



**Daniel Arvins de
Oliveira**

**A utilização de biochar na melhoria do potencial
produtivo de povoamentos de eucalipto**



**Daniel Arvins de
Oliveira**

**A utilização de biochar na melhoria do potencial
produtivo de povoamentos de eucalipto**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria de Fátima Lopes, Professora Auxiliar com Agregação do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, do Doutor Jan Jacob Keizer, Investigador Principal do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e do Doutor Frank Verheijen, Investigador Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dedicado à minha Mãe e ao meu Pai pelo seu incansável e constante apoio.

o júri

presidente

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Doutor Jan Jacob Keizer
Equiparado a Investigador Principal, Universidade de Aveiro

Doutora Carla Sofia Santos Ferreira
Bolsista Pós-Doutoramento, CERNAS – Escola Superior Agrária de Coimbra

agradecimentos

A realização deste relatório não teria sido possível sem o contributo de muitas pessoas a quem devo um especial agradecimento.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a toda a equipa de trabalho da AFBV, nomeadamente ao Eng^o Luís Sarabando, Eng^a Catarina Aguiar e ao restante staff, assim como também à sua equipa de sapadores, pela sua cordialidade, disponibilidade e pelo muito que aprendi com todos. Um obrigado também por me receberem como parte da sua equipa de trabalho.

Agradeço também à UA, e mais concretamente a toda a equipa do Centro de Estudos Ambientais e Marinho (CESAM), pela sua ajuda e disponibilidade constante demonstrada no decorrer desta tese, nomeadamente ao Dr.^o Jan Jacob Keizer e ao Dr.^o Frank Verheijen. Agradeço também a todos os elementos desta equipa com quem participei em atividades na UA e no campo, nomeadamente à Dr.^a Isabel Campos, ao Dr.^o Oscar Pelayo, à Dr.^a Bruna Oliveira, entre outros.

Um enorme obrigado ao Instituto de Investigação da Floresta e Papel (RAIZ), nomeadamente à Dr.^a Ana Quintela pela sua preciosa ajuda nos trabalhos de campo e na posterior análise dos resultados das amostras de solo e também à Ibero Massa Florestal (IBM) por ter fornecido o biochar necessário para a realização deste ensaio de campo.

Por último, os mais importantes, um grandioso agradecimento aos meus Pais pelas oportunidades e força que me dão todos os dias, e pelos valores e objectivos que em mim inculiram. Um especial agradecimento também ao meu irmão, amigos e familiares.

Obrigado!

palavras-chave

AFBV, Biochar, Reflorestação, Eucalipto, Fertilizante

resumo

O presente relatório surgiu na sequência da realização de um estágio curricular na Associação Florestal do Baixo Vouga. O objetivo passou pela avaliação do possível contributo de uma inovadora prática de gestão florestal, tratando-se da aplicação de biochar aos solos, produzido a partir de resíduos florestais em solos de plantações florestais recentemente estabelecidas.

Esta prática é vista como uma medida de adaptação às alterações climáticas, utilizada como medida de mitigação destas alterações, nomeadamente através do sequestro de carbono no solo e, conseqüentemente, aumentando as taxas de sobrevivência e crescimento de plantas jovens.

Para isso foi então celebrado um protocolo de cooperação na área do desenvolvimento sustentável do território entre a UA e AFBV, tendo-se realizado um ensaio de campo de forma a testar esta hipótese. Este ensaio de campo decorreu numa propriedade sob gestão da AFBV, em Vale Domingos, concelho de Águeda. Foi testada a aplicação de biochar ao solo a um total de 126 plantas de *Eucalyptus Globulus*, com tratamentos diferenciados, entre tratamentos com Biochar, Biochar Plus ou controlo, e com ou sem fertilizante.

Os resultados demonstram que a aplicação de biochar (Biochar e Biochar Plus) aos solos, quando aplicado sem a adição de fertilizante, não afecta o crescimento das plantas jovens de Eucalipto. Não se evidenciaram diferenças de crescimento significativas entre as plantas jovens submetidas a um tratamento somente com fertilizante e as plantas submetidas a um tratamento com biochar misturado com o fertilizante. As diferenças acentuadas no crescimento das plantas jovens foi evidenciado entre as plantas submetidas a um tratamento que incluía a adição de fertilizante e as que só possuíam biochar ou controlo, afirmando assim a importância da adição de fertilizante aos solos. Existem também algumas indicações de que a adição de biochar em conjunto com o fertilizante pode aumentar moderadamente o crescimento das plantas, isto em comparação com os tratamentos que só possuem fertilizante, mas os resultados não foram inteiramente conclusivos e requerem mais pesquisas.

A elaboração deste relatório de estágio foi então de grande utilidade para o meu desenvolvimento pessoal, tanto pela sua componente de estágio curricular, que possibilitou o contacto e integração em ambiente empresarial, como também pelas competências adquiridas em relação ao desenvolvimento de um estudo sobre a aplicação de biochar aos solos de plantações de eucalipto e as suas potencialidades.

keywords

AFBV, Biochar, Reforestation, Eucalyptus, Fertilizer

abstract

This report was the result of a curriculum internship at the Baixo Vouga Forest Association. The aim of this report is to evaluate the possible contribution of an innovative forest management practice. This is the application of biochar, produced from forest residues to the soils of newly established forest plantations.

This practice is envisaged as a measure of adaptation to climate changes, used as a mitigation measure for climate change, particularly through carbon sequestration in the soil and consequently increasing survival and growth rates of young plants.

Therefore, a cooperation protocol in the sustainable development of the territory area was signed between the UA and AFBV, and a field trial was carried out to test this hypothesis. This field trial was carried out on a property under management of the AFBV, located in Vale Domingos, Águeda. The application of biochar to the soil was tested in a total of 126 *Eucalyptus Globulus* plants with different treatments between Biochar, Biochar Plus and Control, and with or without fertilizer.

The results of this field trial showed that the application of biochar (Biochar and Biochar Plus) to soils, when applied without the addition of fertilizer, does not affect the growth of young Eucalyptus plants. No growth differences were observed between young plants submitted to a fertilizer-only treatment and plants submitted to a biochar treatment mixed with the fertilizer. The marked differences in growth of young plants were evidenced between plants undergoing a treatment that included the addition of fertilizer and those that only had biochar or control, thus affirming the importance of adding fertilizer to the soil. There are also some indications that the addition of biochar in conjunction with fertilizer may moderately increase plant growth, compared to treatments that have only fertilizer alone, but the results have not been entirely conclusive and require further research.

The preparation of this report was then very useful for my personal development, both for its component of internship, which enabled the contact and integration in business environment, as well as the skills acquired in relation to the development of a study on the application of biochar to the soils of eucalyptus plantations and their potentialities

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

Índice de figuras.....	xxi
Índice de gráficos.....	xxiii
Índice de tabelas.....	xxv
Lista de acrónimos.....	xxvii
1–INTRODUÇÃO.....	1
2– ASSOCIAÇÃO FLORESTAL DO BAIXO VOUGA.....	3
2.1- AFBV.....	3
2.1.1– Seu enquadramento e localização geográfica.....	3
2.1.2– Seus objectivos.....	4
2.1.3– Serviços Florestais.....	4
2.1.4– Âmbito.....	4
2.2– Espaços florestais.....	5
2.2.1– Ocupação dos espaços florestais na região do Baixo Vouga.....	5
2.2.2– Importância económica do eucalipto para a região do Baixo Vouga.....	6
2.3- Exploração da biomassa.....	6
2.4– Outros parceiros.....	7
3–BIOCHAR.....	8
3.1- Biochar como ferramenta de gestão ambiental.....	8
3.2- Perspetiva histórica.....	9

3.3- Produção de biochar.....	9
3.3.1– Matéria-Prima.....	9
3.3.2- Pirólise de biomassa.....	10
3.4- Propriedades física e químicas do biochar.....	11
3.5- Influência do biochar nas emissões de gases de efeito estufa.....	11
3.6- Viabilidade económica do biochar.....	12
3.7- Biochar e o reflorestamento.....	13
3.8- Eucalipto e Biochar.....	14
4- METODOLOGIA.....	16
4.1- Localização geográfica e seu enquadramento.....	16
4.2-Tratamentos e desenho experimental.....	17
4.2.1- Tratamentos.....	18
4.2.2- Desenho experimental.....	18
4.3- Preparação do solo.....	20
4.4- Plantação e aplicação do biochar.....	20
4.5– Materiais/métodos da análise química para a caracterização inicial do solo e do biochar.....	21
4.6- Campanhas de monitorização.....	22
4.6.1- Coleta de dados.....	23
5- RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO.....	24
5.1- Resultados da análise química para a caracterização inicial do solo e do biochar.....	24
5.1.1- Amostragem inicial do solo.....	24
5.1.2 -Biochar normal e Biochar Plus.....	25
5.2- Avaliação da sobrevivência e trabalhos de retanchar.....	25
5.3- Amostragens do solo.....	25

5.3.1- 1º Campanha de monitorização.....	25
5.3.1.1– Área Plana.....	26
5.3.1.2– Área dos Terraços.....	28
5.3.2–.2º Campanha de monitorização.....	28
5.3.2.1– Área Plana.....	29
5.3.2.2- Área dos Terraços.....	30
5.3.3- Discussão da amostragem do solo das plantações submetidas aos diferentes tratamentos.....	31
5.4- Morfologia das plantas.....	32
5.4.1- Área Plana.....	32
5.4.2- Área dos Terraços.....	33
5.5- Comparação do desenvolvimento morfológico das plantas de eucalipto.....	34
5.5.1- Área Plana.....	34
5.5.2– Área dos Terraços.....	35
5.6 - Análise dos principais resultados.....	36
6- GANHOS AMBIENTAIS E DE PRODUTIVIDADE.....	39
7- CONCLUSÃO.....	40
8- REFLEXÕES FUTURAS.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS.....	49

Índice de figuras

Figura 1-Localização geográfica da UGF.....	3
Figura 2- Empresas e Entidades apoiantes deste projecto.....	7
Figura 3- Diferenças na estrutura de biochar produzido através do mesmo tipo de resíduos de biomassa.....	11
Figura 4 - Índice de qualidade Dickson de mudas de eucalipto tratadas com lamas de ETAR (SS) e lamas de ETAR biochar, com e sem fertilizante, sob condição de estufa; Eq1: Índice de Qualidade de Dickson.....	15
Figura 5 – Localização geográfica de Vale Domingos e panorâmica geral do povoamento instalado a 20 de Junho de2016.....	16
Figura 6 – Teste de incubação para o Biochar Normal e Plus com diferentes concentrações de biochar.....	17
Figura 7 –Esquema de tratamento para as plantas da área plana.....	18
Figura 8 – Esquema de tratamento para as plantas da área dos terraços.....	19
Figura 9 – Esquema ilustrativo da metodologia utilizada para a plantação e aplicação do biochar.....	21

Índice de gráficos

Gráfico 1- Ocupação dos espaços florestais arborizados na UGF (IFN 2005).....	5
Gráfico 2- Relação entre o pH do solo e a adição de biochar normal e biochar plus.....	17
Gráfico 3- Média da altura para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na area plana.....	34
Gráfico 4- Média do diâmetro do caule para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área plana.....	35
Gráfico 5- Média da altura para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área dos terraços.....	35
Gráfico 6- Média do diâmetro do caule para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área dos terraços.....	36

Índice de tabelas

Tabela 1- Identificação dos tratamentos, respectivas quantidades de solo, Biochar, adubo aplicado e número de plantas/tratamento, no ensaio Biochar1 (área plana) e Biochar 2 (área dos terraços).....	18
Tabela 2- Calendarização das atividades de monitorização realizadas nos campanhas de monitorização.....	22
Tabela 3- Efeitos dos diferentes tratamentos nas propriedades do solo.....	31
Tabela 4- - Média da altura e do diâmetro do caule para as plantas da área plana.....	33
Tabela 5- Média da altura e do diâmetro do caule para as plantas da área dos terraços..	33

Lista de acrónimos

AFBV- Associação Florestal do Baixo Vouga
B - Boro
Ca – Cálcio
CO – Monóxido de carbono
CO₂ – Dióxido de carbono
Cu- Cobre
Dc- Diâmetro do caule
EA- Entidade de Acolhimento
ETAR – Estação de tratamento de águas residuais
Fe – Ferro
H- Height (Altura)
ICP-OES – Espectrometria de emissão óptica com plasma
IMF- Ibero Massa Florestal
ISO - Organização Internacional para Padronização
m - Metro
mm - Milímetro
Mg- Magnésio
Mn- Manganês
N- Nitrogênio
Na- Sódio
NPK – Fertilizante inorgânico
P- Fósforo
K- Potássio
RAIZ- Instituto de Investigação da Floresta e Papel
SGFS- Sistema de gestão florestal sustentável
T0- Tratamento controlo sem adição de fertilizante
T0A- Tratamento controlo com adição de fertilizante
T1- Tratamento com Biochar sem adição de fertilizante
T2- Tratamento com Biochar com adição de fertilizante
T3- Tratamento com Biochar Plus sem adição de fertilizante
T4- Tratamento com Biochar Plus com adição de fertilizante
UA- Universidade de Aveiro
UGF- Unidade de Gestão Florestal
Zn- Zinco

1- INTRODUÇÃO

Recentemente a Associação Florestal do Baixo Vouga e a Universidade de Aveiro celebraram um protocolo de cooperação na área do desenvolvimento sustentável do território.

Este trabalho insere-se no Mestrado em Engenharia do Ambiente da UA, tendo sido realizado um estágio curricular com uma duração de 6 meses na AFBV, tendo sido desenvolvido no período de Dezembro de 2016 a Julho de 2017 e cujo tema foi o contributo da aplicação de biochar ao solo para uma gestão sustentável de plantações de eucalipto.

Numa primeira fase do estágio, deu-se a familiarização com a empresa, o seu funcionamento e suas atividades. Procedi a um estudo sobre a implementação e manutenção da política florestal (Anexo A) para esta unidade de gestão florestal, tendo-me sido para isso fornecidos vários elementos, nomeadamente:

- O NP4406: norma que especifica os requisitos de um sistema de gestão florestal responsável, de forma a permitir que qualquer responsável pela UGF, defina uma política florestal e objetivos atendendo às exigências legais, aos critérios pan-europeus para uma gestão florestal responsável e aos aspetos da sua atividade com potencial impacto social, económico e ambiental;
- A caracterização da região: enquadramento da região do Baixo Vouga, os seus aspetos sociais, de mercado e ambientais;
- Planos de gestão florestal/modelos de silvicultura: métodos naturais e artificiais para regeneração e melhoramento de povoamentos florestais;
- A avaliação de impactes ambientais e socioeconómicos: são identificadas as várias atividades a desenvolver e avaliados os impactos a eles associados, bem como são apresentadas medidas mitigadoras para cada um destes impactes.
- O Referencial Técnico regional: integra um conjunto de disposições e recomendações para uma gestão florestal responsável, retratando as atividades aplicáveis na região NUT III Baixo Vouga, tendo em vista a geração de impactes positivos ou a minimização de impactes negativos sobre os ecossistemas e a sociedade
- Planos de intervenção florestal: consiste no preenchimento da ficha de parcela após uma visita de campo.

Procedi também ao estudo e análise da legislação e regulamentos aplicáveis à AFBV.

Numa segunda fase do estágio procedeu-se ao início da pesquisa de artigos e estudos relacionados com o desenvolvimento e a temática do relatório de estágio.

De forma a testar o contributo do biochar na melhoria potencial produtivo de povoamentos de eucalipto, a temática deste relatório de estágio, em Junho de 2016 foram plantadas 126 plantas de eucalipto numa propriedade sob gestão da AFBV, em Vale Domingos, concelho de Águeda. Através da monitorização desta plantação tem-se por objetivo a avaliação dos efeitos da aplicação do biochar sobre o crescimento morfológico das plantas, avaliando também os seus efeitos nas características físicas e químicas do solo onde serão plantadas. Este ensaio funciona também como um estudo da viabilidade económica da produção e utilização de biochar na silvicultura de eucalipto.

A duração total prevista para este ensaio é de 2 anos, estando previsto a sua monitorização e posterior avaliação dos resultados, bem como o desenvolvimento de acções futuras.

Este trabalho irá assim debruçar-se sobre os resultados ocorridos no 1º ano de desenvolvimento do mesmo, sendo já possível uma avaliação conclusiva, uma vez que o arranque e crescimento inicial já poderão ser avaliados e espera-se que a reação do biochar com o solo já tenha estabilizado.

O projeto é de iniciativa da AFBV, com o apoio da UA e do RAIZ, tendo a Ibero Massa Florestal fornecido o biochar necessário para a realização do ensaio de campo.

