecimento acelerado da biomassa, resultando numa maior quantidade de bio-óleo e menor quantidade de

biocarvão. O processo de gaseificação ocorre com altas temperaturas e resulta como subproduto o biocarvão (Brown, 2009; Brownsort, 2009; Mccarl et al., 2009).

Devido ao *biochar* ter alta estabilidade no solo e estrutura frequentemente porosa, ele facilita a capacidade de retenção de água a longo prazo, o que reflete a estrutura da matéria-prima que lhe deu origem. Além disso, contém cinzas ricas em P, K e outros elementos mais solúveis e acessíveis do que o material original não pirolisado. A importância do *biochar* na disponibilidade de nutrientes pode comprovar alguns efeitos na produção de algumas culturas a curto prazo, considerando que certos elementos não conseguem ser disponibilizados apenas com o aumento de matéria orgânica no solo (Sohi et al., 2010).

2.4 Produção de *pellets*

Os *pellets* são biocombustíveis granulados produzidos a partir de biomassa vegetal triturada e comprimida sob alta pressão. A fricção da matéria-prima em contato com os orifícios da matriz de peletização transforma os componentes lignocelulósicos existentes na madeira. Isso resulta em um produto compacto com resistência mecânica robusta e com alto valor calorífico (Li e Liu, 2000; Kaliyan e Morey, 2009).

Para produzir *pellets*, vários tipos de biomassa vegetal são utilizados. No entanto, a principal matéria-prima utilizada no fabrico de *pellets* tem origem na atividade florestal. A produção de *pellets* a partir de subprodutos de indústrias madeireiras e toras de baixa rentabilidade comercial resulta num biocombustível de excelente qualidade, por ter baixo teor de cinza (Wolf et al., 2006). Segundo Flach et al. (2013), a União Europeia tem o maior mercado produtor e consumidor de *pellets* com a finalidade de aquecimento residencial e produção de energia elétrica. Segundo a Associação Zero (2022), a produção de *pellets* em Portugal, mostrou uma ligeira tendência de crescimento de 2016 a 2019. Em 2020, devido à covid19, a produção registou um acréscimo significativo, voltando a baixar em 2021, mas com valor superior ao observado em 2019 (Figura 1). Em 2021 os principais mercados foram o interno (37%), Reino Unido (23%) e Espanha (16%) (Figura 1).

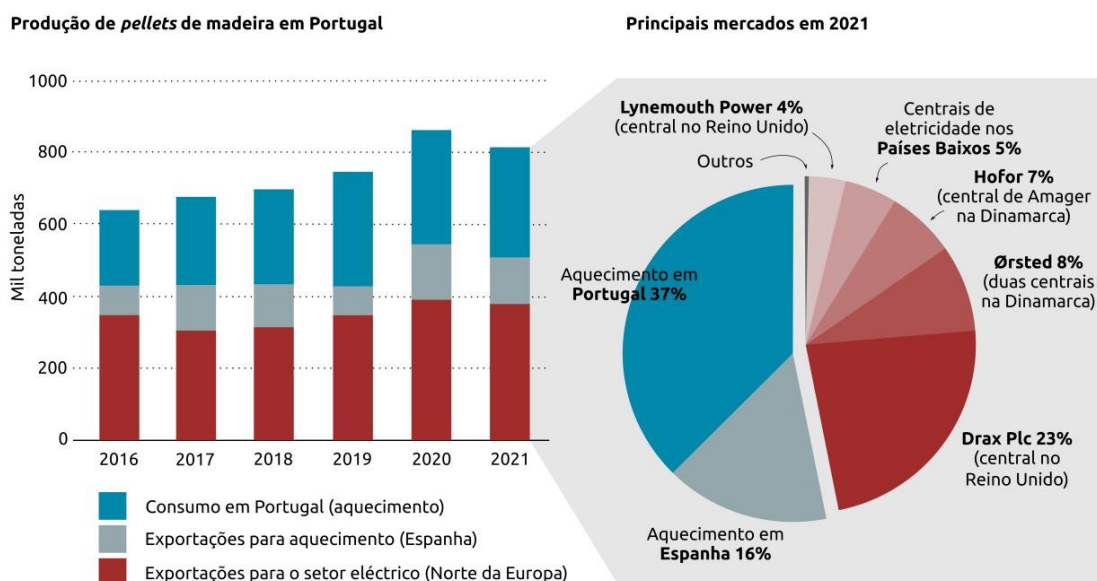


Figura 1 - Produção de *pellets* em Portugal no período 2016-2021 e principais mercados em 2021. Fonte: Associação Zero (2022)

A expansão global do uso de *pellets* foi principalmente valorizada para atender a necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, que causam diversos problemas ao ambiente, incluindo a emissão de gases de efeito estufa. Esses gases colaboram nas alterações climáticas que possivelmente irão afetar a qualidade de vida das gerações futuras (IPCC, 2014). A ratificação do Protocolo de Quioto foi efetuada por 55 países em 15 de março de 1999, representando esses países cerca de 55% das emissões de gases de efeito estufa mundiais. O referido Acordo marcou o início da transição energética em direção a uma forma mais sustentável, que envolve o uso da biomassa, e até mesmo os *pellets* de madeira (Moiseyev et al., 2011; Abt et al., 2014).

