

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



Ciências
ULisboa

**Contribuição para a conservação sustentável de ecossistemas
dunares invadidos por *Acacia longifolia***

Mariana Estorninho da Mata Santana Ramos

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação orientada por:
Prof^ª Doutora Cristina Máguas

2016

Índice

Índice de Figuras	II
Índice de Tabelas	V
Lista de Abreviaturas	VI
Agradecimentos	VII
Resumo	VIII
Abstract	IX
Introdução – Conceitos Gerais	- 1 -
Capítulo 1	- 5 -
Modelo de Biomassa de <i>Acacia longifolia</i>	- 5 -
1.1. Introdução	- 5 -
1.2. Materiais e Métodos	- 7 -
1.2.1. Área de estudo e Informações	- 7 -
1.2.2. Determinação dos parâmetros alométricos	- 8 -
1.2.3. Determinação do rácio C/N, N e respetivo fracionamento isotópico do C ($\delta^{13}\text{C}$) e do N ($\delta^{15}\text{N}$)	- 10 -
1.2.4. Tratamento estatístico	- 10 -
1.3. Resultados e Discussão	- 11 -
Capítulo 2	- 17 -
Reaproveitamento da Biomassa de <i>A. longifolia</i>	- 17 -
2.1. Introdução	- 17 -
2.2. Materiais e Métodos	- 20 -
2.2.1. Preparação do material vegetal	- 20 -
2.2.1. Sistema de compostagem com condições controladas - SAQ	- 21 -
2.2.1. Sistema de compostagem com condições controladas - AQ	- 22 -
2.2.3. Parâmetros medidos	- 23 -
2.2.4. Tratamento Estatístico	- 24 -
2.3. Resultados e Discussão	- 24 -
Considerações Finais	- 33 -
Referências Bibliográficas	- 35 -
Anexos	- 42 -
Anexo I – Caracterização da população de <i>A. longifolia</i> amostrada	- 42 -
Anexo II – Correlações entre as variáveis registadas na elaboração do modelo de <i>A. longifolia</i>	- 43 -
Anexo IV – Imagens reais do sistema de aquecimento	- 45 -
Anexo V – Experiência SAQ	- 46 -
Anexo VI – Experiência AQ	- 48 -
Anexo VII – Evolução do material vegetal em SAQ e AQ ignorando tratamentos	- 50 -

Índice de Figuras

- Figura 1** – Invasão por *A. longifolia*. A – indivíduo isolado B – impacto no ecossistema, com elevada acumulação de matéria orgânica sob as copas de acácias (folhada).....- 3 -
- Figura 2** – O impacto negativo de *A. longifolia* num ecossistema invadido e uma possível solução que será benéfica ao desenvolvimento da vegetação nativa.....- 6 -
- Figura 3** - Potenciais formas de crescimento volumétrico utilizados na elaboração de um modelo de biomassa das espécies em estudo por Ludwig et al. (1975). No topo encontra-se um arbusto com uma forma de crescimento semelhante a um cone invertido, no meio com crescimento semelhante a esferóide oblato e por último associado a um esferóide prolato. Imagem adaptada de Ludwig et al. 1975.- 6 -
- Figura 4** - Área de estudo, localizado na zona sudoeste de Portugal. Este local apresenta-se muito próximo do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (PNSACV), no entanto, é uma zona sujeita a impacto agrícola. Imagem adaptada de Google Maps (2016)- 8 -
- Figura 5** – Processo de amostragem com separação da biomassa de *A. longifolia* em folhas, ramos e troncos. A - Representação de estruturas volumétricas que podem representar as formas de crescimento de *A. longifolia* consideradas na elaboração do modelo preditivo da sua biomassa. A amarelo está esquematizado o volume do cone (Equação 1), a vermelho o esferóide prolato (meia esfera alongada) (Equação 2) e a branco o cilindro (Equação 3). B – Representa separadamente os componentes de *A. longifolia* (folhas, ramos e troncos) depois de separados manualmente.- 9 -
- Figura 6** – Caracterização da população de *A. longifolia* na área de estudo, sendo que A, B e C representam respetivamente a altura, o DAS e a copa (medidas alométricas) retiradas aos 30 indivíduos amostrados. As classes foram construídas de acordo com a regra de Struges. (A) a população amostrada apresentava maioritariamente valores de altura entre os 210 e os 426 cm; (B) os valores de DAS incidiram principalmente entre 2 e 9,2cm; (C) as medidas das copas amostradas não evidenciaram nenhuma tendência.....- 11 -
- Figura 7** - Correlações entre a biomassa total dos 30 indivíduos de *A. longifolia* com as suas medidas alométricas (A - DAS, B - Altura, C - Copa) e potenciais formas de crescimento. D - Volume Cilindro (Equação 3), E - Volume de Meia Esfera Alongada (Equação 2), F – Volume do Cone (Equação 1). Os valores de r_s e p-value resultam de correlações de Spearman. Anexo II.....- 12 -
- Figura 8** – Modelo de regressão linear entre o volume (Equação 2) e biomassa total de indivíduos de *A. longifolia*. O modelo obtido explica-se pela fórmula: $B_t = 0,8218V - 2,5518$, na qual B_t = Biomassa total de *A. longifolia*, V =Volume. O valor R^2 e o p-value associados a este modelo derivam da correlação de Pearson.- 13 -
- Figura 9** - Representação da relação entre a biomassa total de *A. longifolia* e a biomassa associada aos diferentes componentes da planta. A cor verde encontra-se associada à percentagem da biomassa das folhas (35%), a tonalidade castanho claro a percentagem dos ramos (24%) e a castanho mais escuro a percentagem da biomassa dos troncos (41%). A biomassa de *A. longifolia* é muito rica em lenhina, uma vez que, o maior contributo em biomassa é dos troncos, seguindo-se as folhas e por últimos os ramos. - 13 -
- Figura 10** - Diferenças na composição em C, N e respetivo rácio C/N nas folhas, ramos e troncos dos indivíduos de *A. longifolia* (n=30). Para as três representações, letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as componentes da planta. As folhas apresentam valores significativamente