Em conjunto com os objetivos curriculares, desenvolvi também um conjunto de atividades de enriquecimento pessoal com a AFBV, nomeadamente o acompanhamento de uma saída de campo e compreensão do preenchimento de uma ficha parcela, o preenchimento, digitalização e organização de documentos de Controlo de Produtos Certificados e de Manifesto de corte, assim como a sua atualização no servidor da AFBV, o manuseamento do sistema de apoio à gestão florestal, ForgestWeb, onde procedi a uma análise de programas de intervenção florestal, analisando também restrições, estação, povoamentos e intervenções de um titular de vários prédios rústicos, registando também as intervenções não efetuadas para um dado titular, entre outras atividades. Efetuei também um conjunto de atividades na UA, como a ajuda na análise de amostras de solo, o acompanhamento em trabalho de campo (Anexo B), entre outras atividades.

Este estágio curricular foi compreendido como um espaço de aproximação real entre a universidade e o mercado de trabalho, o que possibilitou uma integração à realidade social e participação no processo de desenvolvimento florestal da região do Baixo Vouga. A prática, a dedicação e a disciplina adquiridas durante o período de estágio agregaram valor e conhecimento à minha carreira.

2- ASSOCIAÇÃO FLORESTAL DO BAIXO VOUGA

2.1- AFBV

A AFBV, constituída a 27 de Agosto de 1999, surge da necessidade de unir os proprietários florestais em prol de um desenvolvimento sustentado do recurso “Floresta”. Define-se como uma associação privada de proprietários e produtos florestais, sem fins lucrativos. Possui como principal objetivo a promoção de uma boa gestão e defesa das áreas florestais dos seus associados.

2.1.1- Seu enquadramento e localização geográfica

A área social da AFBV abrange os concelhos de Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveirado do Bairro, Ovar, Sever do Vouga e Vagos, contabilizando uma área total de 169.270 ha, dos quais 48% dizem respeito a superfícies florestais, sendo o Eucalipto e o Pinheiro Bravo as duas principais espécies de ocupação. A AFBV representa atualmente mais de 850 produtores e cerca de 20% da superfície florestal da região do Baixo Vouga.

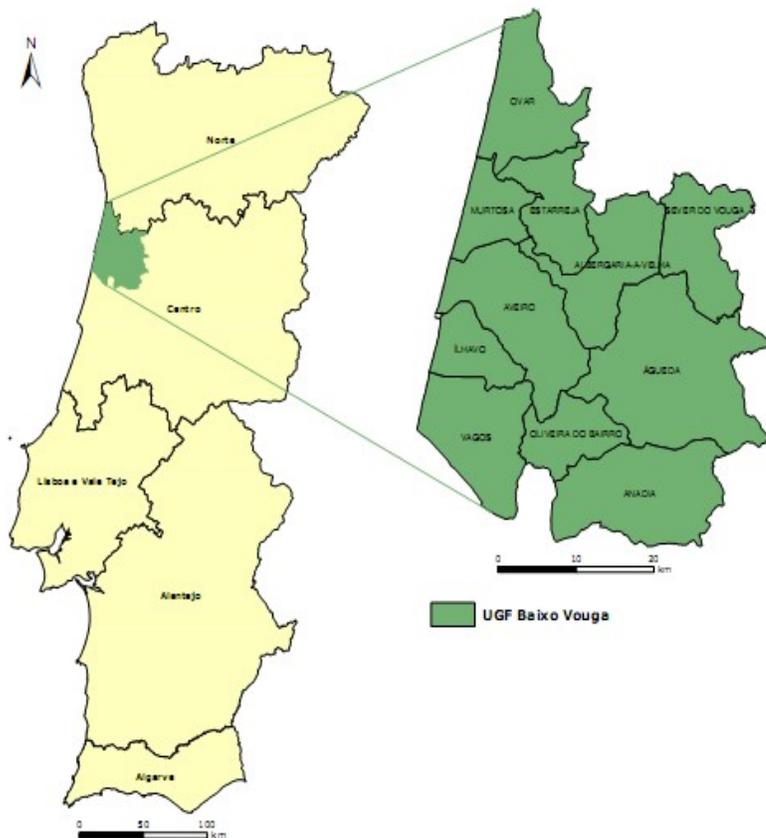


Figura 1- Localização geográfica da UGF.

Através da sua dedicação e trabalho, a AFBV demonstra que é possível fazer da floresta uma zona mais cuidada, mais protegida e que salvaguarde os valores ambientais e patrimoniais, produtora de emprego e geradora de riqueza para a região do Baixo Vouga.

2.1.2- Seus objetivos

Os principais objetivos da AFBV estão identificados como:

- A promoção do associativismo de produtores florestais;
- A melhoria do nível de informação e formação dos produtores florestais;
- O apoio técnico às áreas florestais dos associados;
- A representação dos produtores florestais junto das entidades de tutela e fileira;
- A dinamização das relações interinstitucionais com vista à promoção da floresta na região;
- O apoio à defesa da floresta contra incêndios; (www.afbaixovouga.pt)

2.1.3– Serviços Florestais

A AFBV acredita que através de uma gestão adequada do setor florestal é possível rentabilizar o investimento na floresta. Para isso a AFBV oferece um conjunto de serviços aos proprietários e produtores florestais, orientados para um melhoramento na gestão das explorações, recorrendo ao uso de boas práticas florestais, nomeadamente novas e inovadoras técnicas com menor impacto ambiental.

2.1.4- Âmbito

A AFBV preside à Associação para a Certificação Florestal do Baixo Vouga, constituída com o objetivo de promover a certificação florestal na região NUTS III do Baixo Vouga. Esta associação implementa um SGFS de acordo com o referencial normativo NP 4406, com vista ao desenvolvimento do setor florestal da região. Esta mesma política florestal da região do Baixo Vouga pode ser encontrada no Anexo C.

2.2- Espaços florestais

A floresta do Baixo Vouga representa um dos recursos naturais mais importantes, tanto ao nível da preservação da natureza, como do aproveitamento económico para a região do Baixo Vouga.

Na informação recolhida através do 5º Inventário Floresta Nacional (IFN) de 2005 (Anexo D), são apresentados dados tabelados e um gráfico da distribuição das principais classes de ocupação do solo na UGF Baixo Vouga. Verifica-se que os espaços florestais ocupam agora 48% da área total (81.826 ha).

2.2.1- Ocupação dos espaços florestais na região do Baixo Vouga

Os espaços florestais na Região Baixo Vouga ocupam 81.826 ha, dos quais cerca de 93% correspondem a espaços florestais arborizados - povoamentos. A análise da distribuição das áreas de povoamentos florestais por espécie de árvore dominante (Gráfico 1) mostra que os povoamentos são na sua vasta maioria (95%) constituídos por duas espécies: eucalipto (67%) e pinheiro bravo (28%).

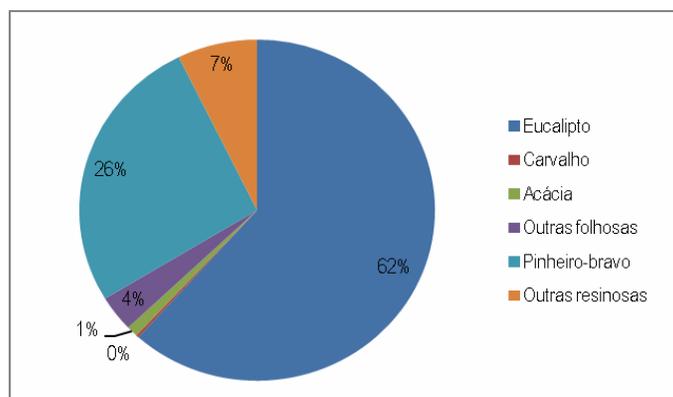


Gráfico 1. Ocupação dos espaços florestais arborizados na UGF (IFN 2005).

Com os dados obtidos para a região do Baixo Vouga e tendo por base o IFN de 1995 e o de 2005, verifica-se um aumento da área ocupada por eucalipto e uma redução das áreas de ocupação de outras espécies florestais, tais como o Pinheiro Bravo .

A floresta desta região do Baixo Vouga pertence na sua maioria a proprietários florestais privados, destacando-se também o elevado número de parcelas de dimensões reduzidas, fragmentadas e dispersas pelo território.

É devido a estas características de ocupação dos espaços florestais que impera a necessidade de os produtores florestais se organizarem, surgindo assim o associativismo

como forma de apoiar o pequeno proprietário florestal na realização de trabalhos a partir de uma gestão conjunta, sendo assim uma das soluções para o desenvolvimento sustentável da floresta.

2.2.2- Importância económica do Eucalipto para a região do Baixo Vouga

Um dos principais desafios da AFBV em relação à plantação de eucalipto passa pela melhoria dos índices de produtividade dos povoamentos existentes garantindo, em simultâneo, o respeito por valores de natureza ambiental e social. Assim a silvicultura de eucalipto deve integrar em todas as suas fases (plantação, manutenção e a sua exploração) os melhores conhecimentos, inovações e boas práticas que permitam atingir este objetivo.

A maioria das espécies de Eucalipto são nativas da Austrália, sendo caracterizadas por um crescimento rápido e alta tolerância a condições adversas como a seca, fogo, insetos e acidez do solo, permitindo um alto sucesso como planta exótica (Rockwood et al., 2008). Devido ao seu rápido crescimento, a sua produtividade é maximizada por rotações curtas (Rockwood et al., 2008). A idade de corte representa uma das principais variáveis de decisão em planos de manejo florestal. A condução dos talhões de eucalipto geralmente é realizada para corte aos 7, 14, e 21 anos, 3 ciclos de corte para uma mesma muda original (Rockwood et al., 2008).

Na região do Baixo Vouga, em relação ao eucalipto, o seu lenho, devido às maiores taxas de crescimento, propriedades de polpa superiores e adaptabilidade ambiental, tem como principal destino a produção de pasta de papel (PROF Centro Litoral 2006). Este destino do lenho de eucalipto pode ser explicado pela existência do Complexo Industrial de Cacia, onde a sua produção atinge um volume na ordem das 320 mil toneladas de pasta branqueada de eucalipto.

2.3- Exploração da Biomassa

A biomassa florestal removida nos trabalhos de preparação do terreno, roça de mato, limpeza de povoamentos, desramações e primeiros desbastes, raras vezes proporciona produtos utilizáveis pela indústria, podendo nessas circunstâncias ser aproveitado como fonte renovável para valorização energética (Referencial Técnico Regional), ou, como será mais tarde abordado neste trabalho, ser utilizada para produção de biochar.

No Anexo E encontram-se tabelados os valores em toneladas de biomassa florestal residual para alguns concelhos da UGF, sendo a sua origem dos cortes finais e dos desbastes. A maior parte dos resíduos provêm de povoamentos de eucalipto, 66% do total, contra os 34% de resíduos dos povoamentos de pinheiro bravo.

2.4- Outros parceiros

Este projeto é de iniciativa da AFBV, com o apoio da UA e do RAIZ, tendo a IMF fornecido o biochar necessário para a realização do ensaio de campo.

O CESAM, Laboratório Associado da Universidade de Aveiro na área dos Estudos do Ambiente e do Mar, foi fundado em 2005, sendo constituído por cerca de 500 investigadores de cinco diferentes departamentos da UA (Ambiente e Ordenamento, Biologia, Física, Geociências e Química), incluindo também alguns membros da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. O seu principal objetivo passa pelo desenvolvimento de investigação na área do Ambiente Costeiro e Marinho, entendido de uma forma integrada envolvendo a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera, a litosfera e a antroposfera.

Tendo iniciado a sua atividade em Janeiro de 1996, o RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e Papel, assegura a atividade de investigação da The Navigator Company, quer para a área florestal, quer para a industrial. É um organismo privado, sem fins lucrativos, que tem como objetivo reforçar a competitividade dos setores florestal e papelero através da investigação, do apoio tecnológico e da formação especializada.

Criada em 2011, a Ibero Massa Florestal, Lda, é uma empresa pioneira na produção e comercialização de biocarvão para utilização doméstica e agrícola, sendo também responsável pelo desenvolvimento e criação do Biopower e de Biochar.



Figura 2- Empresas e Entidades apoiantes deste projecto.

3- BIOCHAR

O biochar é um tipo de carvão vegetal que pode ser definido como biomassa carbonizada, fabricada a partir da transformação térmica de biomassa em carvão com fraca ou nula presença de oxigênio, num processo exotérmico denominado de pirólise (Lehmann et al, 2009). A biomassa é definida como a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias, enquanto o processo, a pirólise, envolve o aquecimento de matéria orgânica na ausência de oxigênio, e o produto resultante, rico em carbono, é chamado de biochar, quando se destina a ser utilizado em solos. Através da seleção de materiais específicos de biomassa e ajustando a temperatura e a duração da pirólise, é possível criar vários tipos de biochar. (Lehmann et al., 2009).

Ao contrário do biochar, a formação de carvão ocorre espontaneamente na natureza, onde o material orgânico é parcialmente queimado, não estando associado a nenhum tipo de processo controlado. O termo biochar é relativamente recente sendo estabelecido que este será aplicado ao solo de forma deliberada, com a intenção de melhorar as propriedades do solo, distinguindo assim o biochar do “comum” carvão vegetal, sendo esta diferenciação muito importante do ponto de vista ambiental e da qualidade do solo (Verheijen et al., 2010).

3.1- Biochar como ferramenta de gestão ambiental

As qualidades do biochar dependem da sua superfície específica, porosidade e das concentrações de nutrientes (Petter and Madari, 2012), sendo a matéria-prima também um fator importante nas suas propriedades (Mukome et al., 2013).

A aplicação de biochar aos solos é considerada como uma ferramenta de gestão ambiental para alcançar uma produção sustentável de madeira (Novotny et al., 2009), permitindo também um aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos (Glaser et al., 2002), melhorando também o teor de nitrogênio e carbono dos solos. Quando aplicado ao solo, o biochar possui a capacidade de criar uma reserva de carbono recalcitrante com carga negativa, retirando CO₂ da atmosfera e armazenado o mesmo no solo sob a forma de carbono recalcitrante.

Vários estudos demonstram então, que a sua aplicação resulta em benefício para os solos (Lehmann et al., 2006 ; Atkinson et al., 2010) diminui os contaminantes do solo (Uchimiya et al., 2010 ; Beesley and Marmiroli, 2011, ; Beesley et al., 2011, ; Jiang et al., 2012), resultando também no sequestro de carbono (Zwieteren et al., 2008 ; Sohi et al., 2009)

3.2- Perspectiva histórica

Ao longo da história, com a intenção de explorar os solos a fim de maximizar a sua eficiência, várias técnicas de melhoramento da qualidade do solo têm vindo a ser aplicadas pela humanidade. A própria utilização de resíduos de biomassa carbonizada nos solos como substrato para retenção de água, gases e nutrientes não é algo de novo (Lehmann et al., 2009).

A técnica de uso de carvão vegetal para melhorar a fertilidade dos solos originou-se na bacia amazónica há pelo menos 2 milhares de anos atrás. Terra Preta, como é usualmente designada nesta região Brasileira, permanece altamente fértil até hoje, mesmo com pouca ou nenhuma aplicação de fertilizantes. Isto resulta da acumulação progressiva e mistura de carvão com substâncias antropogénicas orgânicas derivadas da actividade humana. (Glaser and Birk, 2012; Glaser et al., 2001), reconhecendo assim a relação existente entre a existência de carvão no solo e o aumento da fertilidade deste.

Na forma fina e granular e quando combinado com fertilizantes, o biochar pode ser aplicado a diferentes tipos de solo em diversos tipos de ambiente e, desde então, vários estudos têm sido conduzidos de forma a explorar as suas potencialidades, aparecendo assim como candidato para aplicação nos solos, de forma a promover a sua qualidade e a do ecossistema.

3.3- Produção de biochar

As características iniciais do biochar dependem do material usado para a sua produção e da metodologia usada na pirólise de biomassa.

3.3.1- Matéria prima

Muitas vezes os resíduos originários da agricultura e silvicultura são incinerados ou abandonados nos campos após a colheita, contribuindo assim para um agravamento das alterações climáticas, libertando gases com efeito de estufa para a atmosfera. Utilizando estes resíduos como matéria-prima para a produção de biochar, irá assim contribuir para uma mitigação das alterações climáticas.

O material usado como matéria-prima para a produção de biochar através da pirólise possui uma grande influência nas características iniciais do biochar (Gaskin et al., 2008). É preferível recorrer a um tipo de matéria-prima que possa ser obtida de forma sustentável, sem afetar a biodiversidade e a conservação do solo.

Dada a variação das propriedades que podem ser obtidas através da produção de biochar, a determinação dos fatores que influenciam suas características finais é de extrema importância para a obtenção de um material adequado em relação ao seu

destino, o que será somente possível se houver conciliação das relações entre a matéria-prima e o biochar, e as condições de produção (Joseph et al., 2010).

Existe uma grande variedade de matérias-primas diferentes utilizadas na produção de biochar, variando de resíduo de culturas (por exemplo, milho, cereais, madeira, palha de trigo, cascas de avelã, etc) para resíduos da agropecuária ou resíduos domésticos orgânicos (Sohi et al., 2009).