O aperfeiçoamento na tecnologia de fabrico de *pellets* possibilitou o uso de diversas formas de biomassa florestal. Com o crescimento da eficiência produtiva das indústrias, os custos em larga escala de produção diminuíram, tornando a energia de *pellets* competitiva em relação às demais fontes de energia (Tromborg et al., 2013). O mesmo autor ainda retrata que, a produção de *pellets* normalmente tem um custo reduzido, pois é feito com base na reutilização de matéria-prima de baixo custo, composto por subprodutos de serrações e indústrias madeireiras. No entanto, com o aumento da demanda, atualmente observa-se em vários países a dificuldade na obtenção de matéria-

prima para suprir o mercado. Isso gera a questão da necessidade de explorar novas fontes de matéria-prima com custo mais alto, impactando diretamente no preço final dos *pellets* para o consumidor. É importante salientar a norma EN 14961, que impõem normas de qualidade para os *pellets*, juntamente com o certificado ENplus, um selo que garante que todas as etapas de produção seguem os padrões de qualidade estabelecidos (Pellet Atlas, 2009). A venda de *pellets* só pode ser feita sob a marca ENplus se cada parte da cadeia de suprimentos obtiver a certificação individual. A marca além de atestar a qualidade do produto, também estabelece normas de sustentabilidade e segurança do fornecimento, elementos indispensáveis para o crescimento futuro do mercado de *pellets* (European Pellet council, 2013).

2. ESTÁGIO

O estágio decorreu entre o dia 16 de janeiro e 15 outubro de 2023, com 8 horas de trabalho por dia e 40 horas semanais, totalizando 1 580 horas durante um período de 9 meses.

3.1 Empresa de acolhimento

O estágio foi realizado na empresa ALEATORY CONCEPT LDA., conhecida comercialmente como KOOLNATURE (Figura 2), que é constituída por duas fábricas: uma produz *pellets* (Fábrica de *pellets*) a partir de subprodutos de madeiras que utilizam espécies do género *Pinus* e outra produz biocarvão (Fábrica de biocarvão) pelo processo de pirólise lenta usando apenas espécies do género *Acacia* (*Acacia dealbata* e *Acacia melanoxylon*). A madeira de acácia é comprada a empresas legalizadas para a exploração dessas espécies em meio natural. Trata-se de espécies bioinvasoras em Portugal.



Figura 2 - Localização da empresa Aleatory Concept Lda, local onde foi realizado o Estágio. Fonte: Google Earth Pro (2024)

A empresa (Aleatory Concept Lda), está localizada em Estrela de Alva, 3360-223, na União de Freguesias de São Pedro de Alva e São Paio de Mondego, no concelho de Penacova, Coimbra, Portugal. Mais especificamente nas coordenadas 40°17'40.28" N e 8°08'01.03" O.

3.2 Estrutura da empresa

3.2.1 Fábrica de biocarvão

A fábrica de biocarvão conta com uma ampla área, tanto no espaço de produção como no espaço externo onde fica toda a matéria-prima que chega para ser transformada em biocarvão.



Figura 3 - Fábrica de biocarvão. Fonte: Google Earth (Pro 2024)

No interior da fábrica existem diversos espaços organizados de acordo com as funções a que se destinam: área para o corte de madeira de acácia, área para encher as painéis com os pedaços de madeira de acácia (Figura 4a), área onde estão instalados os 10 reatores, dentro dos quais são colocadas as painéis (Figura 4b), área de arrefecimento das painéis já com o carvão pronto no seu interior (Figura 4c), área para abrir e despejar o carvão das painéis e seu encaminhamento para a área de embalagem (Figura 4d), área de embalagem (Figura 4e), armazém para armazenamento do carvão já embalado (Figura 4f), escritório e sala de controlo de equipamentos através de computadores. Existe ainda na área externa um grande galpão que fica conectado com o escritório geral da empresa, sendo usado para depósito de matérias-primas (madeira de acácia) e também para o depósito de produtos

finais provenientes das fábricas de *pellets* e de biocarvão. A fábrica conta com o auxílio de uma equipa de mecânicos para casos de avarias no processo de produção, dispondo de uma oficina dentro do galpão referido.