superiores de azoto (A) e de carbono (B) e inferiores de C/N (C) (Teste à posteriori: Teste de Comparação Múltipla Não Paramétrica para Grupos Emparelhados (Maroco e Bispo 2003)).....- 14 -

Figura 11 - A comparação da constituição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas folhas, ramos e troncos. Para as duas representações letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as componentes da planta. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (A) e de $\delta^{15}\text{N}$ (B) associados às diferentes componentes da planta (Teste à posteriori: Teste de Comparação Múltipla Não Paramétrica para Grupos Emparelhados (Maroco e Bispo 2003)).....- 15 -

Figura 12 - Comportamento da temperatura no decorrer do processo de compostagem e identificação das diferentes fases de maturação no mesmo (Imagem retirada de Kiehl 1998).....- 18 -

Figura 13 – Preparação do material vegetal. A – Representa a recolha do material vegetal. Trata-se de um exemplo de um indivíduo cortado de *A. longifolia*. B- Representa uma pilha de material vegetal de *A. longifolia* já triturado e homogeneizado. O material foi triturado perto do local de corte, mais concretamente na Herdade dos Nascedios, Vila Nova de Mil Fontes.- 20 -

Figura 14 - Representação esquemática do sistema SAQ. (A) esquema ilustrativo sob uma perspetiva superior (esquerda), na qual cada quadrado preto representa um reator. (B) interior de um reator de um ponto de vista lateral (direita). O sistema era constituído por 9 reatores havendo 3 reatores distribuídos aleatoriamente de cada tratamento.- 21 -

Figura 15 - Representação esquemática do sistema de aquecimento (AQ) sob uma perspetiva superior (esquerda), e visão lateral do interior dos reatores (direita). Representação real no Anexo IV.- 22 -

Figura 16 – Variação dos parâmetros temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e conteúdo hídrico (%) para os diferentes tratamentos (C0, FOL e E) ao longo do tempo na experiência SAQ. A representação de cada tratamento, associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), deriva das amostras das 3 caixas. O degradé de cinzentos, no fundo do gráfico, está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).- 24 -

Figura 17 – Variação dos parâmetros medidos ao longo do tempo, na experiência SAQ, sendo que: A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D – a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo. A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), e resulta da amostragem das 3 caixas.- 25 -

Figura 18 - Variação dos parâmetros temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e conteúdo hídrico (%) para os diferentes tratamentos ao longo do tempo na experiência AQ. A representação de cada tratamento, associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), deriva da amostragem das 5 caixas. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).- 26 -