3.3.2- Pirólise de biomassa

A pirólise é definida como um processo de decomposição térmica da biomassa na presença controlada de oxigênio e que tem como produtos compostos na fase gasosa, líquida e sólida. O gás é composto por CO, CO₂, hidrogênio e hidrocarbonetos de baixa massa molar. O líquido obtido é oriundo da condensação de gases, denominada líquido pirolenhoso, e o sólido é denominado de biochar (Félix et al., 2018).

As condições da pirólise (temperatura de pico, tempo de residência das partículas e taxa de aquecimento) exercem uma grande influência na qualidade do biochar produzido (Bruun et al., 2012).

A escolha do tipo de pirólise para maximizar o biochar dependerá das condições ótimas e das propriedades da biomassa usada no processo, no que resultará em diferentes tipos de biochar.

A pirólise lenta ocorre durante um longo período de reação (estando a biomassa no reator no mínimo 30 minutos), a temperaturas baixas (inferiores a 400°C) e favorece o rendimento do biochar e a pirólise “flash” ocorre num curto período de tempo (entre 5 a 10 segundos), a temperaturas entre os 400 °C e 600 °C (Ringer et al., 2006).

Existem 2 diferentes processos de pirólise de biomassa, pirólise lenta e pirólise rápida. A pirólise lenta, tal como o seu nome indica, é caracterizada por um lento aquecimento da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, e com longos tempos de residência das partículas (Mohan et al., 2006), a temperaturas baixas (inferiores a 400°C), o que favorece o rendimento do biochar. Já a pirólise rápida acontece em reatores contínuos, num curto período de tempo (entre 5 a 10 segundos), a temperaturas entre os 400 °C e 600 °C (Mohan et al., 2006; Ringer et al., 2006).

A pirólise rápida e lenta resulta assim num biochar com diferentes qualidades, que proporciona efeitos diferenciados ao solo onde é aplicado (Brewer et al., 2009), mas independentemente do método de pirólise, a sua aplicação aos solos possui o potencial de sequestro de carbono (Bruun et al., 2012).

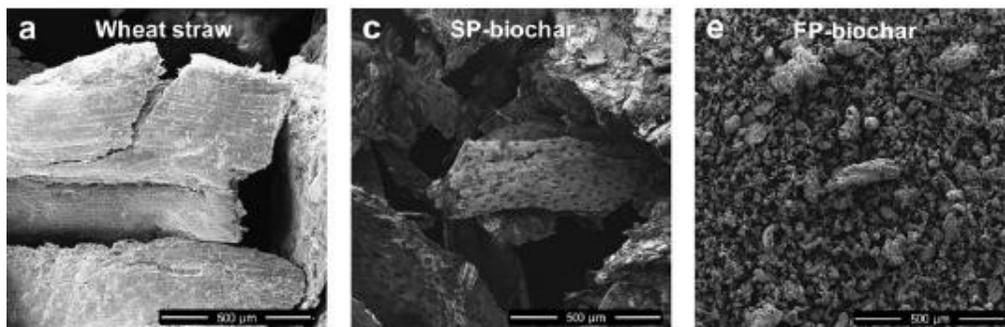


Figura 3- Diferenças na estrutura de biochar produzido através do mesmo tipo de resíduos de biomassa. Primeiramente temos uma imagem da estrutura da matéria-prima usada, de seguida uma imagem do biochar produzido por pirólise lenta e por último uma imagem do biochar produzido por pirólise rápida. (Bruun, et al. 2012).

3.4- Propriedades físicas e químicas do biochar

O biochar é um material carbonoso, altamente poroso, normalmente alcalino, possuindo uma forte estrutura aromática. A porosidade do biochar determina a sua área de superfície específica. O tamanho dos poros de biochar pode variar de nano para macro poros (<0,2nm a> 50nm) (Downie et al., 2009), o que permite a adsorção e transporte molecular, melhorando também a área de superfície e promovendo a retenção de nutrientes (Liang et al., 2006). Quando em contacto com o solo, a superfície do biochar sofre oxidação, o que leva a um aumento da capacidade de troca de catiões, melhorando a reatividade na superfície das partículas do biochar (Cheng et al., 2006).

É a sua composição química que permite a percepção de como o biochar interage com uma elevada gama de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que o seu alto teor em carbono e a sua forte estrutura aromática (caraterísticas constantes) são os grandes responsáveis pela sua estabilidade química. O biochar possui também uma elevada gama de nutrientes, de elevada importância para o seu uso como corretivo do solo.

É devido a estas propriedades físicas e químicas, que o biochar tem a capacidade de influenciar um elevado número de propriedades do solo incluindo o pH, porosidade, capacidade de retenção de água e a densidade.

3.5- Influência do biochar nas emissões de gases de efeito estufa

Atualmente, um dos grandes problemas que o Planeta atravessa são as alterações climáticas, havendo por isso a urgente necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto foram desenvolvidas ao longo do tempo várias opções de

forma a diminuir as emissões destes gases, entre elas está a aplicação de biochar aos solos.

Em Zwieter et al. (2009) verifica-se que o biochar afeta também os processos do ciclo de Nitrogénio nos solos. É observado um aumento da disponibilidade de oxigénio, resultando assim numa redução da desnitrificação. O biochar possui a capacidade de adsorção do carbono orgânico, o que faz com que o carbono fique protegido da decomposição, levando assim a uma redução nas emissões de CO₂.

No geral, a aplicação de biochar aos solos é conhecida por “prender” o carbono no solo, removendo o CO₂ do solo que é libertado, sendo assim conhecido como uma tecnologia de efeito negativo no carbono. É também efetiva na mitigação das emissões de N₂O, e de outros gases de efeito de estufa como o metano e o óxido nitroso.

3.6- Viabilidade económica do biochar

Os trabalhos de preparação do terreno para estabelecimento de plantações incluem a colheita e limpeza dos resíduos da anterior colheita. Normalmente, o resíduo é enrolado, esmagado e queimado (Marunda, 2013). Os leitos de plantação são depois preparados, criando montes contínuos em cima dos quais as mudas são plantadas.

A produção de biochar a partir de resíduos orgânicos é um método potencial para integrar o sequestro de carbono e os custos de gestão de resíduos, ao mesmo tempo que aumenta os sistemas convencionais de produção agrícola e florestal. Produzir biochar a partir de resíduos orgânicos locais pode fornecer uma maior flexibilidade ao gerenciar o processamento de resíduos e os custos associados aos sistemas convencionais de produção florestal. A produção de Biochar através dos resíduos locais poderá assim fornecer benefícios agronômicos e ganhos financeiros.

Em Wrobel et al., 2015, é feita uma análise económica da produção de biochar através de resíduos de colheitas de eucalipto, propondo duas utilizações finais para o biochar produzido: uso na silvicultura do eucalipto e outras plantas e a sua venda comercial no mercado da horticultura. Esta análise envolveu o uso dos resíduos de pós-colheita e uma unidade móvel de pirólise para a produção de biochar, servindo assim para aplicação imediata no local.

Os resultados desta análise demonstraram que a produção de biochar através de resíduos de plantações de eucalipto possui um potencial para a obtenção de benefícios financeiros para o setor florestal, resultantes da poupança em procedimentos florestais padrão e na comercialização do biochar.

3.7- Biochar e o reflorestamento

Relativamente poucos estudos examinaram o efeito do biochar nas árvores e noutras vegetações lenhosas, embora tenha havido um rápido crescimento neste tipo de literatura.

Apesar disso, pode-se argumentar que o biochar pode substituir outras formas de matéria orgânica, tendo as vantagens da recalcitrância, alta capacidade de troca de catiões, capacidade para reduzir a lixiviação de aniões e potencial para sorção de substâncias e sais tóxicos.

A sua recalcitrância implica que o biochar aplicado num contexto de reflorestamento não se decompõe rapidamente, a sua capacidade de retenção age de forma a reter os nutrientes das plantas e a água no solo, sendo esta característica muito importante para solos altamente degradados, comuns no contexto de reflorestação.

O biochar pode ser gerado a partir das matérias-primas disponíveis localmente, oferecendo assim um potencial importante em termos económicos e de logística.

A semi-vida do carbono do Biochar é também uma característica muito importante. Estudos demonstram que ele possui uma semi-vida de carbono entre os 10.000 e os 100.000 anos (Spokas, 2010). Todas estas características favorecem a sua integração num contexto de reflorestação.

A aplicação de biochar aos solos também pode melhorar o teor de nitrogénio e disponibilidade de fósforo (Atkinson et al., 2010; Barrow, 2012), o que é importante para solos sódicos com limite de nutrientes. O estudo de Drake et al., demonstra que o biochar possui também o potencial de melhorar significativamente o sucesso do reflorestamento em terras extremamente degradadas, resultando assim em maiores áreas de terra que podem ser potencialmente recuperadas.

Vários estudos comprovam também os benefícios do biochar ao reflorestamento, tais como na fase inicial de reflorestamento (Drake et al., 2016), como 3 anos após a sua aplicação (Jones et al., 2012) e ainda após uma rotação de cinco culturas precedida de uma única aplicação de biochar (Liu et al., 2014). Tais resultados sugerem que os benefícios do biochar podem persistir, e até eventualmente aumentar, durante a primeira fase de desenvolvimento das plantações.

Em conclusão, existem assim fortes evidências dos efeitos positivos da aplicação de biochar no crescimento de plantas lenhosas, com respostas observadas que parecem ser geralmente melhores do que aquelas observadas nas culturas agrícolas (Thomas and Gale, 2015).

3.8- Eucalipto e Biochar

A maioria das mudas de eucalipto recém-plantadas necessita da utilização de fertilizantes, de forma a garantir um crescimento inicial adequado. Como o biochar pode ter um efeito positivo nas condições do solo onde é aplicado, a sua incorporação em contexto de reflorestação pode melhorar o crescimento das mudas de eucalipto e otimizar a eficiência de uso dos fertilizantes.

Em Tobiszewska, et al., 2015, verifica-se que a aplicação de biochar aos solos, quando em conjunto com fertilizantes, tanto em experiência em estufa como em ensaio de campo, motivou mudanças positivas para o solo.

No estudo (Isidoria et al.,2017) verificou-se que o uso de biochar melhorou o potencial produtivo de povoamentos de eucalipto. Várias variáveis podem ser usadas para a avaliar a qualidade das plântulas, tais como: a altura, o diâmetro do caule e a biomassa de raiz. No entanto para este estudo foi usado o Índice de Qualidade de Dickson. Este índice tem em consideração várias variáveis que medem a robustez e o balanço de distribuição de biomassa. Este foi determinado em função da altura da parte aérea (SH), do diâmetro do coleto (SBD), do peso de matéria seca da parte aérea (SDM) e do peso de matéria seca das raízes (RDM) tendo como finalidade a avaliação da qualidade das plântulas. Varia de 0 a 1, sendo que, quanto maior este valor, maior será a qualidade da seedling. (Caldeira et al., 2005). O IDQ é assim considerado um bom indicador da qualidade de mudas, robustez e distribuição de biomassa.

Os resultados do IDQ neste estudo (Isidoria et al.,2017) variaram entre 0,08 e 0,46 (Figura 4). Observa-se uma diferença clara entre o teste de controlo e os restantes tratamentos, confirmando-se assim os efeitos benéficos das resíduos de esgoto e do biochar para a o crescimento de mudas de eucalipto.

Verificou-se também que não existe uma diferença significativa entre a aplicação do biochar e do resíduo de esgoto, no entanto, devido ao seu maior teor de carbono recalcitante e da ausência de patogenicidade, devido à pirólise, é recomendada a utilização do biochar.

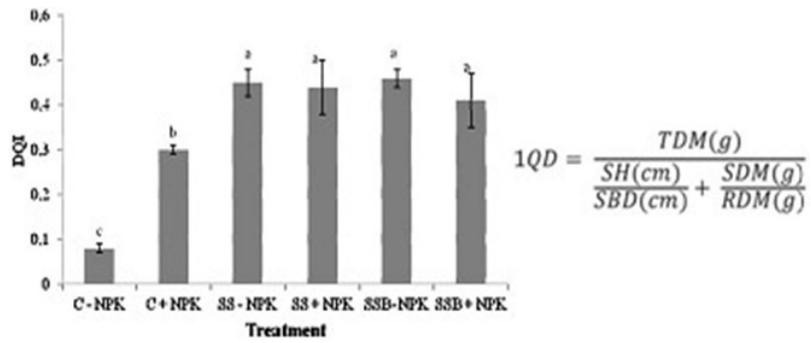


Figura 4 - Índice de qualidade Dickson (IDQ) de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* L) tratadas com lamas de ETAR (SS) e lamas de ETAR biochar (SSB), com e sem fertilizante, sob condição de estufa; Eq1: Índice de Qualidade de Dickson. (Isidoria et al.2017).

4- METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia seguida desde o início do ensaio. Será abordada a localização do terreno onde foram efetuados os trabalhos de campo, os tratamentos e o design experimental efetuados, a preparação do solo, a plantação do Eucalipto, a aplicação do biochar e as 2 campanhas de monitorização efetuadas.

Este trabalho irá debruçar-se sobre o primeiro ano do projeto.

4.1- Localização geográfica e seu enquadramento

Este ensaio de campo ocorreu numa propriedade sob gestão da AFBV, estando localizado em Vale Domingos, concelho de Águeda, tendo como objetivo principal avaliar os efeitos da aplicação de biochar sobre o crescimento do *Eucalyptus Globulus* e sobre as características físicas e químicas do solo.



Figura 5 – Localização geográfica de Vale Domingos e panorâmica geral do povoamento instalado a 20 de Junho de 2016.

4.2-Tratamentos e desenho experimental

Foram realizados testes de incubação na UA, para 2 diferentes compostos de biochar, composto de biochar puro, denominado de Biochar Normal e composto enriquecido de biochar, mais concretamente biochar misturado com fertilizante orgânico, denominado de Biochar Plus, ambos com percentagens de concentração de biochar (w/w) variáveis entre o 1 e os 5%.



Figura 6 – Teste de incubação para o Biochar Normal e Plus com diferentes concentrações de biochar.

Através destes resultados percebe-se também que o solo responde de forma positiva (aumento do pH) para os 2 diferentes compostos de biochar, tendo uma resposta mais forte à adição do composto enriquecido de biochar (Biochar Plus).

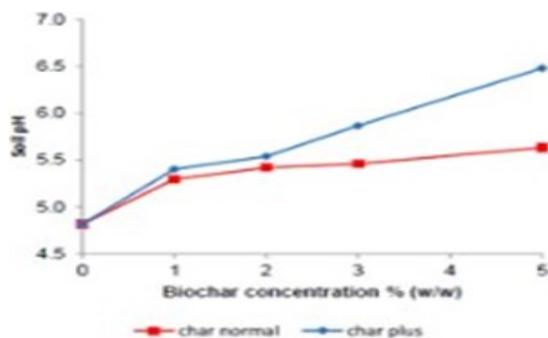


Gráfico 2 – Relação entre o pH do solo e a adição de biochar normal e biochar plus.

Observando o gráfico 2, e sabendo que o pH óptimo para as colheitas de Eucalipto está entre 6 e os 6.5, optou-se pelo uso de biochar normal com uma percentagem de concentração de biochar de 4% (w/w) para esta experiência de campo. Este valor de 4% é usado também como um valor de referência para o Biochar Plus, apesar de este não atingir o pH óptimo (entre 6 e os 6.5), pois a partir de uma valor de percentagem de 4% o valor para o pH mantém-se constante para um valor de 5.5.

4.2.1-Tratamentos

Para este ensaio de campo foram definidos 6 diferentes tipos de tratamento:

Tabela 1- Identificação dos tratamentos, respectivas quantidades de solo (L), Biochar (L), adubo aplicado (g/planta) e número de plantas/tratamento, no ensaio Biochar1(área plana) e Biochar 2 (área dos terraços).

Descrição dos tratamentos	Quantidade aplicada			Biochar 1 (sem patamar)	Biochar 2 (terraços)
	Solo (L)	Biochar (L)	NPK + SP 42% (g/planta)	Nº de plantas	Nº de plantas
T0 - Controlo sem NPK	14.1	-	-	15	12
T0A - Controlo com NPK	14.1	-	30 + 60	15	-
T1 - Biochar sem NPK	12.9	1.2	-	15	-
T2 - Biochar com NPK	12.9	1.2	30 + 60	15	-
T3 - Biochar Plus sem NPK	12.9	1.2	-	15	12
T4 - Biochar Plus com NPK	12.9	1.2	30 + 60	15	12

NPK+ SP42%: Agrobien 11-21-9 + Superfosfato 42%

4.2.2-Desenho experimental

Os tratamentos foram efetuados sobre um total de 126 plantas de Eucalyptus Globulus, 90 na área plana e 36 para a área dos terraços. Os seguintes esquemas de tratamento encontram-se representados também no no Anexo F.