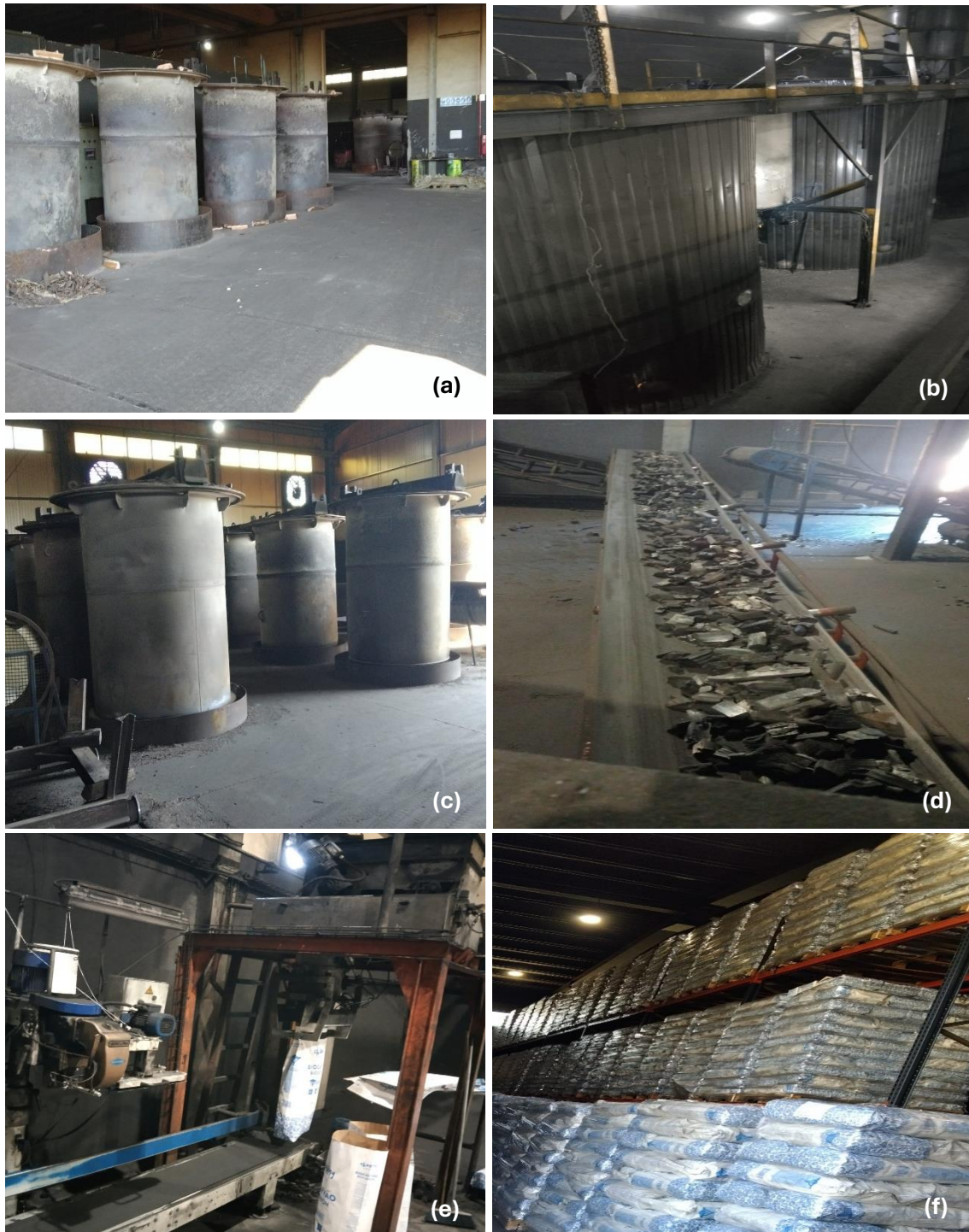


Figura 4 - Espaços no interior da fábrica utilizados nos diferentes processos de fabrico do biocarvão. (a) área onde as panelas são enchidas com madeira de acácia; (b) reatores em funcionamento; (c) área de arrefecimento das panelas; (d) encaminhamento do carvão para a área de embalagem; (e) embalagem; (f) armazenamento do carvão

3.2.2 Fábrica de *pellets*

A fábrica de *pellets* (Figura 5) inclui uma sala de controlo, onde tudo é controlado eletronicamente por computadores, um amplo espaço de produção e embalagem, um secador industrial, um galpão onde são armazenadas e misturadas todas as matérias-primas que chegam já processadas (serrim e estilha), um espaço para armazenamento do produto final já embalado, e ainda uma equipa da parte mecânica para avarias imprevistas.



Figura 5 - Fábrica de *pellets* - Fonte Google Earth Pro (2024)

3.3 Metodologia de trabalho

O processo de fabrico de biocarvão, na **fábrica de biocarvão**, é realizado em várias etapas distintas, cada uma com uma função específica:

1. **Chegada do material:** A matéria-prima (madeira de acácia) chega à fábrica e a sua qualidade é imediatamente analisada.
2. **Corte da madeira:** A madeira de acácia é cortada em pequenos pedaços, aproximadamente 60 cm, por uma equipa com essas funções (equipa de corte), com a ajuda de uma máquina de serra que após o corte transfere os pedaços de madeira para dentro de cestos por um tapete rolante. Cada

cesto cheio de madeira cortada corresponde ao material necessário para encher uma panela (Figura 6). Também é avaliado o teor de humidade da madeira que deve variar entre 25% e 35%.



Figura 6 - Cestos com madeira de acácia

3. **Túnel de secagem:** Quando a madeira tem um teor de humidade superior a 35% é colocada no túnel de secagem que aproveita o calor dos reatores, mantendo todo o espaço quente, acelerando assim o tempo de secagem da madeira.
4. **Carbonização da madeira:** A madeira cortada é colocada em panelas que são inseridas nos reatores. Aqui, por meio de pirólise lenta, ocorre o processo de carbonização da madeira.
5. **Pirólise Lenta:** Este processo ocorre dentro das panelas que são introduzidas nos reatores com temperatura controlada de 600° a 800°, com ausência de oxigénio e com tempo de carbonização que varia de 8 a 15 horas.
6. **Resfriamento:** Após a pirólise, as panelas são retiradas dos reatores e colocadas na zona de resfriamento, onde permanecem pelo menos 20 horas.

7. **Vazamento das paineis:** Neste processo a paineia é aberta e todo o carvão é despejado na tremonha (funil industrial) para finalmente ser embalado.
8. **Embalamento:** Aqui todo o carvão fabricado é embalado em sacos com volumes diferentes (15, 30 e 60 dm³), variando de acordo com as exigências dos clientes.

Para todo o processo de fabrico de biocarvão são necessárias nove trabalhadores, divididos em cinco funções, sendo que três realizam o processo de beneficiação da madeira, um é responsável pela troca das paineis e por controlar toda a parte dos reatores, um fica na parte do resfriamento das paineis sendo também responsável por fornecer material para o embalamento, três são responsáveis por toda a parte de embalamento e carregamento do produto para os consumidores finais. Todo o processo conta com a supervisão de um responsável que controla toda a fábrica.