Figura 19 - Variação dos parâmetros medidos ao longo do tempo na experiência AQ, sendo que: A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D – a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo E – a variação do pH durante o processo; A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), e resulta da amostragem das 5 caixas.- 27 -

Figura 20 – w Variação do pH durante a experiência AQ. A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), e resulta da

amostragem das 5 caixas. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).- 28 -

Figura 21 - Variação dos parâmetros temperatura (°C) e conteúdo hídrico (%) numa análise global que ignora os tratamentos durante 45 dias. A tracejado encontram-se representados os resultados referentes à experiência SAQ (n=9) e a linha aos resultados provenientes do sistema AQ (n=15). Associado à cor azul clara está a representação do conteúdo hídrico e a preto os valores de temperatura. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).- 29 -

Figura 22 - Variação dos parâmetros medidos, durante os 45 dias, numa análise global que ignora os tratamentos, para os dois sistemas utilizados (SAQ e AQ). A tracejado encontram-se representados os resultados referentes à experiência SAQ (n=9) e a linha aos resultados provenientes do sistema AQ (n=15). A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D - a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo.- 30 -

Índice de Tabelas

- Tabela 1** - Fórmulas de volume associadas às possíveis formas de crescimento de *A. longifolia*. V corresponde ao volume em m³, h altura em m, e r raio em m.- 9 -
- Tabela 2** - Quadro síntese das principais diferenças e semelhanças entre as 2 experiências e sistemas utilizados (SAQ e AQ).- 23 -
- Tabela 3** – Resultados da aplicação do teste de Kruskal-Wallis (teste não paramétrico) entre os três tratamentos a cada parâmetro medido, sendo que o valor de K e p-value se encontram associados a este teste. Diferenças significativas para $p < 0,05$- 25 -
- Tabela 4** – Diferenças entre tratamentos, suportada pelos valores de $p > 0,05$. Cada valor de teste K e p-value associado, resultam da aplicação do teste de Kruskal-Wallis (teste não paramétrico) aos três tratamentos a cada parâmetro medido. Cada tratamento apresentava um n=5. * representa a existência de diferenças significativas- 28 -
- Tabela 5** - Resultados da aplicação do teste de Mann-Whitney (teste não paramétrico) entre as experiências SAQ e AQ para cada parâmetro medido, sendo que o valor de U e p-value se encontram associados a este teste. Diferenças significativas para $p < 0,05$- 31 -

Lista de Abreviaturas

DAS	Diâmetro à altura do solo
DAP	Diâmetro à altura do peito
h	Altura
V	Volume
P_{fc}	Peso fresco da componente
P_{fa}	Peso fresco da amostra
P_{sa}	Peso seco da amostra
P_f	Peso fresco
P_s	Peso seco
P_i	Peso incinerado
MO	Matéria Orgânica
CH	Conteúdo Hídrico
C	Carbono
N	Azoto
C/N	Razão carbono azoto
δ¹⁵N	Isótopo de azoto
δ¹³C	Isótopo de carbono
C0	Controlo
FOL	Folhada
ENH	<i>enhancer</i>
AQ	Fonte de aquecimento
SAQ	Sem fonte de aquecimento
B_t	Biomassa Total
B_c	Biomassa da componente
n	Nº amostral
Rpm	Rotações por minuto
T	Temperatura
p	p-value
r_s	Correlção de spearman

Agradecimentos

Começo por agradecer à Professora Doutora Cristina Máguas, pelo entusiasmo inicial, por ter envolvido pessoas fundamentais à realização deste projeto e pela ajuda no *sprint* final.

Ao Florian, quem me ensinou muito e que apesar das dificuldades, e de não ser da sua responsabilidade, me ajudou do início ao fim.

Um agradecimento especial ao Miguel Prado, proprietário da Herdade dos Nascedios, por ter disponibilizado a sua propriedade e todo o suporte logístico que foi essencial ao desenvolvimento deste estudo. Também ao Sr. Silvino que desde o início nos ajudou, principalmente com o manuseio de aparelhos mecânicos mais complexos!

À Professora Doutora Cristina Cruz pela contribuição com alguns conselhos e pelo interesse constante.

Ao Dr. Rodrigo Maia do laboratório SIAF, pelo suporte laboratorial, pela explicação detalhada dos procedimentos realizados e por toda a disponibilidade.

Ao Ricardo Coelho pelos contributos e sugestões na construção do sistema de aquecimento.