Em relação à área plana (Figura 6) pode-se observar que todos os tipos de tratamentos estão presentes, sendo que cada um destes tratamentos possui 3 repetições, cada uma destas 5 plantas, totalizando assim um total de 15 plantas por tratamento.

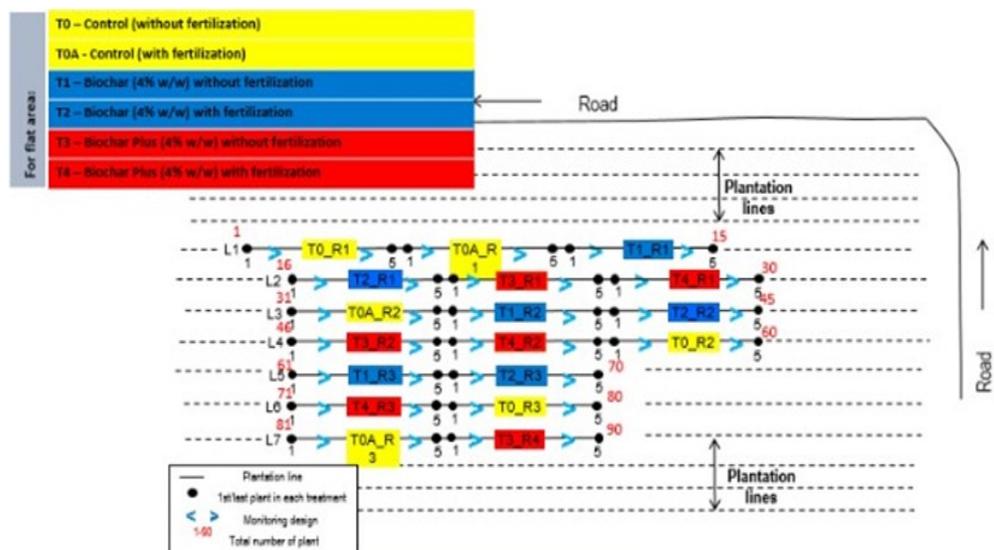


Figura 7 – Esquema de tratamento para as plantas da área plana.

Já em relação à área dos terraços (Figura 8) verifica-se apenas a presença dos tratamentos TOA, T3 e T4, com 3 repetições cada, possuindo cada uma delas 4 plantas, totalizando assim um total de 12 plantas por tratamento.

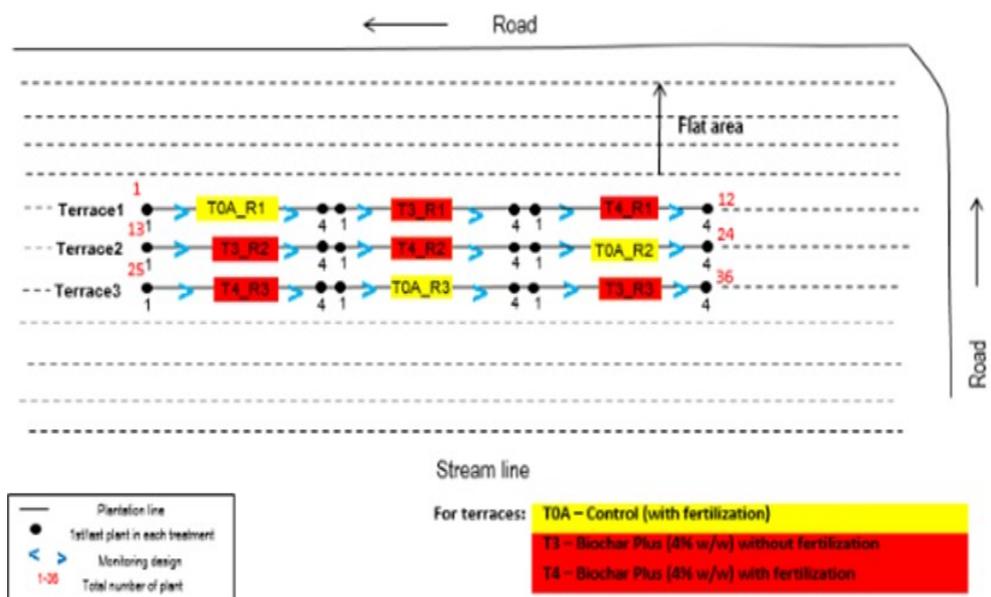


Figura 8 - Esquema de tratamento para as plantas da área dos terraços.

Estas 2 zonas distintas (área plana e área dos terraços) encontram-se a uma reduzida distância entre si, estando situadas a poucos metros uma da outra. Em relação ao número de plantas plantadas, esta difere entre estas zonas devido ao menor espaço para plantio na zona dos terraços.

4.3- Preparação do solo

A preparação do solo está relacionada com as características da área onde será realizado o plantio. Deve ser feito de maneira a propiciar maior disponibilidade de água para a cultura, visto que o regime hídrico do solo é um fator essencial para o crescimento da maioria das espécies de eucalipo.

Os trabalhos de preparação do solo ocorreram a 07 de Junho de 2016. Utilizou-se como técnica de mobilização do solo, a ripagem. Esta operação destina-se a provocar o rompimento dos horizontes do solo em profundidade de forma a facilitar o desenvolvimento radicular das plantas, sem produzir alterações na respetiva disposição, sendo assim recomendada em solos com horizontes subsuperficiais de elevada dureza ou

impermeáveis. A ripagem deve ser localizada e efetuada segundo a curva de nível, de forma a reduzir o risco de erosão. Efetuou-se então uma ripagem, com uma profundidade de cerca de 40cm, somente nas linhas de plantação.

Recorreu-se também à utilização de terraços como técnica de mobilização e preparação do terreno: Esta preparação consiste na deslocação de terras da parte superior do terreno, num espaço de 4 m, para a parte inferior, de forma a construir um talude que vai formar plataformas horizontais segundo as curvas de nível, com o intuito de aumentar a infiltração e retenção de água e de prevenir fenómenos de erosão. Esta técnica de mobilização do solo deve ser efetuada apenas em zonas com declives superiores a 25%.

Estas atividades de preparação do solo são causadoras de impactos ambientais positivos e negativos. Por um lado estas causam um aumento do potencial produtivo, mas por outro lado causam a redução da biodiversidade e do potencial produtivo dos solos, face à sua inversão de perfil.

Nos trabalhos de preparação do solo é então necessária a adoção de técnicas adequadas às características da estação, a promoção de boas práticas e cumprimento do referencial técnico para a UGF.

4.4- Plantação e aplicação do biochar

No dia 20 de Junho de 2016 foram efetuados os trabalhos de plantação dos eucaliptos e de aplicação do biochar nos terrenos designados ao ensaio de campo, tendo a IMF fornecido o biochar necessário para a sua realização. A data desta plantação e aplicação de biochar (início do Verão) irá permitir uma plantação homogénea e um bom desenvolvimento radicular, não a expondo a geadas e encharcamentos.

Para estes trabalhos, o método utilizado foi a plantação de mudas seminais de eucalipto. A utilização de mudas seminais de eucalipto são um material de reprodução melhorado geneticamente, que possui a capacidade de dar origem a florestas mais heterogêneas e também uma melhoria da adaptação a ambientes sujeitos a grandes variações climáticas. A sua plantação foi feita através da abertura de covas. Visando a produção de madeira para laminação, serraria e fina para papel e celulose, geralmente são utilizados os espaçamentos de 3,0 x 2,5 (1.333 árvores/ha) ou 3,0 x 2,0 (1.666 árvores/ha).

A aplicação do biochar foi realizada através da sua deposição na superfície do solo onde as plantas jovens de Eucalipto foram plantadas. Sendo assim o efeito do biochar será determinate para o seu crescimento jovem.

No Anexo G encontram-se fotos da realização destes trabalhos e na figura abaixo encontra-se um esquema ilustrativo da metodologia destes trabalhos.



Figura 9 - Esquema ilustrativo da metodologia utilizada na plantação dos eucaliptos e na aplicação do Biochar.

4.5 – Materiais/Métodos de análise química para a caracterização inicial do solo e do biochar

Os resultados para a análise química para a caracterização inicial do solo e do Biochar são da autoria da RAIZ.

Para determinação do pH, aplicou-se a ISO 10390, aplicável em todo o tipo de amostras de solo de ar-seco, servindo como método instrumental de determinação do pH. Para a determinação dos extraíveis em água, usou-se como base a adaptação da ISO/TS 21268-2:2007 (razão líquido:sólido testada= 90ml:9g; filtração a pressão constante); doseamento com ICP- OES. Esta ISO foi desenvolvida para medir a liberação de constituintes inorgânicos e orgânicos do solo e material do solo e os efeitos ecotoxicológicos dos eluatos em relação aos microrganismos, fauna e flora. Para determinação das bases de troca foi efetuada uma extração com acetato de amónia, 1M a pH 7, razão sólido:líquido= 1:10(m/v) e doseamento por ICP-OES e para determinação dos teores totais foi efetuada uma digestão com aqua regia e doseamento por ICP-OES. O teor de carbono total foi contratado num laboratório externo.

Outras propriedades químicas foram também analisadas, para o biochar e para o solo foram analisados os seus teores em extraíveis em água e a determinação dos teores totais (Zn, Cu, Mn, Fe, Ca, Mg, K, Na).

4.6 – Campanhas de Monitorização

Inseridos dentro de uma metodologia de monitorização, desde o início deste projeto foi efetuada uma avaliação de sobrevivência e respetivos trabalhos de retanchar, sendo posteriormente também efetuadas 2 campanhas de medição/amostragem.

A avaliação de sobrevivência consiste na avaliação da taxa de sobrevivência das plantas, e na efectuação de trabalhos de retanchar nas plantas que se encontrem mortas, ou seja, a sua substituição por uma nova planta.

Nestas campanhas de medição/amostragem procedeu-se à recolha de amostras do solo e uma avaliação da altura e do diâmetro do caule das várias plantas de eucalipto utilizadas para este ensaio. A primeira campanha de monitorização decorreu a 09 de Setembro de 2016 e a segunda campanha a 12 de Junho de 2017. No Anexo H encontra-se representada uma comparação da vista panorâmica da plantação entre Novembro de 2016 e Junho de 2017, e no Anexo I encontram-se fotos ilustrativas dos trabalhos efetuados nestas campanhas de monitorização.

Tabela 2- Calendarização das atividades de monitorização realizadas nos 2 ensaios de campo.

Actividades	20 de Julho de 2016	9 de Novembro de 2016	12 de Junho de 2017
Avaliação de sobr. + retanchar	X		
Recolha de solo		X	X
Avaliação de altura		X	X
Avaliação do diâmetro do caule		X	X

4.6.1- Coleta de dados

Durante estas campanhas de monitorização procedeu-se à recolha de várias amostras de solo. Estas amostras foram coletadas por repetição, através da recolha de 27 sacos para amostras, 18 para a área plana e 9 para a área dos terraços. Foram assim coletadas 2 amostras por réplica do solo, com uma profundidade média de 20 cm, colocadas em baldes de 6.5L, e armazenadas em sacos de plástico devidamente identificados. A metodologia desta recolha encontra-se apresentada no Anexo J.

Em relação à morfologia das plantas de eucalipto, foi medido o diâmetro do caule médio (2 cm acima do solo), bem como a sua altura (com um ajudante que verificou se o objeto de medição se encontrava ajustado com o ápice das plantas). Foi também

efetuada uma colheita das folhas de eucalipto “saudáveis” do terço médio superior das mesmas. O comprimento dos ramos seria um bom indicador de biomassa mas o grande número de fileiras presentes tornou essa tarefa praticamente impossível, não sendo assim analisados os seus resultados.

Após a colheita, as amostras de solos devem ser preparadas antes de se submeterem a qualquer tipo de análise físico-química com vista à sua caracterização. As amostras de solos são constituídas por materiais de granulometria muito diversa, desde partículas muito grosseiras até mais finas. No material que constitui a porção mineral do solo podem ser encontrados desde fragmentos de rochas até partículas com dimensões extremamente reduzidas.

O solo anteriormente armazenado em sacos de plástico, devidamente identificados, será então sujeito a uma crivagem (Anexo L) , onde serão removidos todos os fragmentos com mais de 2mm e o solo homegeanizado por completo.

5 – RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

Neste capítulo serão abordados os resultados das avaliações dendrométricas realizadas a partir da instalação do ensaio, os resultados da análise química para a caracterização inicial (solo, biochar normal e biochar plus), as avaliações de sobrevivência e os trabalhos de retanchar efetuados, os resultados das análises de solo das amostragens realizadas em Novembro de 2016 e Junho de 2017, e os resultados referentes à morfologia das plantas de eucalipto submetidas a tratamento desde o início do projeto até à data da segunda campanha de monitorização.

Estes resultados da amostragem do solo englobam as recolhas efetuadas na 1ª e 2ª campanhas de monitorização.

Neste capítulo será também feita a discussão destes mesmos resultados.

5.1 - Resultados da análise química para a caracterização inicial do solo e do biochar

5.1.1 - Amostragem inicial do solo

Esta amostragem de solo foi realizada no dia de aplicação do biochar e da plantação dos eucaliptos. A data de entrada das amostras em laboratório é de 23/06/2016, estando os resultados disponíveis a 01/09/2016.

Não são esperadas diferenças significativas entre o solo da área plana e dos terraços. Foram então analisadas 4 amostragens de solo, 2 na área plana e 2 na área dos terraços. As amostras da área plana apresentam ambas uma textura franco arenoso, enquanto as da área dos terraços apresentam uma textura franco limoso. Em relação ao pH todas as amostras possuem um valor aproximado do 5, o que lhes confere uma classe de acidez moderadamente ácida.

Todas as amostras possuem também um nível de matéria orgânica muito alto e um teor baixo de fósforo. Em relação às bases de troca (Ca, Mg, K e Na) as amostras relativas à área plana apresentam teores muito baixos de Ca, teores relativamente baixos de Na e K e um teor médio de Mg. As amostras da área dos terraços apresentam teores baixos de Ca, teores médios de K e Na e um teor alto de Mg. No que aos micronutrientes diz respeito, as amostras relativas à área plana apresentam um teor baixo de B, Mn, Cu e Zn e um teor relativamente alto de Fe. As amostras referentes à área dos terraços apresentam um teor médio de Zn, B e Cu, um teor muito baixo de Mn, e um alto teor de Fe.

Estes resultados demonstram que ambos os solos, da área plana e dos terraços, são terras com boas propriedades para o reflorestamento do eucalipto, tal como para outras espécies florestais.

5.1.2 - Biochar normal e Biochar Plus

A caracterização inicial do Biochar decorreu no dia 23/06/2016, estando os resultados disponíveis a 16/09/2016.

Foram analisadas duas amostras, uma de Biochar normal e outra de Biochar Plus. A amostra contendo o Biochar Plus apresenta um ligeiro aumento de pH, quando comparada à amostra de Biochar normal. O Biochar Plus apresenta também um teor bem mais elevado de Zn, Cu, Ca, Mg e Na que o Biochar normal. Estes resultados podem ser explicados pelo facto de o Biochar Plus ser um composto enriquecido de biochar.

Em relação à percentagem de carbono total, o Biochar normal apresenta um teor relativamente mais elevado que o Biochar Plus.

5.2 – Avaliação da sobrevivência e trabalhos de retanchar

Estes trabalhos de retanchar consistem na replantação/substituição das árvores “mortas”. A 30 de Junho de 2016 foram então efetuados trabalhos de retanchar nas plantas de eucalipto das áreas plana e dos terraços.

Em relação à área plana, foram efetuados trabalhos de retanchar nas plantas nº1 e nº3 submetidas ao tratamento T0 (controlo sem adição de fertilizante) da linha 1 e repetição 1, na planta nº5 submetida ao tratamento T0A (controlo com adição de fertilizante) da linha 1 e repetição 1 e na planta nº5 submetida ao tratamento T1 (Biochar sem adição de fertilizante) da linha 1 e repetição 1.

Para a área dos terraços foram efetuados trabalhos de retanchar na planta nº3 submetida ao tratamento T 3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante) da linha 3 e repetição 2.

No total foram efetuados trabalhos de retanchar em 5 plantas de eucalipto, sendo que em 4 destas plantas, o seu tratamento não incluía a adição de fertilizante, o que poderá explicar a sua “morte”.

5.3- Amostragens do solo

5.3.1 – 1ª Campanha de Monitorização

No decurso da 1ª campanha de monitorização, realizada a 09 de Novembro de 2016, efetuou-se uma recolha do solo para posterior tratamento. Estes resultados espelham o desenvolvimento nutricional dos solos, 5 meses após a plantação e aplicação do biochar.