O processo de fabrico de *pellets*, na **fábrica de *pellets***, é realizado em diferentes etapas:

1. **Lubrificação e Preparação:** O processo começa com a lubrificação dos maquinários e o acendimento da fornalha. Em seguida, todas as máquinas são ligadas seguindo uma ordem específica.
2. **Mistura da matéria-prima:** O serrim é misturado com a estilha com ajuda de uma pá-carregadeira e despejado na tolva. Esta mistura é feita de acordo com a humidade do material. A humidade da mistura ideal deve variar de 30 a 35%. É importante manter esta humidade, pois se o material entrar no secador muito seco existe o risco de incendiar.
3. **Secagem:** O material da tolva é levado através de tapetes rolantes para um secador industrial (Figura 7), onde passa pelo processo de secagem. Após a secagem, o material pode ser armazenado em uma outra tolva ou seguir diretamente para o processo de prensagem.



Figura 7 - Secador Industrial

- 4. Prensagem:** O processo de prensagem é realizado através das prensas peletizadoras que prensam o material na matriz com alta pressão (Figura 8). Este processo eleva a temperatura do material, sendo necessário resfriá-lo antes de ser embalado.



Figura 8 - Prensa peletizadora (a) e matriz peletizadora (b)

- 5. Resfriamento:** Os *pellets* são armazenados em uma tremonha por um curto período de tempo para que possam resfriar e não danificar as

embalagens e também para ter melhor coesão do produto final reduzindo o teor de materiais finos no saco.

6. **Embalagem:** Os *pellets* são embalados em sacos plásticos com capacidade de 15 kg cada.
7. **Montagem da Paleta:** A paleta é montada com 77 sacos, totalizando 1 155 kg de *pellets* em cada paleta.

Na fábrica de *pellets* são necessários três trabalhadores, sendo um o supervisor que fica na sala de comando controlando tudo através de computadores. Um trabalha com a pá-carregadeira, sendo responsável por analisar a qualidade das matérias-primas assim que são descarregadas e ainda misturar os materiais e colocar constantemente material na tolva para que o processo de fabrico não pare. E outro fica responsável por toda a parte do embalamento e organização do armazém onde ficam as cargas de *pellets* e ainda é responsável por carregar os camiões dos clientes, sendo necessário a utilização de um empilhador.

3.4 Tarefas desempenhadas durante o estágio

Durante o período de estágio foram desenvolvidas, por mim, as seguintes atividades:

- Participação no processo de fabrico do biocarvão
- Participação no processo de fabrico de *pellets*
- Operação de suporte
- Desenvolvimento de novos combustíveis para o funcionamento dos reatores
- Participação no projeto Koolbiochar – Formulação de TPS (Terra Preta de Síntese)

No decorrer do estágio, tive a oportunidade de desempenhar várias funções e aplicar os conhecimentos e competências que adquiri durante o meu percurso académico, tanto na graduação quanto no mestrado. A etapa inicial do estágio foi a minha integração na organização, onde tive a oportunidade de me familiarizar com todos os membros da equipa e equipamentos.

3.4.1 Na Fábrica de *pellets*

Inicialmente comecei aprendendo todo o funcionamento da fábrica, desde a análise da qualidade da matéria-prima assim que chega na fábrica até à entrega do produto final aos clientes. Posteriormente, comecei exercendo funções na fábrica, tendo trabalhado como operador da pá-carregadeira das matérias primas e como operário no embalamento do produto final (*pellets*)

Como operador da pá-carregadeira, tive as funções de analisar, primeiramente, se a carga comprada de serrim e de estilha, a ser descarregada (Figura 9), estava dentro dos requisitos exigidos (sem lixos como pedaços grandes de madeira, cascas e galhos de árvore) e colher uma amostra para o responsável de turno determinar o teor de humidade do material. Em seguida, com base no teor de humidade do serrim e da estilha, fazia a mistura dos dois tipos de materiais com a pá-carregadeira e carregava a tolva continuamente, seguindo-se os processos de secagem e peletização da matéria-prima.



Figura 9 - Camião de serrim descarregando no armazém

Como operário no setor de embalagem, tive as funções de verificar e controlar o funcionamento da máquina de embalagem de *pellets* (Figura 10), verificar e controlar a máquina que deposita os sacos de *pellets* nas paletes e por último, com a ajuda de um empilhador, retirar a paletes de sacos e colocar na máquina de embalagem de paletes. Com as paletes já embaladas sempre com 77 sacos cada, com a ajuda do empilhador colocava-as no armazém ou nos meios de transporte de clientes, que as levavam logo para fora da fábrica (Figura 11).



Figura 10 - Máquina de embalagem de *pellets*



Figura 11 - Camião sendo carregado com paletes de *pellets* dentro do armazém

3.4.2 Na Fábrica de biocarvão

Na fábrica de biocarvão, também comecei inicialmente aprendendo todo o processo de produção para depois poder exercer funções na fábrica. Executei funções de operário na parte dos reatores, do resfriamento de panelas e no embalamento do produto final.

Como operário nos reatores, sempre com a supervisão do responsável de turno, procedi ao enchimento das panelas com madeira de acácia já cortada e armazenada em cestos. Neste processo contei com a ajuda da pá-carregadeira e do empilhador. Manobrei a ponte que transportava as panelas com madeira para os reatores e tirei as panelas dos reatores, agora preenchidas com biocarvão.

Como operário na parte de resfriamento, minhas funções basicamente foram manobrar a ponte que transporta as panelas recém tiradas dos reatores para o armazém de resfriamento (Figura 12), abrir e despejar o biocarvão das panelas já frias (Figura 13) na tolva de embalamento, e com o empilhador

transportar as painéis abertos para poderem ser usadas novamente no processo.