A todos aqueles que me ajudaram no laboratório e no campo, que resistiram ao barulho do moinho de esferas e que exaustivamente “depenaram” acácias. Obrigada Florian, Fábio, Maraiazz, Catchi, Gamado, Salgado. Cacazita, Sílvia e em especial ao grande JAY, com quem adorei trabalhar, discutir ideias e que esteve sempre lá para tudo o que foi preciso!

Sem dúvida que tenho que agradecer à minha família, em especial aos meus pais e irmãos que tiveram que lidar diretamente com muitas das minhas frustrações e desânimos mas incentivando-me sempre a terminar esta etapa. Não esquecendo a minha avó, com quem aprendo muito e que tem sempre uma palavra sábia a acrescentar.

Porque a faculdade são também as pessoas e os amigos que nos fazem ganhar espaço mental e vontade de continuar. Um grande agradecimento a todas as meninas do Kell Team, Babaloo, Verde, Vânia, Clara, Ritinha e Maraiazz. Que por favor!!! venham mais banhos na fonte, festas como as de São Romão, pescas às trutas e que a diversão, amizade e parvoeira continuem a ser o nosso lema !

Aos grandes Mestres da Arruaça e todos os Turbinados, que a arruaça continue por muito mais tempo! E que a nossa energia continue a contagiar cada lugar por onde passamos.

À minha equipa de futsal, meninas e mister, sei bem como nem sempre é fácil gerir um grupo com personalidades tão diferentes, mas aprender a jogar futsal com vocês tem sido um grande desafio e uma das coisas que mais tenho gostado de fazer. Afinal “somos uma equipa dentro e fora das 4 linhas”!

Um agradecimento especial à minha Vice! Passámos as duas por um processo difícil e semelhante, mas nós somos a prova de que não desistimos facilmente e que venha o que vier aprenderemos a lidar com isso!

À Xana, que me ajudou muito, não só no incentivo e ajuda na estruturação deste trabalho, como também na aquisição de espaço mental! Obrigada pela boa companhia mesmo quando as energias não eram as melhores.

Não podia deixar de agradecer à Sílvia!! a lista de razões seria gigante e interminável por isso o mais fácil é sintonizarmos os canais de telepatia! Obrigada por toda a ajuda nesta maratona quase impossível, pelos conselhos, opiniões e apoios constantes, por seres um exemplo e uma pessoa que admiro muito e por me teres lembrado que somos duas a impedir que o barco se afunde!

Agradeço a todos os que de alguma maneira contribuíram para que chegasse aqui!

Resumo

Tendo presente a importância dos ecossistemas dunares, o impacto ecológico das invasões por *A. longifolia* e o elevado custo físico e monetário associado ao combate de plantas invasoras, este estudo pretende contribuir para o estudo da ecologia de *A. longifolia*, bem como com um método de controlo sustentável. Com este objetivo presente foram delineados dois objetivos específicos. Um primeiro que consistia na elaboração de um modelo preditivo da biomassa de *A. longifolia* e outro que consista no reaproveitamento e valorização dessa mesma biomassa. O modelo de regressão linear elaborado para a previsão da biomassa de *A. longifolia* derivou da amostragem de 30 indivíduos. Esta amostragem consistiu não só no registo das medidas alométricas dos indivíduos, como também no seu corte e posterior pesagem dos diferentes componentes (ramos, folhas e troncos). O modelo preditivo proposto apresenta uma enorme robustez e resultou da relação entre a forma volumétrica de crescimento dos indivíduos de *A. longifolia* com a sua biomassa associada ($B_t = 0,8218V - 2,5518$. B_t - Biomassa total, V - Volume. $R^2 = 0,936$; $p < 0,001$). O desenvolvimento desta tarefa permitiu constatar que aproximadamente metade do peso inicial de um indivíduo de *A. longifolia* corresponde a biomassa que pode ser reaproveitada. Consequentemente tiveram lugar um conjunto de experiências que visaram o estudo das propriedades deste material vegetal, através de um processo semelhante ao de compostagem sob condições controladas. Para além de se ter acompanhado a evolução da matéria vegetal, diminuiu-se a escala temporal e dimensional do processo (45 dias e um volume de $\pm 50L$), e sujeitou-se o material a diferentes condições (com e sem adição de uma fonte de aquecimento) e a diferentes tratamentos (com potencialidade de acelerar todo o processo). Um dos tratamentos envolvia folhada de *A. longifolia* que já se encontrava em decomposição e cuja presença de comunidades de microorganismos poderia acelerar todo o processo e um outro tratamento que incluía a presença de um potenciador de compostagem comercial rico em esporos de fungos *Trichoderma sp.* Apesar das diversas variáveis a que o material vegetal esteve sujeito os resultados finais foram bastante semelhante. O material resultante de todo o processo aparentava estar bioestabilizado e ao ser incorporado no solo poderá não só promover o aumento de teor de matéria orgânica e nutrientes no solo, bem como contribuir para solos mais resistentes e impermeáveis.