De forma a poder efetuar uma comparação entre o período de plantação e aplicação do Biochar e a 1ª campanha de monitorização, usei os resultados da amostragem inicial do solo, comparando os mesmos, com os resultados da 1ª campanha de monitorização. As amostragens do solo da área plana foram comparadas com as amostragens do solo inicial sem patamar, já os resultados referentes à área dos terraços foram comparados com as amostragens do solo inicial com patamar.

5.3.1.1- Área Plana

Em relação ao T0 (controlo sem fertilização), observa-se um ligeiro aumento do teor de bases de troca (Ca, Mg, K, Na), apesar de ainda manter os seus níveis baixos. O seu grau de saturação em alumínio continua limitante em algumas das repetições. Os micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B) mantêm-se com o mesmo níveis de teor do solo inicial, sendo que o pH, o teor de fósforo e a percentagem de matéria orgânica não sofreram nenhuma alteração significativa.

O T0A (controlo com adição de fertilizante), aumentou alguns dos seus níveis de bases de troca, nomeadamente de Mg, K e Na. Em relação aos micronutrientes este não sofreu alterações significativas, assim como o seu pH e a sua percentagem de matéria orgânica. De notar que o grau de saturação em alumínio do solo relativo a este tratamento desceu de forma considerável, passando de uma classe limitante para uma classe não limitante. O teor de fósforo aumentou de forma significativa, passando de uma classe de fertilidade baixa para uma alta classe de fertilidade.

Em relação ao T1 (biochar sem adição fertilizante) nota-se um claro aumento do teor de bases de troca, nomeadamente em Ca, Mg e K. Observa-se um aumento do grau de saturação de bases efetiva, passando de uma classe muito baixa para uma classe média/alta, enquanto o grau de saturação em alumínio desceu significativamente, passando de uma classe limitante para uma não limitante. Os micronutrientes, o pH, a percentagem de matéria orgânica e o teor de fósforo, não sofreram alterações significativas.

O T2 (biochar com adição de fertilizante) aumentou significativamente o seu teor de bases de troca, nomeadamente o teor de Ca, Mg e K. O seu grau de saturação de bases efetiva aumentou significativamente, passando de uma classe muito baixa para uma classe média/alta e o grau de saturação em alumínio desceu significativamente, passando de uma classe limitante para uma não limitante. Os micronutrientes e a percentagem de matéria orgânica não sofreram alterações significativas, o pH subiu ligeiramente enquanto o teor de fósforo aumenta de uma classe de fertilidade baixa, para uma classe de fertilidade média/alta.

Em relação ao T3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante) nota-se um ligeiro aumento do pH, o seu grau de saturação de bases efetiva aumentou significativamente,

passando de uma classe muito baixa para uma classe muito alta, o que implica um aumento significativo no teor de bases de troca. O grau de saturação em alumínio desceu significativamente, passando de uma classe limitante para uma não limitante e o teor de fósforo aumenta significativamente, passando de uma classe de fertilidade baixa para uma classe de fertilidade média/alta. Em relação aos micronutrientes, verifica-se um ligeiro aumento do teor de Zn e Cu. A percentagem de matéria orgânica não sofreu alterações significativas.

O T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante) aumentou significativamente o seu teor de micronutrientes, nomeadamente de Zn e Cu. O teor das bases de troca também sofreu um aumento significativo. Ca passou de uma classe muito baixa para uma classe alta, Mg e K aumentaram para uma classe muito alta.. O grau de saturação em alumínio desceu significativamente, passando de uma classe limitante para uma não limitante. A percentagem de matéria orgânica não sofreu alterações significativas, o seu pH aumentou ligeiramente, enquanto o teor de fósforo aumentou significativamente, passando de uma classe de fertilidade baixa para uma classe de fertilidade alta/muito alta.

Analisando estes resultados, verifica-se que as amostragens do solo das plantas submetidas a qualquer um dos tratamentos, desde que com adição de fertilizante (T0A, T2 e T4), apresentam um aumento no seu teor de bases de troca, aumentando também de forma significativa o seu teor em fósforo, passando de uma classe de fertilidade baixa para uma alta classe de fertilidade. Por último os solos destas plantas apresentam também uma redução considerável do grau de saturação em alumínio, passando de uma classe de limitante para uma não limitante. Reforça-se assim a importância da adição de fertilizante ou biochar ao solo.

Em relação ao solo das plantas submetidas a tratamentos com aplicação de Biochar e Biochar Plus (T1, T2, T3 e T4), estas apresentam um aumento significativo do teor em bases de troca, maior do que quando comparado com o solo das plantas submetidas a um tratamento com ou sem adição de fertilizante mas sem aplicação de qualquer tipo de biochar (T0 e T0A), nomeadamente no aumento significativo dos teores de Ca e Mg, podendo-se assim especular que é o biochar quem mais contribui para que tal aconteça.

Diferenciando agora os tratamentos das plantas submetidas à aplicação de Biochar (T1 e T2) e das plantas submetidas à aplicação de Biochar Plus (T3 e T4), verifica-se que os solos das plantas submetidas à aplicação de Biochar Plus (com ou sem adição de fertilizante) apresentam um aumento no seu teor em micronutrientes, nomeadamente em Zn e Cu, e também um ligeiro aumento no seu pH, enquanto que no solo das plantas submetidas ao Biochar (T1 e T2) tal facto não se verifica.

Em conclusão, verifica-se que o fertilizante e o biochar são elementos importantes para o aumento do teor de bases de troca no solo, sendo o biochar o que mais contribui

para esse aumento. Verifica-se também que o responsável pelo aumento do teor de micronutrientes, nomeadamente do Zn e Cu nos solos é o biochar e o fertilizante.

5.3.1.2 – Área dos terraços

Em relação ao T0A (controlo com adição de fertilizante) registou-se um aumento significativo do teor de bases de troca, nomeadamente no teor de Mg e K. Em relação aos micronutrientes houve uma ligeira perda nos teores de Zn, Cu e B. O pH e a percentagem de matéria orgânica não sofreu alteração significativa, enquanto o teor de fósforo aumentou para uma classe de fertilidade alta. O grau de saturação em alumínio desceu significativamente, passando de uma classe limitante para uma não limitante.

O T3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante) verificou um aumento significativo do teor de bases de troca, nomeadamente no teor de Ca e K. O seu teor em micronutrientes e a percentagem de matéria orgânica não sofreu alterações significativas. O seu pH aumentou significativamente, aumentando o seu valor em quase uma unidade em algumas repetições deste tratamento. O seu teor em fósforo aumentou significativamente, passando para uma classe de fertilidade muito alta e o grau de saturação em alumínio desceu para níveis não limitantes.

Abordando agora o T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante) verifica-se um aumento significativo do seu teor em bases de troca, nomeadamente no teor de Ca e K. O seu teor em micronutrientes e a percentagem de matéria orgânica não sofreu alterações significativas. O seu pH aumentou ligeiramente e o grau de saturação em alumínio desceu para níveis não limitantes. O seu teor em fósforo aumentou significativamente, passando para uma classe de fertilidade muito alta.

Analisando os resultados verifica-se que as diferenças encontradas nas amostragens de solo das plantas submetidas a um tratamento com biochar (Biochar e Biochar Plus) e amostragens do solo das plantas submetidas somente à aplicação de fertilizante encontra-se no aumento do pH do solo das plantas submetidas a um tratamento com biochar. De notar também que o aumento do pH é maior no solo das plantas submetidas a um tratamento com aplicação de Biochar Plus sem adição de fertilizante (T3), do que no solo das plantas submetidas à aplicação de Biochar Plus com adição de fertilizante (T4), o que poderá indicar que o fertilizante pode estar a inibir o biochar.

5.3.2 – 2ª Campanha de Monitorização

No decurso da 2ª campanha de monitorização, realizada a 12 de Junho de 2017, efetuou-se uma recolha do solo para posterior tratamento. Estes resultados espelham o

desenvolvimento nutricional dos solos, 1 ano e 2 meses após a plantação e aplicação do biochar.

De forma a efetuar uma comparação entre os resultados da 1ª e 2ª campanhas de monitorização, usei os resultados da amostragem de solo do 1ª campanha, comparandossos com os resultados da amostragem de solo para a 2ª campanha.

5.3.2.1 – Área Plana

Em relação ao T0 (controlo sem fertilização), o teor de bases de troca (Ca, Mg, K, Na), o teor em micronutrientes e a percentagem de matéria orgânica não sofrem nenhuma alteração significativa, o seu grau de saturação em alumínio é agora limitante para todas as repetições. O pH sofre uma ligeira redução e o teor de fósforo sobe ligeiramente.

O T0A (controlo com adição de fertilizante), registou uma continuação do aumento de alguns dos seus níveis de bases de troca, nomeadamente de Mg. Em relação aos micronutrientes registou-se um aumento do teor de Zn e Cu. Observa-se também uma descida ligeira do pH e um aumento do teor de fósforo. Em relação ao grau de saturação em alumínio do solo, uma das repetições deste tratamento (T0A) está agora numa classe limitante.

Em relação ao T1 (biochar sem adição fertilizante) nota-se um claro aumento do teor de fósforo. O seu teor em bases de troca, o seu pH, o grau de saturação em alumínio e a percentagem de matéria orgânica não sofrem alterações significativas.

O T2 (biochar com adição de fertilizante) registou uma ligeira redução do pH. Em relação aos teores de bases de troca, observa-se uma descida significativa de Ca, quando comparado com os valores registados à data da 1ª campanha de monitorização. Os teores para as bases de troca continuam com um valor superior aos da sua caracterização inicial.

O seu grau de saturação em alumínio regista mudanças em 2 das repetições, que possuem agora uma classe limitante. Nos micronutrientes regista-se um aumento ligeiro do teor de Zn e Cu. Observa-se também um aumento significativo do teor em fósforo.

Em relação ao T3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante) o seu grau de saturação de alumínio manteve-se igual para todas as repetições (não limitante). Em relação aos micronutrientes evidencia-se um aumento de Cu. Os teores de bases de troca registaram uma descida significativa de Ca, Mg e K, ainda que continuem com teores superiores à da sua caracterização inicial. O pH desceu ligeiramente, enquanto a percentagem de matéria orgânica e o teor de fósforo não sofreram alterações significativas.

O T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante) registou uma ligeira descida do seu pH, enquanto o seu teor de fósforo e percentagem de matéria orgânica não sofreram alterações significativas. Em relação ao teor de bases de troca, evidencia-se uma ligeira descida de Ca, Mg e K, continuando ainda assim com valores superiores aos da sua

caracterização inicial. Os teores de micronutrientes não registam alterações significativas. O grau de saturação em alumínio aumentou significativamente passando para uma classe limitante em todas as suas repetições.

Analisando estes resultados, verifica-se que em relação ao teor de fósforo, existe um aumento significativo do teor do mesmo em casos em que o tratamento contempla a adição de fertilizante (T0A, T2 e T4), evidenciado-se este aumento quando o tratamento inclui também a adição de biochar em conjunto com o fertilizante (T2 e T4), sendo que é o T2 (biochar com adição de fertilizante) que apresenta um maior teor de fósforo. De notar também, que em tratamentos sem adição de fertilizante, mas com adição de biochar (T1 e T3) os teores de fósforo são aceitáveis, ao contrário do tratamento sem adição de biochar e fertilizante (T0) em que os seus teores são muito baixos, mostrando assim que o biochar, por si só, tem a capacidade de aumentar o teor de fósforo do solo.

Em relação ao grau de saturação em alumínio, verifica-se que em relação aos tratamentos que englobam a adição de biochar e fertilizante (T2 e T4) a sua classe passa para limitante em muitas das repetições, enquanto que para os tratamentos só com adição de biochar (T1 e T3), a sua classe é não limitante. O biochar possui então uma capacidade de redução do grau de saturação em alumínio, até maior que a do fertilizante.

No geral verifica-se também uma ligeira redução do pH do solo de todos os tratamentos, bem como um aumento dos níveis de micronutrientes, com a exclusão do tratamento sem adição de biochar e fertilizante (T0), mostrando assim a importância da adição de biochar ou fertilizante ao solo.

5.3.2.2 –Área dos terraços

Em relação ao T0A (controlo com adição de fertilizante) não se registaram grandes alterações desde a 1ª campanha de monitorização e a 2ª campanha, sendo que os seus valores de bases de troca, de micronutrientes, pH e fósforo continuam numa classe idêntica à do primeiro ensaio. O grau de saturação em alumínio mantém-se também igual, ou seja, numa classe não limitante para todas as repetições.

O T3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante) verificou uma ligeira descida no teor em fósforo. O seu teor em bases de troca continuam com teores elevados. O seu pH, grau de saturação de alumínio e o teor em micronutrientes não registam alterações significativas.

Abordando agora o T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante) verifica-se uma descida significativa do pH (quase 1 valor em algumas das repetições). O seu teor em fósforo permanece numa classe muito alta, enquanto que em relação ao teor em bases de troca, se verifica um aumento de Ca. O seu grau de saturação em alumínio e o teor em micronutrientes não registam mudanças significativas.

5.3.3 – Discussão da amostragem ao solo das plantações submetidas ao diferentes tratamentos

Serve este tópico para analisar em conjunto, os resultados para a amostragem inicial do solo e os resultados da 1ª e 2ª campanhas de monitorização, acompanhando assim os efeitos dos diversos tratamentos ao solo das plantações.

Na seguinte tabela encontra-se o resumo dos efeitos da aplicação dos diferentes tipos de tratamentos e os seus efeitos nas propriedades dos solos, englobando os resultados para a área plana e a área dos terraços.

Tabela 3: Efeitos dos diferentes tratamentos nas propriedades do solo.

Legenda: + efeitos positivos ; ++ efeitos muito positivos ; - sem alterações significativas

	Teor em bases de troca	Teor em Micronutrientes	Teor de fósforo	Grau de sat. em alumínio	pH
Controlo (T0)	-	-	-	-	-
Fertilizante (T0A)	++	-	++	+	-
Biochar (T1)	++	-	++	++	-
Biochar e fertilizante (T2)	++	+	++	+	-
Biochar Plus (T3)	++	+	++	++	-
Biochar Plus e fertilizante (T4)	++	+	++	+	-

Através da análise desta tabela, podemos verificar que em relação aos teores de bases de troca e de fósforo dos solos, tanto o biochar (normal e Plus) como o fertilizante, e os 2 em conjunto, apresentam resultados muito positivos, demonstrando assim a sua grande capacidade para aumentar os seus teores nos solos. Não se regista uma grande diferença entre os diferentes tratamentos.

Em relação aos micronutrientes, o solo das plantas submetidas ao tratamento só com a adição de fertilizante não sofreram alterações significativas, chegando mesmo a diminuir em algumas das repetições para a área dos terraços. Já nos solo das plantas submetidas aos tratamentos que incluíam o biochar (normal e Plus) ou o biochar em conjunto com os fertilizantes, registam-se efeitos positivos nos teores dos mesmos, mostrando assim a capacidade que o biochar possui de aumentar os teores de micronutrientes no solo.

Analisando o grau de saturação em alumínio, primeiramente é necessário notar que à data da sua caracterização inicial, tanto o solo para a área plana como o solo para a área dos terraços, possuíam uma classe limitante. Posto isto, verifica-se que a adição aos

solos de biochar (normal e Plus), fertilizante, e os 2 em conjunto, apresentam efeitos positivos no mesmo, contudo existem algumas diferenças nos efeitos que os diferentes tratamentos apresentam nos solos. Os melhores resultados para esta variável foram apresentados pelos solos das plantas submetidas ao tratamento somente com biochar (T1) ou biochar Plus (T4), sendo que para os tratamentos de solo que incluem a adição de biochar (normal e Plus) em conjunto com o biochar, algumas das suas repetições continuaram com um solo com um valor de classe limitante, em relação ao grau de saturação em alumínio.

Através destes resultados percebe-se também que o solo responde de forma quase neutra em relação ao seu valor de pH. Para a obtenção de resultados positivos seria necessária o seu aumento do pH, pois o seu valor à data da caracterização inicial é de aproximadamente 5 para a área plana e dos terraços, sendo que o pH ótimo para as colheitas de Eucalipto está entre 6 e os 6,5. Em todos os tratamentos não houve alterações significativas em relação ao mesmo.

5.4- Morfologia das plantas

Em relação aos resultados para a altura e diâmetro do caule de todas as plantas submetidas a tratamento, da área plana e da área dos terraços, estes dizem respeito à primeira (09/11/2016) e à segunda (12/06/2017) campanhas de monitorização.

5.4.1– Área Plana

Cinco meses após a aplicação do biochar ao solo, e observando o crescimento das plantas submetidas aos diferentes tratamentos a um nível de observação visual, sugere-se um melhor desempenho das plantas submetidas ao tratamento T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante) apontando assim para um efeito sinérgico. Tal facto também pode ser verificado através da tabela 4, onde se observa que as plantas com maior crescimento 5 meses após a plantação e aplicação do biochar são precisamente as plantas submetidas ao tratamento T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante), possuindo o maior valor de altura (1.31m) e de diâmetro do caule (28.19mm).