Figura 12 - Painel sendo transportado para a área de resfriamento

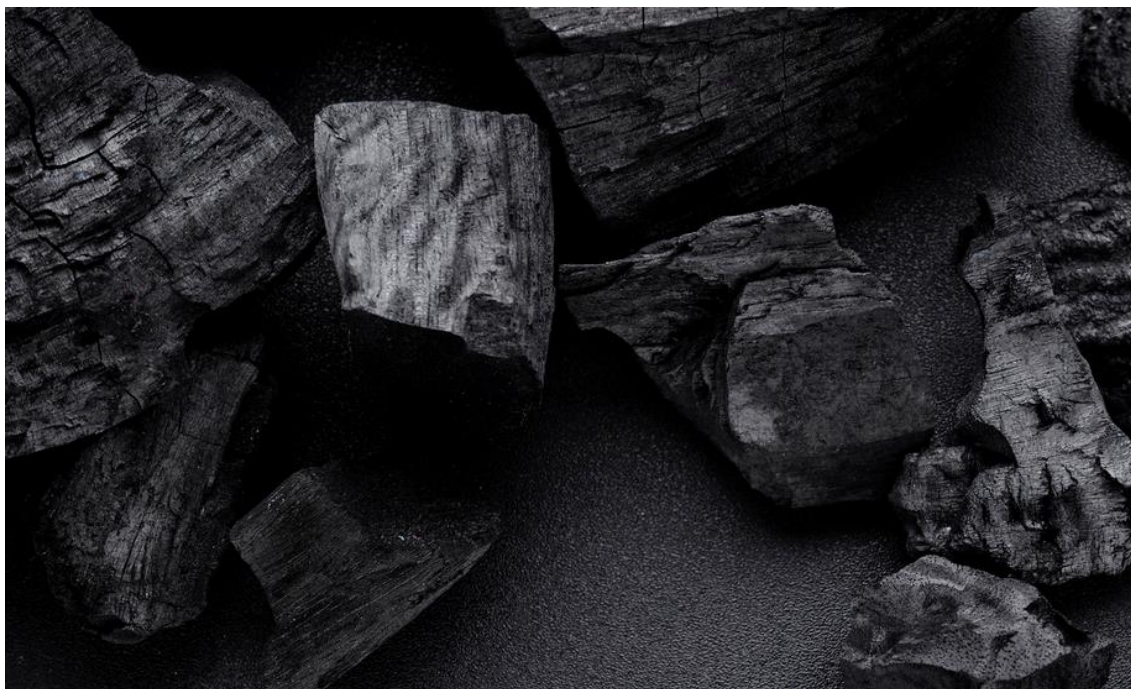


Figura 13 - Biocarvão produzido pela empresa Aleatory Concept Lda. Fonte: <https://koolnature.pt/>

Como operário no embalamento, as minhas funções foram ajudar na montagem dos sacos de carvão nas paletes, sendo esse processo feito manualmente e de acordo com o tamanho dos sacos de carvão, podendo ser de 15 dm³, 30 dm³ e de 60 dm³ (Figura 14). Com o empilhador, carregava as paletes já montadas com os sacos e carregava-as para na máquina de embalamento de paletes e em seguida transportava-as para o armazém ou carregava para os clientes.



Figura 14 - Biocarvão produzido pela empresa Aleatory Concept Lda, disponível no mercado. Fonte: <https://koolnature.pt/>

3.4.3 Operação de Suporte

A função de Operação de Suporte basicamente é dar suporte tanto à fábrica de biocarvão como à fábrica de *pellets*. Exercendo essa função, minha principal tarefa foi fornecer material, fonte energia para o funcionamento dos reatores, na fábrica de biocarvão. No início usava-se *pellets* produzidas na própria empresa, mas com o aumento do custo dos *pellets*, optou-se por usar um outro tipo de biocombustível mais barato, como é o caso da estilha seca (Figura 15).



Figura 15 - Amostra de estilha seca

Para fornecer estilha seca à fábrica de carvão era necessário encher *big-bags* com o material, com recurso ao uso da pá-carregadeira e do empilhador. Uma vez cheios, os *big-bags* eram transportados para a fábrica para então a estilha ser usada nos reatores.

3.4.4 Desenvolvimento de novos combustíveis para os reatores

Pensando em reduzir os gastos com materiais usados como fonte de energia dos reatores, fiquei responsável por fazer testes com diferentes misturas incluindo *pellets*, farelo de *pellets*, estilhas com diferentes teores de humidade e tamanhos e cascas de árvores.

Inicialmente foi realizada uma mistura incluindo *pellets* e estilha (50% de *pellets* e 50% de estilha). A mistura teve bom resultado de queima e poder calorífico, porém entupia muito os reatores fazendo com que fosse necessário parar a produção para os desentupir.

Posteriormente realizou-se uma mistura incluindo farelo de *pellets*, *pellets*, e estilha pouco húmida, com uma humidade aproximada de 38%. Essa mistura incluiu 50% de estilha, 30% de *pellets* e 20% de farelo de *pellets*. A mistura não teve bom resultado pois com a humidade da estilha as *pellets* desfizeram-se

transformando-se num pó húmido que fez com que não fosse produzido muito calor, além de entupir os reatores.

Na terceira mistura foi usado cascas pinheiro trituradas juntamente com a estilha, sendo a proporção de 70% estilha e 30% cascas. A mistura teve bom resultado em relação ao poder calorífico, porém como a casca é muito fibrosa fazia com que entupisse os tubos de descarga do material nos reatores.