Este trabalho desenvolve ferramentas importantes no delineamento de métodos de conservação sustentável, tendo presente estratégias de gestão dos ecossistemas e o combate de espécies invasoras.

Palavras chave: *Acacia longifolia*, espécies exóticas invasoras, conservação sustentável, modelo de biomassa, compostagem

Abstract

Mediterranean ecosystems have long been subject to natural and human pressure and in recent times the additional impact of the invasive *Acacia* spp., which is native in Australia, is obvious. This biological invasion is leading to an ecological homogenization by the invasion of native ecosystems and semi-natural agricultural land. To alleviate the pressure by these invading plants we aim to contribute with a sustainable method of control. We pretend to approach three main topics, the improvement of ecological and physiognomic knowledge, the creation of a biomass model and the revaluation of *Acacia longifolia* biomass.

Nearly 50% of the fresh weight of a plant correspond to biomass that can be use. This project highlights strong relationships between some allometric measures and the total biomass. Based on the relationship between volume and the total biomass we suggest a linear model able to predict the biomass of an *A. longifolia* tree ($B_t = 0,8218V - 2,5518$; B_t – total biomass, V - volume). Thereafter was planned a strategy that permitted to reuse the biomass of *A. longifolia* based on a similarly composting process but under controlled conditions. These work consisted not only in the evaluation of the decomposition as also in the reduction of temporal and dimensional scale of all the process (45 days and 50L). The organic matter used in these process was exposed to different conditions (with and without an heating source) and to three distinct treatments, however the results were very similar. Later on, the incorporation of these biostabilized material on the soil will improve theirs content on organic matter and nutrients. The ecological knowledge associated to these project allow us to plan the best strategy of ecosystem's management and control. This sustainable method, that concedes a way to recover the economic investment at fighting invasive species, is a clear advantage of this procedure.

Palavras chave: *Acacia longifolia*, exotic alien species, sustainable conservation, biomass model, composting

Introdução – Conceitos Gerais

Os ecossistemas dunares caracterizam-se por serem um habitat de transição entre a zona terrestre e marinha. Estes resultam da acumulação e, conseqüente, formação de uma estrutura de areia, resultante da ação do vento (Martínez *et al.* 2003). A complexidade topográfica dos ecossistemas dunares origina uma ampla variedade de habitats que engloba zonas extremamente secas – crista das dunas – e zonas constantemente húmidas – depressões dunares. Esta diversidade e especificidade contribui para a ampla variedade a nível de fauna e flora e, conseqüentemente, de nichos ecológicos associados a estes ecossistemas (Everard *et al.* 2010). Os ecossistemas dunares são povoados por plantas pioneiras capazes de fixar a areia com as suas raízes, o que favorece a sua formação. As comunidades vegetais dos ecossistemas dunares apresentam características e adaptações particulares que lhes permitem viver num equilíbrio dinâmico com o substrato arenoso, com movimentações constantes de areia, aridez, salinidade elevada e ventos intensos (Martínez *et al.* 2003). Para além de possuírem elevada diversidade e especificidade biológica, as dunas desempenham um papel muito importante a nível socioeconómico (Everard *et al.* 2010; Martínez *et al.* 2010). O valor dos ecossistemas dunares pode ser determinado com base nas suas funcionalidades e prestação de serviços (Everard *et al.* 2010), o que inclui funções ao nível da defesa da costa - importante no contexto da utilização de estruturas naturais como barreira natural ao avanço do mar nas zonas costeiras - da exploração de recursos mineiros, da agricultura, do uso militar, do turismo e, até mesmo, da captação de água (Martínez *et al.* 2003; Everard *et al.* 2010). A influência antropogénica aliada à subida do nível médio do mar e à presença de invasões biológicas provoca a degradação de muitos ecossistemas dunares e a perda de biodiversidade e funcionalidade (Hellman *et al.* 2011; Mooney-Martínez *et al.* 2003). Por este motivo e apesar da sua abundância a nível global, os ecossistemas dunares são considerados valiosos, contudo vulneráveis (Kooijman 2003; Everard *et al.* 2010). Em particular, as dunas do clima mediterrânico são de grande interesse biogeográfico, por possuírem muitas espécies e endemismos ameaçados (Directiva Habitats 92/43 CEE) e o seu constante estado de ameaça – antropogénica e de invasões biológicas - eleva o seu valor de conservação.