Em relação aos resultados obtidos na 2ª campanha de monitorização, verifica-se que as plantas que possuem um valor mais elevado em termos de altura foram as submetidas ao tratamento T2 (Biochar com adição de fertilizante), seguidas das plantas submetidas ao tratamento T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante). Em relação ao diâmetro do caule, as plantas que registaram um maior crescimento foram novamente as plantas submetidas ao tratamento T4 (Biochar Plus com adição de biochar), seguindo-se das plantas submetidas ao tratamento T2 (Biochar com adição de fertilizante) e das plantas submetidas ao tratamento T0A (controlo com adição de fertilizante).

~

Tabela 4 – Média da altura e do diâmetro do caule para as plantas da área plana.

Rótulos de linha	M. da altura (m) e SD (09-11-2016)	M. da altura (m) e SD (12-06-2017)	M. do diâmetro (mm) e SD (09-11-2016)	M. do diâmetro e SD (mm) (12-06-2017)
T0	0,65(±0,29)	1,20(±0,63)	9,63(±5,72)	18,90(±12,97)
T0A	1,08(±0,25)	2,62(±0,73)	24,23(±3,90)	50,51(±13,22)
T1	0,67(±0,37)	1,16(±0,29)	8,24(±1,67)	17,64(±6,52)
T2	1,25(±0,32)	3,29(±0,63)	26,60(±4,65)	57,97(±7,40)
T3	0,91(±0,24)	2,08(±0,42)	17,00(±4,38)	36,08(±6,20)
T4	1,31(±0,23)	3,10(±0,47)	28,26(±3,22)	63,09(±5,67)
Média e SD	0,98(±0,28)	2,24(±0,92)	18,99(±8,70)	40,70(±19,61)

Note: SD = Standard deviation

5.4.2 – Área dos Terraços

Em relação à área dos terraços, verifica-se que as plantas com melhor desempenho em termos de altura e diâmetro do caule são as submetidas ao tratamento T4 (Biochar Plus com adição de fertilizante), seguidas das plantas submetidas ao tratamento T0A (controlo com adição de fertilizante) e das plantas submetidas ao tratamento T3 (Biochar Plus sem adição de fertilizante).

Tabela 5 - Média da altura e do diâmetro do caule para as plantas da área dos terraços.

Rótulos de Linha	M. da altura (m) (09-11-2016)	M. da altura (m) (12-06-2017)	M. do diâmetro (mm) (09-11-2016)	M. do diâmetro (mm) (12-06-2017)
T0A	1,09(±0,13)	2,77(±0,63)	21,00(±4,93)	55,43(±4,02)
T3	1,05(±0,15)	2,34(±0,35)	19,36(±2,54)	44,04(±9,09)
T4	1,18(±0,33)	3,26(±0,54)	23,29(±6,08)	57,65(±8,68)
Média e SD	1,11(±0,06)	2,79(±0,46)	21,21(±1,97)	52,37(±7,30)

Note: SD = Standard deviation

5.5 - Comparação do desenvolvimento morfológico das plantas de eucalipto

5.5.1- Área Plana

Em relação ao desenvolvimento da altura das plantas submetidas aos diferentes tratamentos, verifica-se que as plantas submetidas a qualquer um dos tratamentos, desde que sem a adição de fertilizante (T0, T1 e T3), são as que apresentam um crescimento mais reduzido da sua altura, sendo que as plantas sujeitas a um tratamento com Biochar Plus (T3) evidenciam um crescimento razoável. Já as plantas submetidas a tratamentos com adição de fertilizante, apresentam um bom índice de crescimento, sendo as plantas submetidas à aplicação de Biochar (T2) as que possuem um maior valor, apesar de as plantas submetidas à aplicação de Biochar Plus (T4) apresentarem um valor muito próximo deste. Com um valor relativamente menor segue-se o controlo com adição de fertilizante (TOA).

Estes resultados estão disponíveis no gráfico seguinte:

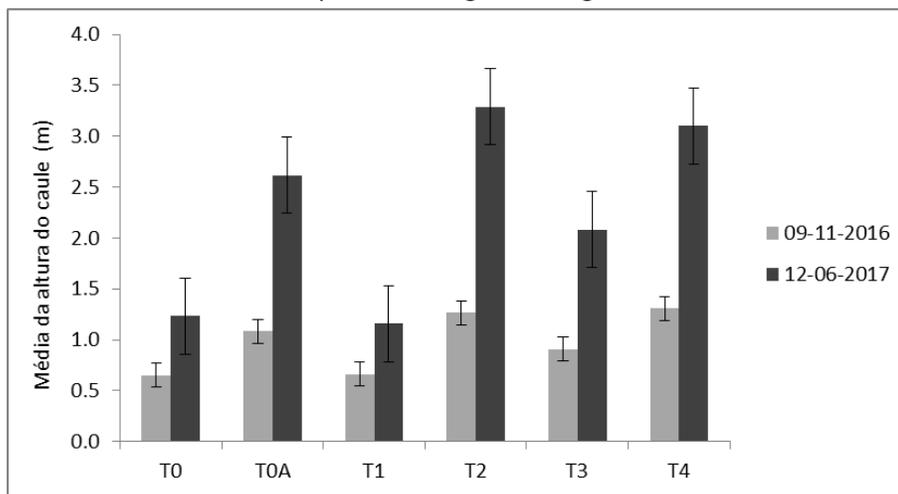


Gráfico 3 : Média da altura para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área plana. Barras de erro representam o erro padrão da média.

Em relação à média do diâmetro do caule para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos, verifica-se também que as menos desenvolvidas são as que não possuem a adição de fertilizante (T0, T1 e T3).

Nas plantas submetidas a um tratamento com a adição de fertilizante (TOA, T2 e T4), o maior valor de média do diâmetro do caule é apresentado pelas plantas submetidas a um tratamento com Biochar Plus (T4), seguindo-se muito proximamente as plantas submetidas a um tratamento com Biochar (T2) e depois o controlo com adição de fertilizante (TOA).

Estes resultados encontram-se no gráfico seguinte:

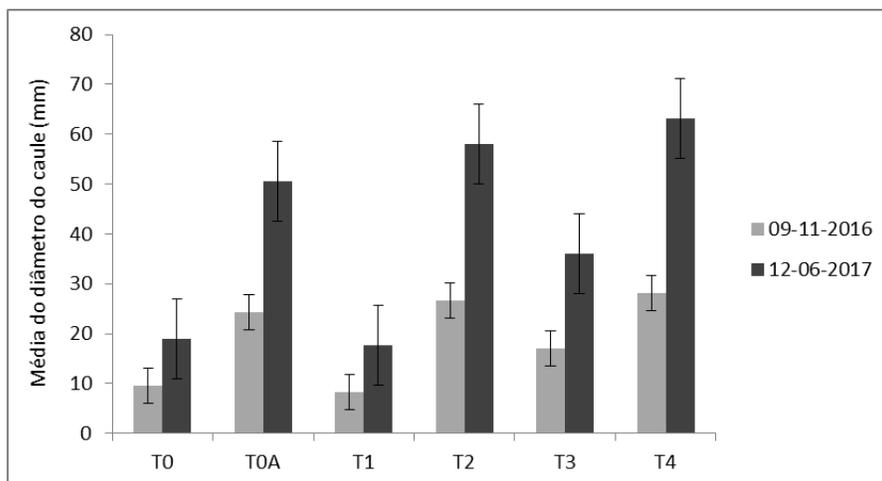


Gráfico 4 : Média do diâmetro do caule para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área plana. Barras de erro representam o erro padrão da média.

A adição de fertilizante prova assim ser muito importante para promover um melhor desenvolvimento das plantações de eucalipto.

5.5.2 – Área dos terraços

Os resultados para as plantas da área dos terraços evidenciam ainda mais a importância da adição de fertilizante, pois como se pode comprovar pelo gráfico 5, as plantas com uma média de altura mais reduzida, são as submetidas a um tratamento sem adição de fertilizante, apesar de possuir a adição de Biochar Plus (T3). Comprova-se também a importância da adição de Biochar Plus em conjunto com fertilizante às plantas, sendo que as plantas sujeitas a um tratamento com o mesmo (T4) são as que apresentam um maior crescimento em termos de altura.

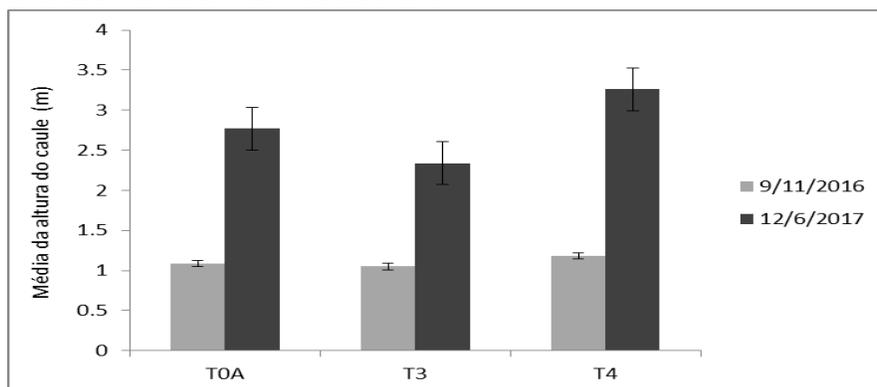


Gráfico 5 : Média da altura para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área dos terraços. . Barras de erro representam o erro padrão da média.

Em relação ao diâmetro do caule, como esperado, as que apresentam uma média mais reduzida são as plantas submetidas a um tratamento sem adição de fertilizante (T3). O maior valor de média para o diâmetro do caule é apresentado pelas plantas submetidas a um tratamento com Biochar Plus e adição de fertilizante (T4), seguindo-se as plantas do tratamento de controlo com adição de fertilizante (TOA).

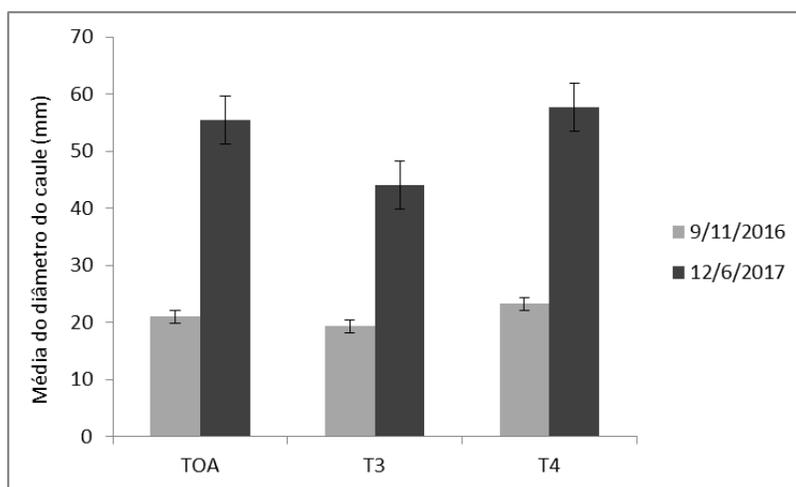


Gráfico 6 : Média do diâmetro do caule para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos na área dos terraços. Barras de erro representam o erro padrão da média.

Os resultados da área dos terraços reforçam ainda mais que, a adição de fertilizante é um factor muito importante para o desenvolvimento das colheitas de eucalipto. Em conjunto com estes fertilizantes, a adição de biochar pode vir a potenciar o desenvolvimento da altura e diâmetro das plantas de eucalipto mas os resultados são mínimos, não podendo assim retirar conclusões.

5.6- Análise dos principais resultados

Agregando agora os principais resultados, irei proceder a uma análise mais direccionada para o objectivo deste trabalho, ou seja, o efeito do biochar no crescimento morfológico das plantas jovens de Eucalipto.

Analizando os resultados para o T0 e o T1, observa-se que a adição de biochar em condições não fertilizadas não potenciou o crescimento das plantas. Contudo em T1, tratamento com adição de biochar, o biochar causou um efeito calante, proporcionando um pequeno aumento do pH do solo. Esta neutralização da acidez do solo é conhecida por aumentar a actividade das bactérias no solo e por melhorar o crescimento das plantas (Jeffery et al., 2017), contudo os resultados aqui apresentados não o demonstram, isto é devido ao aumento do pH do solo ser muito reduzido.

Em T3, tratamento com Biochar Plus sem adição de fertilizante, observa-se um maior crescimento das plantas que em T0 e T1. Isto pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de nutrientes fornecidos através do composto Biochar Plus e pelo pequeno efeito calante também aqui observado.

Os resultados mais satisfatórios incluem sempre tratamentos com adição de fertilizante (T0A, T2 e T4), sendo que entre estes, o que apresenta melhores resultados quanto à morfologia das suas plantas (altura e diâmetro do caule) é o T4, tratamento de Biochar Plus com adição de fertilizante. O composto de Biochar Plus em conjunto com o fertilizante leva a um aumento mais significativo da disponibilidade de nutrientes, quando comparada com T0A e T1.

Estes resultados demonstram que a adição de fertilizante inorgânico é essencial para o desenvolvimento das plantas jovens de Eucalipto, facto evidenciado pelo T0A, tratamento de controlo com adição de fertilizante, em que este, mesmo sem a adição de qualquer composto de biochar, apresenta resultados satisfatórios em relação ao seu crescimento.

Contudo existe uma tendência para os tratamentos que possuem fertilizante com a adição do biochar (T2 e T4) aumentarem moderadamente as suas variáveis morfológicas (altura e diâmetro do caule), quando em comparação com o T0A, tratamento de controlo com adição de fertilizante, mas os resultados não são suficientemente conclusivos para poder afirmar que o fertilizante com a adição de biochar poderia aumentar moderadamente o crescimento morfológico das plantas em comparação com o fertilizante sozinho. Tomados em conjunto, estes resultados indicam que o biochar é responsável pelo aumento dos mecanismos de disponibilidade de nutrientes, o que potencialmente deveria causar um aumento no crescimento morfológico das plantas.

O biochar é conhecido por aumentar a disponibilidade de nutrientes, nomeadamente aumentar a disponibilidade de P e N no solo (Gao et al., 2019), tanto quando adicionado ao solo sozinho, ou em conjunto com fertilizantes. O efeito de calagem também observado nos resultados, demonstra que o biochar possui também a capacidade de neutralizar o pH do solo. Ajustar o pH do solo para um valor recomendado, pode aumentar a disponibilidade de nutrientes importantes. Estas potencialidades do biochar podem levar a uma possibilidade de reduzir a taxa de aplicação de fertilizantes inorgânicos ao solo, mantendo o crescimento das plantas, o que pode ser uma redução de custos monetários interessante. O impacte aqui demonstrado pelo biochar para as plantações de Eucalipto, pode também ser esperado para outras espécies florestais, tais como o Pinheiro ou o Carvalho.

As limitações nos resultados podem estar relacionadas com o tipo de solo onde as plantas jovens de Eucalipto foram plantadas. Os solos deste particular terreno, em ambas as zonas (plana e terraços), eram solos relativamente profundos com uma baixa densidade aparente, e um conteúdo muito alto de matéria orgânica. Solos mais rasos,

com uma maior densidade aparente e menor teor de matéria orgânica, podem potencialmente apresentar melhores resultados.

Outra das limitações prende-se com o facto de o terreno ser não inclinado, possuir solos bem drenantes e com um conteúdo muito alto em matéria orgânica. Para futuras pesquisas recomendaria um terreno com um solo inclinado e com uma drenagem superficial menos ideal do que a do solo que constitui esta pesquisa.

6 – GANHOS AMBIENTAIS E DE PRODUTIVIDADE

Atualmente, existe uma grande preocupação nacional e mundial em termos de reflorestamento. O reflorestamento é definido como uma ação ambiental que visa repovoar áreas que tiveram a sua vegetação removida por forças da natureza (por exemplo, incêndios) ou ações humanas (queimadas, exploração de madeira, expansão de áreas agrícolas, etc).

A floresta é um dos mais importantes pilares para a sustentabilidade nacional. Nesse sentido, pretende-se adotar as melhores práticas de planeamento e gestão florestal, pautando assim a sua ação por um conjunto de princípios e regras de gestão responsável, que conciliem preocupações ambientais, sociais e económicas. O cumprimento destes princípios é fundamental para incutir um novo olhar sobre a floresta, um olhar inovador e sustentável, preservando a floresta natural e incentivando as plantações florestais, otimizando novos espaços e investindo no valor e na função produtiva das florestas (Caldeira, et al. 2011).

O aumento da produção nacional de madeira para a indústria deve ser encarado como tarefa urgente, pelo reforço de competitividade que poderá assegurar às empresas da fileira florestal e pelos importantes efeitos induzidos na economia do País.