No último teste, foi utilizado apenas estilhas secas de diferentes tamanhos, microestilhas e estilhas de dimensões normais. Usando a proporção de 70% de estilha normal e 30% de microestilhas, obteve-se um ótimo resultado em relação ao tempo de queima, poder calorífico e também não entupia os reatores.

Mediante os resultados obtidos para as diferentes misturas, optou-se por usar estilha seca independentemente das dimensões, já que fator que mais interferia na combustão do material era a humidade, baixando assim os custos e mantendo um bom desempenho na produção de biocarvão.

3.4.5 Projeto KOOLBIOCHAR – Formulação de TPS

O projeto KoolBiochar tem como principal objetivo produzir novos aditivos que permitam melhorar de forma sustentável a qualidade de solos agrícolas, através de produtos personalizados de terra preta de síntese (TPS) à base de misturas de biocarvão de acácia e de resíduos orgânicos compostados.

O desenvolvimento dos produtos teve por base a adequação à comercialização como corretivos orgânicos, com vista à melhoria das propriedades do solo. Assim, estes produtos deverão incrementar o teor de matéria orgânica do solo, fornecer nutrientes, aumentar a capacidade de retenção de água e arejamento, bem como contribuir para corrigir o pH do solo.

Na execução do projeto KOOLBIOCHAR foram formulados novos tipos de Terra Preta de Síntese (TPS), utilizando biochar (biocarvão) produzido na empresa Aleatory Concept e um corretivo orgânico (estrume de aves), adquirido na empresa Euroguano. Foram ensaiados três tipos de misturas com diferentes percentagens de cada material (biochar e estrume).

Antes de proceder às misturas, o biochar foi moído num moinho rotativo de esferas, sendo transformado num pó fino para posteriormente misturar com o estrume de aves em estado natural (composto estabilizado). Para que a mistura dos materiais (biochar e estrume), ficasse o mais homogênea possível foi utilizado um misturador artesanal. Foram realizadas três misturas, correspondendo à criação de três produtos com diferentes percentagens de biochar e de estrume: Mistura 1 (70% de biochar e 30% de estrume), Mistura 2 (50% de biochar e 50% de estrume), Mistura 3 (30% de biochar e 70% de estrume). Seguiu-se a peletização das misturas, ficando assim os produtos finais com a forma granulada (Figura 16). Os produtos finais produzidos foram colocados em *big-bags* para secarem de forma natural.

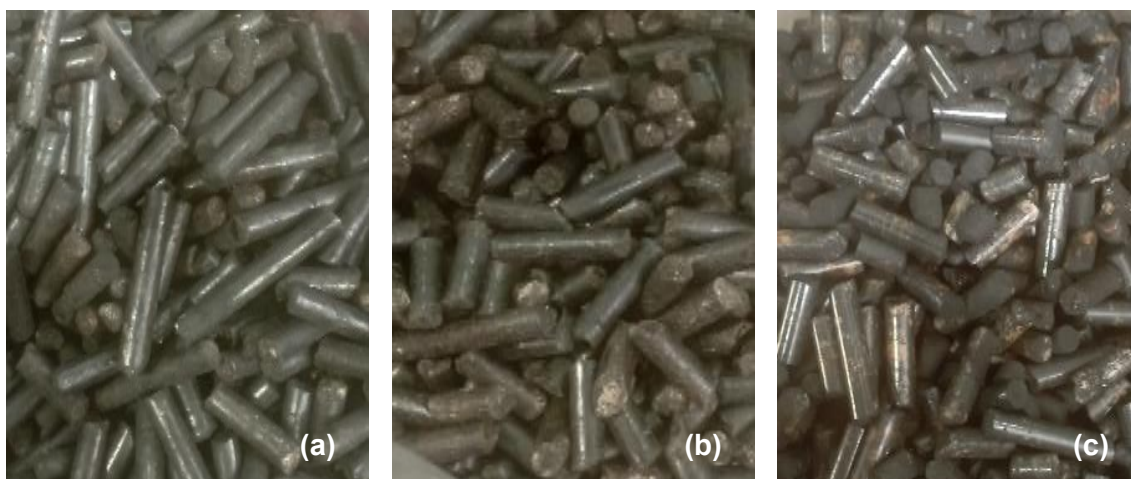


Figura 16 - Imagens dos produtos produzidos a partir das três misturas de biochar e estrume de aves. Mistura 1 (a), Mistura 2 (b) e Mistura 3 (c)

Para granular as misturas foram feitas várias tentativas, pois inicialmente os grânulos não saíram com boa consistência e desfaziam-se facilmente. Com isso, foi necessário utilizar matrizes na granuladora com baixa taxa de compressão, pulverizar água nas misturas para “amaciar” a granulação e baixar o tempo de pausa de lubrificação dos rolos das granuladoras.

Com o objetivo de obter melhores resultados dos produtos finais, com maior durabilidade e com boa consistência, o estrume de aves foi colocado a secar ao ar até atingir uma humidade inferior a 40% (Figura 17). Posteriormente foram

repetidas as três misturas anteriormente referidas. Na Tabela 1 apresentam-se as especificações do estrume de aves.

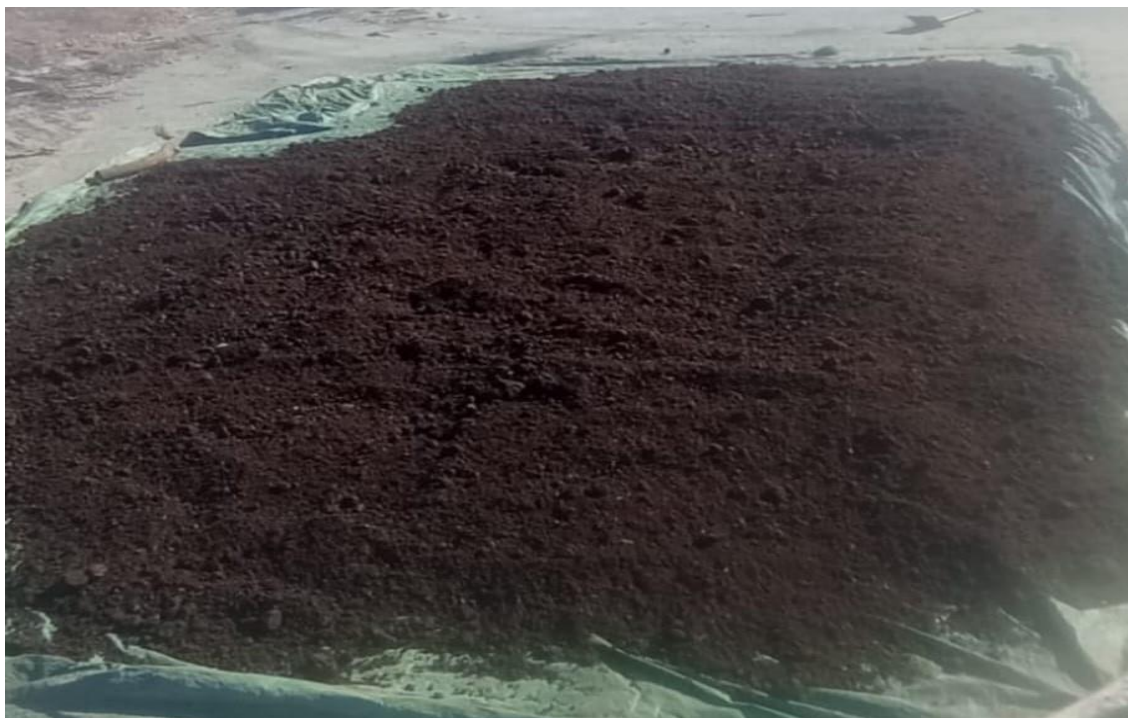


Figura 17 - Composto orgânico de estrume de aves secando ao ar

Tabela 1 - Especificações do composto orgânico comprado (estrume de aves)

Parâmetro / Método	Resultado
Humidade* POAC.002 / Gravimetria	70,9 ± 0,6 %
pH* POAC.003 / Potenciometria	7,55 ± 0,1
Condutividade elétrica* POAC.004 / Condutimetria	5,1 ± 0,2 mS/cm
Carbono orgânico POAC.005 / Catarometria	36,2 ± 0,1 %
Matéria orgânica POAC.005 / Cálculo	62,4 ± 0,2 %
Azoto total POAC.006 / Catarometria	2,31 ± 0,05 %
Azoto amoniacal* POAC.008/Extração em água/Espectrometria	834 ± 12 mg/kg
Azoto nítrico* POAC.007/Extração em água/Potenciometria	1724 ± 18 mg/kg
Razão Carbono: Azoto Cálculo	15,7

P2O5 solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009/Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ /ICP-OES	3,48 ± 0,20 %
K ₂ O solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	2,01 ± 0,10 %
Cálcio solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	6,84 ± 0,40 %
Magnésio solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	1,01 ± 0,01 %
SO ₃ solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	1,71 ± 0,20 %
Boro solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	41,9 ± 0,7 mg/kg
Ferro solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	2574 ± 46 mg/kg
Manganês solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	904 ± 8 mg/kg
Molibdénio solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	7,60 ± 0,05 mg/kg
Sódio solúvel em HNO ₃ /H ₂ O ₂ POAC.009 / Extração com HNO ₃ e H ₂ O ₂ / ICP-OES	0,20 ± 0,02 %
Cádmio solúvel em água regia / Cádmio total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	0,46 ± 0,02 mg/kg
Crómio solúvel em água regia / Crómio total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	9,7 ± 0,6 mg/kg
Cobre solúvel em água regia / Cobre total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	121,4 ± 0,3 mg/kg
Mercúrio solúvel em água regia/Mercúrio total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	< 0,05 mg/kg
Níquel solúvel em água regia / Níquel total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	6,6 ± 0,4 mg/kg
Chumbo solúvel em água regia / Chumbo total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	2,3 ± 0,3 mg/kg
Zinco solúvel em água regia / Zinco total POAC.010 / Extração em água regia / ICP-OES	573 ± 7 mg/kg
Ácidos húmicos POAC.011/Extração com HMP de sódio/ Gravimetria	3,9 ± 0,2 %
Ácidos fúlvicos POAC.011 / Extração com HMP de sódio / Espectrometria	0,3 ± 0,1 %

(*) Os resultados referem-se aos valores obtidos na matéria fresca.

Os produtos finais foram enviados para a Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Coimbra para realização de experiências com aplicação dos produtos no solo em diferentes culturas incluindo cereais, vinha e hortícolas.

4. CONCLUSÃO

Com base em todas as funções desempenhadas, este estudo mostrou a viabilidade e a importância da produção sustentável de biocombustíveis, a partir do fabrico de carvão biológico e de *pellets*. A utilização de subprodutos de madeiras e de espécies invasoras como matéria-prima na produção de energia, além de contribuir para a gestão eficiente de resíduos, também contribuiu para o controlo de espécies que podem vir a interferir nos ecossistemas nativos.