A aplicação de biochar aos solos, nomeadamente os biochars produzidos através de resíduos de madeira, é considerada como uma ferramenta de gestão ambiental para alcançar uma produção sustentável de madeira, permitindo um aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos, melhorando também o teor de nitrogénio e carbono dos solos (Barrow, 2012, ; Woolf, et al. 2010).

O reflorestamento pode ter também um objetivo plenamente comercial, principalmente quando a árvore em questão é o Eucalipto. Essa espécie é escolhida porque cresce rapidamente, possuindo uma ótima aceitação no mercado de madeira para fabricação de papel. Atualmente, do Eucalipto, tudo se aproveita. Das folhas, extraem-se óleos essenciais, a casca oferece tanino, o tronco fornece madeira e a sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose.

Em relação aos ganhos ambientais que estas ações de reflorestamento acarretam consigo, este processo possui a capacidade de promover o sequestro de CO₂ da atmosfera, reduzindo assim a sua concentração e conseqüentemente permitindo a fixação do carbono na biomassa da vegetação e nos solos, desempenhando um importantíssimo papel no combate ao efeito de estufa (Cowie, et al.2012).

O reflorestamento tem também um papel de grande importância no aumento dos recursos hídricos, na prevenção de problemas relacionados com a erosão do solo e na preservação da Fauna e Flora, ajudando assim a preservar e a reconstruir o ecossistema florestal.

7 – CONCLUSÃO

Ao realizar este trabalho, e de acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a adição de fertilizante e biochar ao solo são elementos importantes na promoção do desenvolvimento das plantas jovens de eucalipto. Sem a adição de fertilizantes as plantas jovens correm o risco de “morrer”, tal como se verificou através dos resultados dos trabalhos de retanchar efetuados.

Através dos resultados obtidos nas duas campanhas de monitorização é possível concluir que a aplicação de biochar em conjunto com os fertilizantes aos solos das plantações, pode ser uma forma de potenciar o desenvolvimento das colheitas de eucalipto. Os nossos resultados demonstram que a adição de fertilizantes e biochar aos solos aumenta os seus teores de bases de troca e de fósforo, sendo que se conseguiu demonstrar que o biochar (normal e Plus) têm sozinhos, a capacidade de aumentar o teor de micronutrientes do solo, algo que não acontece no solo dos tratamentos que somente incluíam a adição de fertilizante aos solos. O biochar (normal e Plus) demonstra também a sua importância em relação à diminuição do grau de saturação dos solos, para uma classe não limitante, obtendo os seus resultados mais satisfatórios para tratamentos somente com a adição do mesmo, tal como demonstrado pelos resultados da sua morfologia. Estes resultados indicam que o biochar é também responsável pelo aumento dos mecanismos de disponibilidade de nutrientes, o que potencialmente deveria causar um aumento no crescimento morfológico das plantas.

Os resultados morfológicos demonstram que a aplicação de biochar aos solos, quando aplicado sem a adição de fertilizante, não afeta o crescimento das plantas jovens de Eucalipto. Não se evidenciaram diferenças de crescimento significativas entre as plantas jovens submetidas a um tratamento somente com fertilizante e as plantas submetidas a um tratamento com biochar misturado com o fertilizante. As diferenças acentuadas no crescimento das plantas jovens foi evidenciado entre as plantas submetidas a um tratamento que incluía a adição de fertilizante e as que só possuíam biochar ou controlo, afirmando assim a importância da adição de fertilizante aos solos. Existem também algumas indicações de que a adição de biochar em conjunto com o fertilizante pode aumentar moderadamente o crescimento das plantas, isto em comparação com os tratamentos que só possuem fertilizante, mas os resultados não foram inteiramente conclusivos, e requerem mais pesquisas.

Apesar de possuir indicações positivas em relação aos efeitos do biochar no solo, estas pouco se demonstraram no crescimento morfológico das mesmas. As limitações nestes resultados podem estar relacionadas com o tipo de solo onde as plantas jovens de Eucalipto foram plantadas. Estes solos eram já inicialmente, solos com boas propriedades para o reflorestamento, contudo o biochar tem uma maior tendência de evidenciar o seu potencial para a reflorestação em solos já degradados.

Para além dos aproveitamentos em termos de melhoramento dos solos e da morfologia das colheitas de eucalipto, o biochar pode também ser uma fonte de rendimento, usando para isso os resíduos orgânicos locais como matéria-prima para a pirólise, oferecendo assim uma maior flexibilidade ao gerenciar o processamento de resíduos e os custos associados aos sistemas convencionais de produção florestal, podendo também ser usado para posterior venda comercial. As potencialidades do biochar podem levar também a uma possibilidade de reduzir a taxa de aplicação de fertilizantes inorgânicos ao solo, mantendo o crescimento das plantas, o que pode levar a uma redução de custos interessante.

Por último é importante, da minha parte, realçar a base teórico-prática adquirida no curso com Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, que me permitiu adquirir os conhecimentos necessários à realização deste relatório de estágio.

Foi também importante a minha integração em ambiente de estágio curricular na AFBV, não só a nível académico, como também na medida em que me proporcionou um crescimento profissional e também pessoal.

8 – REFLEXÕES FUTURAS

Toda esta experiência de trabalho com a AFBV e a UA, demonstrou que é possível fazer uma floresta mais cuidada, mais produtiva, e que salvaguarda os valores ambientais e patrimoniais, sendo também uma fonte geradora de riqueza para a região do Baixo Vouga.

O eucalipto é visto em Portugal e na região do Baixo Vouga, como elemento objecto de grande importância económica. Dessa forma o biochar, e a sua aplicação aos solos das colheitas de eucalipto, é visto como uma abordagem inovadora e de grande relevância.

Este trabalho representa o estudo da melhoria potencial das povoações de eucalipto através da aplicação de biochar, contudo, somente se efectuou o acompanhamento do 1º ano do projecto, sendo por isso ainda um trabalho em curso e que deverá ser objecto de um estudo mais aprofundado. Várias medidas podem e devem ser tomadas de forma a aproveitar os resíduos orgânicos florestais, podendo-se para isso criar locais para carregadouros de madeira e depósitos de biomassa florestal.

Mais pesquisas sobre este tema serão necessárias para atingir um consenso em relação à aplicação do biochar aos solos das plantações, especialmente relacionados com as plantações de Eucalipto, pois poucas são as pesquisas existentes sobre a mesma.

A AFBV deverá também continuar a reforçar o seu contributo para um desenvolvimento sustentável da floresta, contributo esse que se tem revelado fundamental para a floresta da região do Baixo Vouga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Annette L. Cowie, Adriana E. Downie, Brendan H. George, Bhupinder-Pal Singh, Lucas Van Zwieten, Deborah O'Connell- Is sustainability certification for biochar the answer to environmental risks. *Pesq. agropec. Bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.637-648, maio 2012.

Atkinson CJ, Fitzgerald JD, Hips NA (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337:1–18.

Barrow, C.J. (2012) Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography* 34(2012), 21-28.

Beesley L., Marmiroli M. (2011): The immobilization and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution*, 159: 474–480.

Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J.L. (2010): Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158: 2282–2287.

Caldeira, M. V. W. et al. Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: Caldeira, M. V. W. et al. (Eds.). *Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011b. p. 142-160.

Cheng, C., J. Lehmann, J. Thies, S. Burton and M. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37:1477-1488.

Cowie, Annette L., Downie, Adriana E., George, Brendan H., Singh, Bhupinder-Pal, Van Zwieten, Lukas, & O'Connell, Deborah. (2012). Is sustainability certification for biochar the answer to environmental risks?. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5), 637-648.

David, T., et al. (1996), Transpiration from a mature *Eucalyptus globulus* plantation in Portugal during a spring-summer period of progressively higher water deficit. *Oecologia* 110: 153-159.

Downie, A., A. Crosky and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. p. 13-32. In J. Lehmann and S. Joseph (eds.) *Biochar for environmental management*. Science and Technology ed. Earthscan, London.

Esben W. Bruun, Per Ambus, Helge Egsgaard, Henrik Hauggaard-Nielsen Soil Biology & Biochemistry 46 (2012)- Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics., 73-79.

Farias, J. de Marimon, B. S.: Silva L. de C. R.: Petter, F. A: Andrade, F. R.: Morandi, P. S.: Marimon-Junior, B. H., Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia., *Forest Ecology and Mangement* 368 (2016) 173-182.

Fabrcio Ribeiro,. B. H. Marimon-Junior., T. Schosser – Biochar como condicionador de substrato para a produo de mudas de eucalipto. *Revista Caatinga*, Mossoro, v.25, n.3, p. 44-51., 2012.

Flix, Camila Ribeiro de Oliveira, Azevedo Jnior, Aroldo Flix de, Freitas, Carolina Costa, Pires, Carlos Augusto de Moraes, Teixeira, Victor, Frety, Roger, & Brandao, Soraia Teixeira. (2017). Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presena de catalisador Al-MCM-41. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 22(Suppl. 1), e11915. Epub January 08, 2018

Gaskin, Julia W., R. A. Speir, Keith Harris, K. C. Das, R. D. Lee, Lawrence A. Morris, and Dwight S. Fisher. "Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield." *Agronomy Journal* 102.2 (2010): 623-33.

Glaser, B. & Birk, J. J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, 39-51.

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. & Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88, 37-41.

Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W.: 2002, 'Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review', *Biology and Fertility of Soils* 35, 219–230.

IFN 1995 – Inventário Florestal Nacional, Portugal Continental. 3ª Revisão 1995 - 1998. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza e das Floresta.

IFN 2005 – Inventário Florestal Nacional, Portugal Continental. 5ª Revisão. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza e das Floresta.

Jessica A. Drake et al, - Does Biochar Improve Establishment of Tree Seedlings in Saline Sodic Soils., *Land degradation e development*. 27:52-59 (2016).

Jiang J, Xu R, Jiang T, Li Z (2012) Immobilization of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. *J Hazard Mater* 229–230:145–150.

Johnson, J. D.; Cline, P. M. Seedling quality of southern pines. In: Dureya, M. L., Dougherty, P.M. (Eds.). *Forest regeneration manual*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 143- 162.

Jones, D.L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H., Murphy, D.V., 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biol. Biochem.* 45, 113–124.

Joseph, S.; Lehmann, J. Characterization of *biochars* to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114: 644- 653, 2012

Lehmann J, Gaunt J and Rondon M 2006 Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation Adaptation Strategies. Global Change* 11: 395–419

Lehmann, J., Joseph S. (2009), *Stability of biochar in the soil*. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan

Lehmann, J., J. da Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249:343-357

Lehmann, J., Kern, D.C., German, L.A., McCann, J., Martins, G.C. and Moreira, A.: 2003b, 'Soil Fertility and Production Potential', in J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser and W.I. Woods (eds.), *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*, (pp. 105–124) Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Liu YX, Wu WX, Shi DZ, Yang M, (2014) Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water Air Soil Poll* 213:47–55.

Marunda, C. *Forestry Tasmania fire risk management database*, in: *Tasmania Forestry* (Ed.). Internal Database, 2010-2013.

Mukome, F.N.D.; Zhang, X.; Silva, L.C.R.; Six, J.; Parikh, S.J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.61, p.2196-2204, 2013. DOI: 10.1021/jf3049142

Novotny EH, Hayes, MHB, Madari, BE, Bonagamba, TJ, deAzevedo, ER, deSouza, AA, Song, G, Nogueira, CM and Mangrich, AS 2009. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. *J. Braz. Chem. Soc.* 20, 1003-1010.

Patricia Battie-Laclau et al., Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management* 364 (2016) 77-89

Petter, Fabiano A., & Madari, Beata E.. (2012). Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(7), 761-76

PROF Centro Litoral 2006- Plano Regional de Ordenamento Florestal do Centro Litoral. Instituto de Conservação da Natureza.

Robert C. Brown Center for Sustainable Environmental Technologies Department of Mechanical Engineering Iowa State University- Biochar Production Technology.

Rockwood, D., et al. (2008), Energy product options for *Eucalyptus* species grown as short rotation woody crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 9: 1361-1378.

Sean C. Thomas, Nigel Gale. Biochar and forest restoration: a review and meta analysis of tree growth responses. Faculty of Forestry, 2015 University of Toronto.

Si Gao Thomas, H.DeLuca, Cory C.Cleveland. *Science of The Total Environment* Volume 654, 1 March 2019, Pages 463-472

Silva, Maria Isidoria et al. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. *Cienc. Rural*. 2017, n.1., vol.47.

Simon Jeffery, Diego Abalos, Marija Prodana, Ana Catarina Bastos, Jan Willem van Groenigen, Bruce A Hungate and Frank Verheijen 2017 *Environ. Res. Lett.* 12 053001

Sohi S, Loez-Capel E, Krull E and Bol R 2009 Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, 64 pp.

Spokas, K.A., W.C. Koskinen, J.M. Baker, and D.C. Reicosky. 2009. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/ degradation of two herbicides in a Minnesota soil. *Chemosphere* 77:574– 581.

Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Archer, D.W., Ippolito, J.A., Collins, H.P., Boateng, A.A., Lima, I.M., Lamb, M.C., McAloon, A.J., Lentz, R.D., Nichols, K.A., 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41, 973–989.

Spokas KA (2010) Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. *CarbonManage* 1:289–303.

Uchimyia M., Lima I.M., Klasson K.T., Wartelle L.H. (2010): Contaminant immobilization and release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter. *Chemosphere*, 80: 935–940.

Uchimyia M., Klasson K.T., Wartelle L.H., Lima I.M. (2011): Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere*, 82: 1431–1437.

Van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246.

Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C., Van der Velde M., Diafas I. (2010): Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects of Soil Properties, Processes and Functions. JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24099 – EN, Italy. Vidal M., Santos M.J., Abrao T., Rodriguez J., Rigol A. (2009): Modeling competitive metal sorption in a mineral soil. *Geoderma*, 149: 189–198.

Verheijen F et al., Sustainability, certification, and regulation of biochar. *Pesq. Agropesc. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.649-653, maio 2012.

Woolf D, Amonette J E, Street-Perrott F A, Lehmann J and Joseph S 2010 Sustainable biochar to mitigate global climate change *Nat. Commun.* 1 56

Wrobel-Tobiszewska, M. Boersma, P. Adams, - An economic analysis of biochar production using residues from Eucalypt plantations. *Biomass and Bioenergy* 81 (2015) 177-182.

Wrobel-Tobiszewska, M. Boersma, P. Adams, B. Singh, S. Franks and J. Sargison- Biochar for Eucalyptus forestry plantations., Symposium on Sustainable Management in the Urban Forest.

ANEXOS

Anexo A - Esquema ilustrativo dos elementos presentes na política florestal da UGF do Baixo Vouga.

Anexo B - Registo fotográfico do acompanhamento dos trabalhos de saída de campo.

Anexo C - Política florestal da UGF do Baixo Vouga.

Anexo D - Quadro relativo à ocupação do solo por concelho da UGF (IFN 2005) e gráfico de ocupação do solo na totalidade da UGF (IFN 2005).

Anexo E - Estimativa da disponibilidade anual potencial de resíduos em povoamentos florestais, em ton/ano, com 40% de humidade (PROF Centro Litoral 2006).

Anexo F - Esquemas de tratamento (área plana e área dos terraços) realizados para o ensaio de campo de Vale Domingos.

Anexo G - Fotos dos trabalhos de campo realizados no dia da aplicação biochar e plantação.