A experiência adquirida nas fábricas da Aleatory Concept, possibilitou uma melhor compreensão dos processos envolvidos na transformação de biomassa em fontes de energia. O projeto KoolBiochar demonstra um avanço significativo nos estudos para desenvolver um produto para solos com baixa infiltração de água e pobres em nutrientes, com grande potencial em melhorar a qualidade do solo e promover a agricultura sustentável.

Este estudo ressalta a necessidade de inovação e de práticas sustentáveis nas pequenas e grandes indústrias de biocombustíveis, visando não somente a produção de energia, mas também a preservação dos ecossistemas nativos para garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

- L. Abt, K. L., Abt, R. C., Galik, C. S., Kenneth E. Skog, K. E., 2014. Effect of policies on pellet production and forests in the U.S. South: a technical document supporting the forest service update of the 2010 RPA Assessment. USDA forest Service. 20 p.
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A., 2010. Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits from Biochar Application to Temperate Soils: A Review. *Plant and Soil* 337, 1-18.
- Arantes, M. D. C., 2009. Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Lavras, Minas Gerais: UFLA.
- Bassey, E. E., Oko, O. V., 2023. Biochar: a mechanism of soil amendment for agricultural productivity. *Global Journal of Agricultural Sciences* 22, 147-152.
- Brown, R., 2009. Biochar production technology. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan, p. 127-148.
- Brownsort, P. A., 2009. Biomass pyrolysis processes: review of scope, control and variability. United Kingdom Biochar Research Centre, London, v. 1, p. 1-39.
- Carlton, J. T., 1996. Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. *Biological Conservation* 78, 97-106.
- Dias Júnior, A. F.; Andrade, C. R.; Brito, J. O.; Milan, M., 2015. Desdobramento da função qualidade na avaliação da qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos. *Floresta & Ambiente* 22 (2), 262-270.
- EA, 2015. Estatísticas Agrícolas 2014. S. L. Instituto Nacional de Estatística.
- European Pellet Council, 2013. Handbook for Certification of Wood Pellets for Heating Purposes. Version 2.0. 46 p.
- Flach, B., Bendz, K., Krautgartner, R., Lieberz, S., 2013. *Eu Biofuels Annual 2013*. USDA Foreign Agricultural Service. 34 p.
- Genovesi, P., 2005. Eradications of invasive alien species in Europe: a review. *Biological Invasions* 7, 123-133.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W., 2001. The "Terra Preta" Phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, Berlin, v. 88, p. 37-41.
- Ju Villar, J. B., 1980. Tecnologia de transformação de madeira em carvão. In: *Uso da madeira para fins energéticos*. Publicação Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, v. 1, p. 67-82. Belo Horizonte.
- Kaliyan, N., Morey, V., 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass & Bioenergy*, 33, 337-359.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009. Biochar for Environmental Management: an Introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan. p. 1-12.

Li, Y., Liu, H., 2000. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass & Bioenergy* 19, 177-186.

Liberal, M., Esteves, M., (1999). Invasão da *Acacia dealbata* no Parque Nacional da Peneda Gerês. Ed. SPCF/ADERE. 1º Encontro Sobre Invasoras Lenhosas. Gerês.

Mccarl, B. A., Peacocke, C., Chrisman, R., Chih-Chun, K., Sands, R. D., 2009. Economics of biochar production, utilization and gas offsets. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Ed). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan. p. 341-356.

Moiseyev, A., Solberg, B., Kallio, A. M. I., Lindner, M., 2011. An economic analysis of the potential contribution of forest biomass to the EU RES target and its implications for the EU forest industries. *Journal of Forest Economics*, Umea, v. 17, p. 197-213, 2011.

Novotny, E., 2009. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 20 (6), 1003-1010.

Pellet Atlas, 2009. Advancement of pellets-related European standards. Munich: WIP Renewable Energies, 2009. p. 26. <Disponível em: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/pelletslas_pellet_standards.pdf

Rebelo, I. M. C., 2016. Avaliação das potencialidades da madeira de *Acacia longifolia* W. para produção de carvão vegetal.

Rei, M. A., 1924. *Pinhais e Dunas de Mira. Subsídios para a sua história: 1919-1924*. Tipografia Popular. Figueira da Foz.

Ribeiro, L. M., Muniz, J. M., 2011. Descrição arborística das praças públicas da cidade de Campanha (MG) e sua relação com a Educação Ambiental. X Congresso de Ecologia do Brasil, São Lourenço, MG.

Santana, O. B., Encinas, J. I., 2008. Levantamento das espécies exóticas arbóreas e seu impacto nas espécies nativas em áreas adjacentes a depósitos de resíduos domiciliares. *Biotemas* 21 (4), 29-38.

Sohi, S. P., 2010. Review of biochar and its use and function in soil. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Burlington: Academic Press. p. 47-82.

IPCC, 2014. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.

Tromborg, E., Ranta, T., Schweinle, J., Solberg, B., Skjevraak, G., Tiffany, D., 2013. Economic sustainability for wood pellets production: a comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. *Biomass & Bioenergy* 57, 68-77.

Whibley, D. J. E., 1980. *Acacias of South Australia*. D. J. Woolman. South Australia.

Wolf, A., Vidlund, A., Andersson, E., 2006. Energy-efficient pellet production in the forest industry – a study of obstacles and success factors. *Biomass & Bioenergy* 30 (1), 38-45.

Ziller, S. R., 2001. Os processos de degradação ambiental originados por plantas exóticas invasoras. Revista Ciência Hoje20 (178), 77-79.