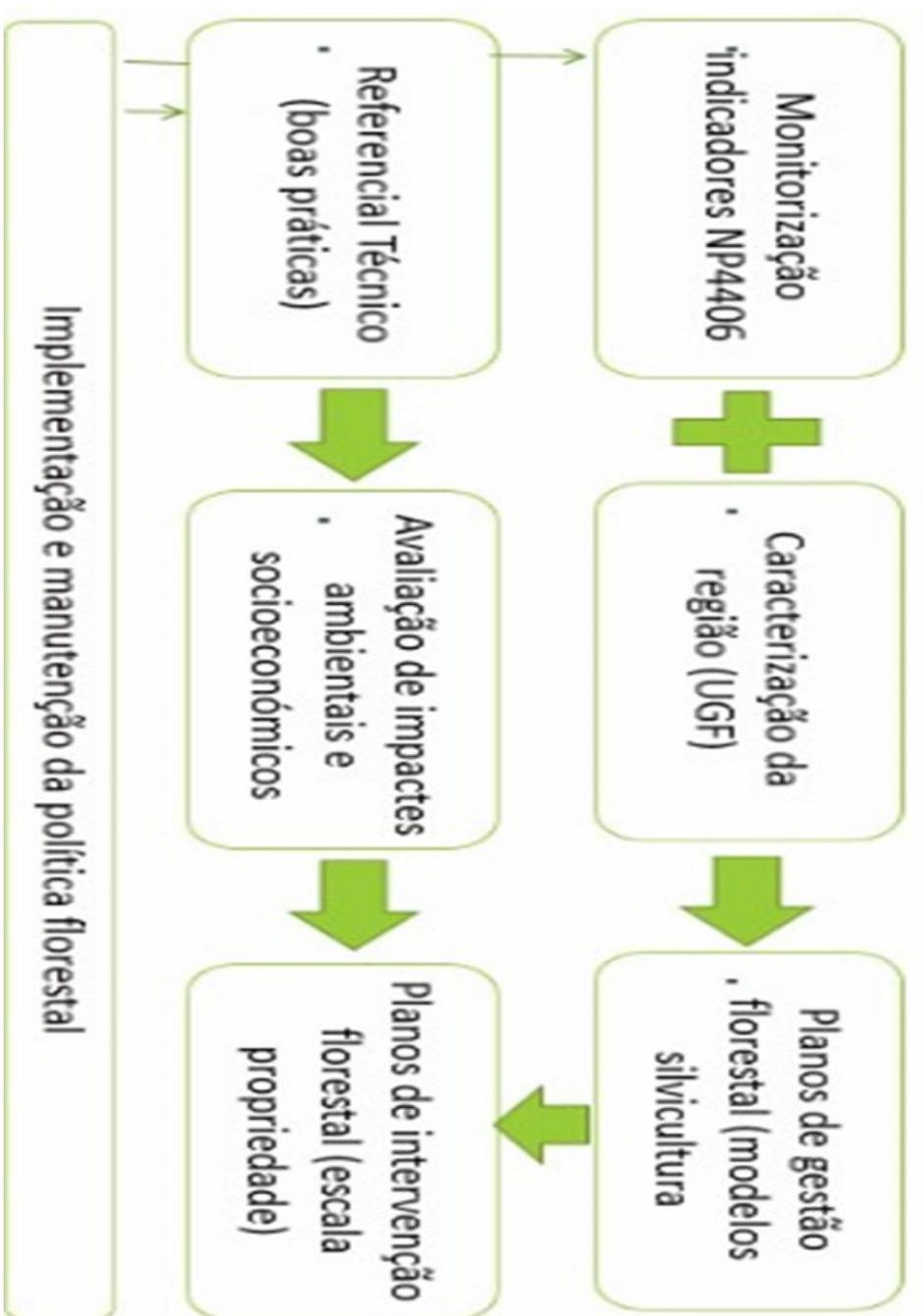
Anexo H - Comparação da vista panorâmica entre a data do 1º ensaio de campo e 9 meses depois, à data do 2º ensaio de campo.

Anexo I - Registo fotográfico dos trabalhos de campo efectuados durante o 2º ensaio de campo realizado a 12/06/2017.

Anexo J - Metodologia usada para a recolha de amostras do solo.

Anexo L - Registo fotográfico de uma crivagem de solo efectuada na UA.

ANEXO A - Esquema ilustrativo dos elementos presentes na política florestal da UGF do Baixo Vouga.



ANEXO B – Registo fotográfico do acompanhamento dos trabalhos de saída de campo.



ANEXO C - Política florestal da UGF do Baixo Vouga.



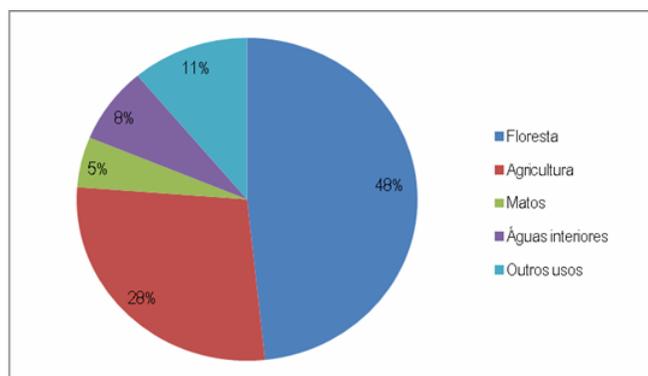
Política Florestal da Unidade de Gestão Florestal da Região Baixo Vouga

Esta Política foi definida com base no que é emanado pelo Plano Regional de Ordenamento Florestal do Centro Litoral, em especial para as Sub-Regiões Homogéneas que se enquadram na NUT III - Baixo Vouga.

- Promover a Planificação e a Gestão Florestal pela adopção de modelos de silvicultura, adequados à estação, com vista à maior valorização e diversificação dos espaços e produtos florestais.
- Contribuir para a mitigação dos efeitos associados aos agentes nocivos.
- Fomentar o desenvolvimento de actividades de uso múltiplo dos espaços florestais.
- Reconhecer e valorizar as externalidades positivas geradas pela floresta.
- Promover a adopção de boas práticas de gestão florestal de forma a reduzir os impactos ambientais e sociais e a potenciar a conservação dos habitats de fauna e flora classificadas.
- Desenvolver as aptidões dos agentes do sector, sob o ponto de vista técnico e operacional.
- Implementar, manter e rever o Sistema de Gestão Florestal, pela adopção de uma postura de melhoria contínua.
- Cumprir com a legislação portuguesa e os regulamentos aplicáveis.
- Cumprir com os critérios Pan-Europeus para a Gestão Florestal Sustentável.
- Disponibilizar-se para receber e responder a questões colocadas pelas partes interessadas.
- Promover o desenvolvimento da gestão agrupada de áreas florestais.

ANEXO D - Quadro relativo à ocupação do solo por concelho da UGF (IFN 2005) e gráfico de ocupação do solo na totalidade da UGF (IFN 2005).

Concelho	Floresta		Agricultura		Matos		Águas interiores		Outros usos		Total
	ha	%	Ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Águeda	22.714	68	6.254	19	2.136	6	421	1	2.002	6	33.527
Albergaria-a-Velha	9.379	59	4.650	29	399	3	455	3	999	6	15.882
Anadia	10.919	50	6.753	31	1.626	8	0	0	2.365	11	21.663
Aveiro	4.206	21	4.522	23	882	4	6.724	34	3.412	17	19.746
Estarreja	3.186	29	5.555	51	154	1	692	6	1.231	11	10.818
Ílhavo	1.680	23	1.929	26	239	3	1.257	17	2.241	31	7.346
Murtosa	1.809	25	2.147	29	493	7	2.220	30	639	9	7.308
Oliveira do Bairro	3.199	37	3.959	45	424	5	51	1	1.099	13	8.732
Ovar	7.128	48	3.397	23	763	5	600	4	2.880	20	14.768
Sever do Vouga	9.179	70	2.527	19	660	5	51	0	653	5	13.070
Vagos	8.424	51	5.532	34	757	5	478	3	1.301	8	16.492
Total	81.823	48	47.225	28	8.533	5	12.949	8	18.822	11	169.352

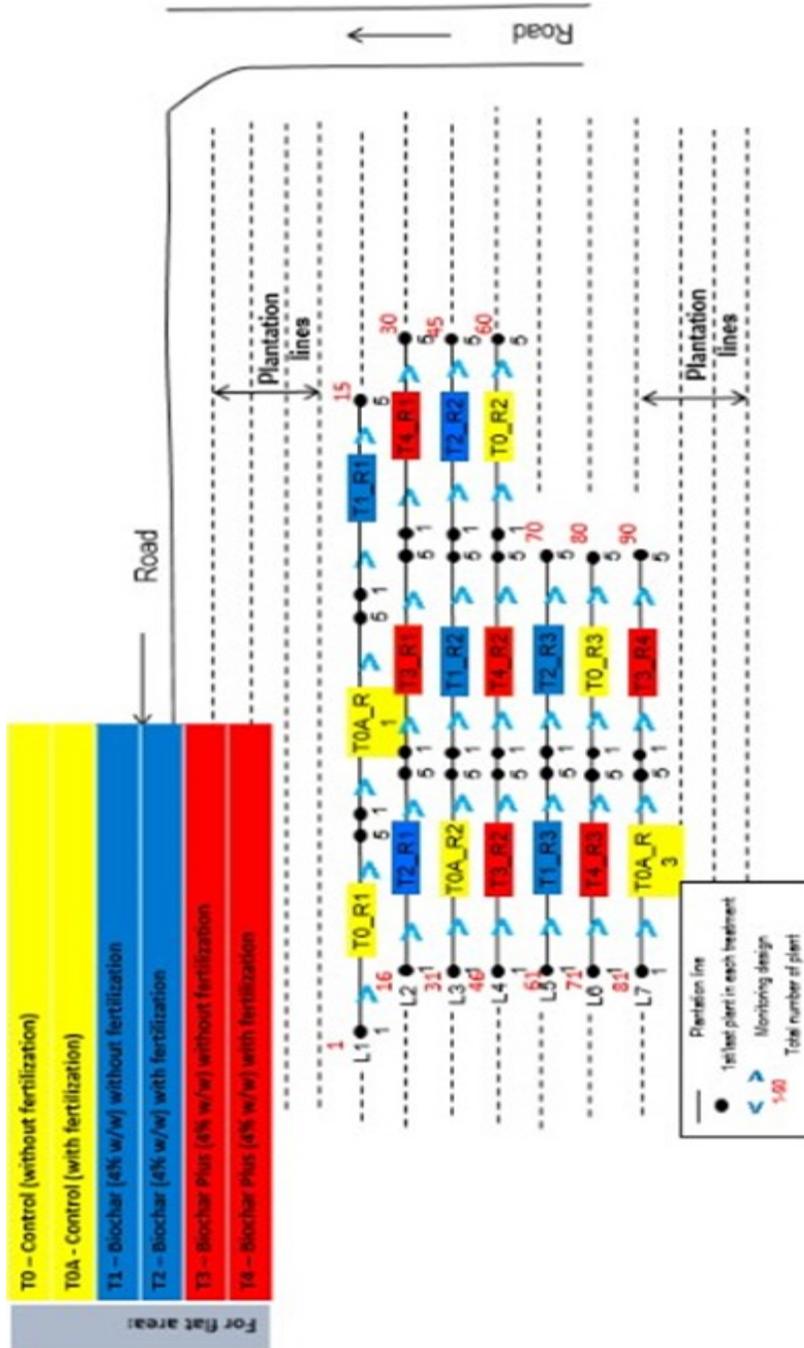


ANEXO E -Estimativa da disponibilidade anual potencial de resíduos em povoamentos florestais, em ton/ano, com 40% de humidade (PROF Centro Litoral 2006).

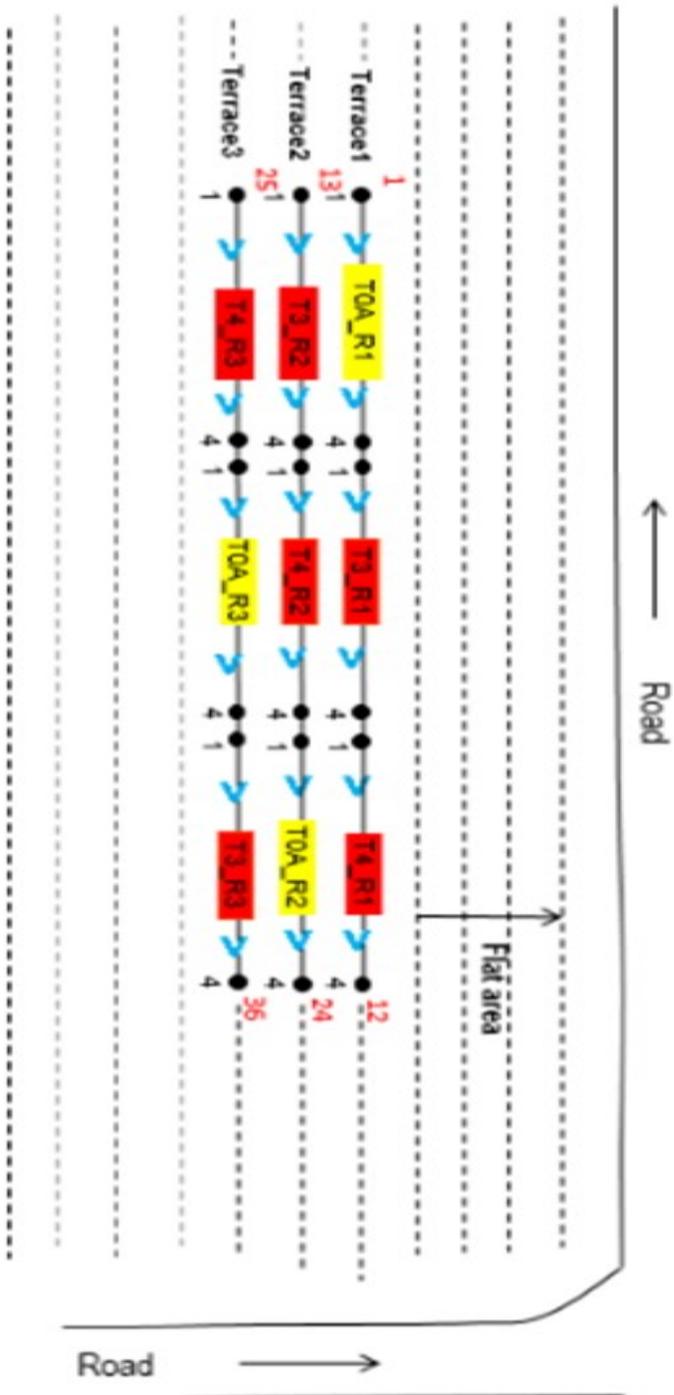
Concelhos	Pinheiro bravo (ton)	Eucalipto (ton)	Total (ton)
Anadia	2.825	10.742	13.567
Oliveira do Bairro	932	6.566	7.498
Vagos	5.987	2.007	7.994
Total	9.744	19.315	29.059

ANEXO F - Esquemas de tratamento (área plana e área dos terraços) realizados para o ensaio de campo de Vale Domingos.

Área Plana

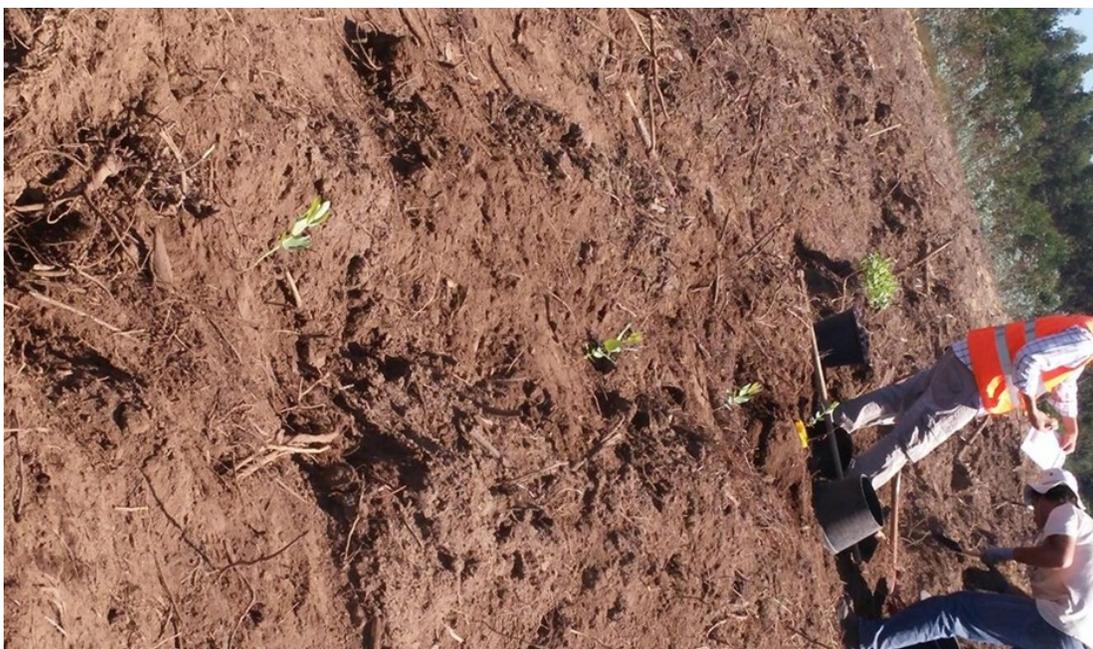


Área dos terraços



For terraces: **T0A – Control (with fertilization)**
T3 – Biochar Plus (4% w/w) without fertilization
T4 – Biochar Plus (4% w/w) with fertilization

**ANEXO G - Fotos dos trabalhos de campo realizados no dia da aplicação biochar e
plantação**





ANEXO H - Comparação da vista panorâmica entre a data do 1º ensaio de campo (imagem á sua esquerda) e 9 meses depois, à data do 2º ensaio de campo (imagem à sua direita).



ANEXO I - Registo fotográfico dos trabalhos de campo efectuados durante o 2º ensaio de campo realizado a 12/06/2017.



ANEXO J - Metodologia usada para a recolha de amostras do solo.

Recolha de solo:

- profundidade de 0-20cm
- 1 amostra composta por 10 sub-amostras por réplica

Exemplo na 1ª recolha:
Tratamento A_R1



Exemplo na 2ª recolha:
Tratamento A_R1



ANEXO L - Registo fotográfico de uma crivagem de solo efectuada na UA.