As invasões biológicas têm sido consideradas a segunda causa mais importante de alteração da composição, estrutura e funcionamento dos ecossistemas em todo o mundo, imediatamente a seguir à destruição do habitat (Maltez-Mouro 2010). Estas conseqüências levam a que as espécies invasoras sejam frequentemente reconhecidas como engenheiras ecológicas, promotoras de alterações nos ecossistemas, tanto a nível ecológico como geomorfológico. Geralmente estas alterações facilitam e promovem o seu próprio desenvolvimento (Fei *et al.* 2014). Para ser classificada como espécie invasora esta tem que atingir elevadas densidades populacionais localmente e alterar estrutural e funcionalmente o ecossistema em que se encontra, provocando impactos negativos no mesmo (Mooney 2000; Lonsdale 1999; Simberloff *et al.* 2012). As invasões biológicas podem ocorrer naturalmente, no entanto, o Homem é responsável pelo ritmo elevado a que estas têm ocorrido, sendo o seu impacto, a nível ecológico, económico e social, facilmente identificável, através do risco para a saúde humana, para os sistemas produtores de alimentos, para a conservação dos ecossistemas, entre outras (Mooney 2000; Simberloff *et al.* 2012). Esta facilitação por parte do Homem tem, por vezes, conseqüências irreversíveis, uma vez que, a destruição das barreiras biogeográficas responsáveis pela limitação espacial das diferentes espécies promove um aumento de invasões biológicas, podendo levar à extinção das espécies nativas existentes (Marchante 2001; Lonsdale 1999; Marchante 2011; Simberloff *et al.* 2012).

Um outro aspeto a realçar, é o facto de a presença e expansão destas espécies causarem elevados impactos económicos, os quais podem ser divididos em duas categorias principais, uma relacionada com os danos diretos da invasão (na agricultura, em florestas, nas atividades comerciais e de saúde) e outra que se prende com o custo das medidas de controlo (Marchante 2011). Só a Europa apresenta um

prejuízo de 12,5 mil milhões de euros por ano. Destes 12,5 mil milhões de euros 9,6 mil milhões resultam de danos diretos e 2,8 mil milhões de ações de controlo de espécies invasoras, sendo que a extrapolação de prejuízo europeu, tendo em conta as áreas afetadas por este problema, pode ser estimada em 20 mil milhões de euros por ano (Kettunen 2009; Brink 2013).

Apesar de os sistemas dunares serem constituídos por solos muito pobres em nutrientes, o que leva a limitações no estabelecimento e crescimento de invasoras nestes ecossistemas, o seu sucesso de invasão está associado a características fisionómicas que estas apresentam. Geralmente possuem mecanismos capazes de aumentar a disponibilidade de recursos, como a fixação de azoto ou alta eficiência na aquisição e utilização de recursos limitados (Davis *et al.* 2000; Funk e Vitousek 2007; Dassonville *et al.* 2008; Simberloff *et al.* 2012; Wang *et al.* 2016). As espécies com a capacidade de fixar azoto atmosférico, devido a associações simbióticas com procariontes, são as que estão em maior abundância entre os invasores (Daehler 1998). Esta capacidade de captação de azoto não é tão eficaz nas espécies nativas de ambientes pobres, que estão habituadas a viver na escassez de nutrientes, o que atrasa o seu crescimento relativamente às espécies invasoras com esta capacidade (Peperkorn 2005; Wang *et al.* 2016; Ulm *et al.* 2016).

O género *Acacia* foi introduzido em Portugal com o objetivo de proteger e estabilizar os ecossistemas dunares, no entanto a sua rápida e descontrolada expansão levou a que fosse considerada uma espécie invasora (Marchante *et al.* 2008a, b). É possível observar *Acacia longifolia*, *Acacia Saligna* (Labill.) H.L.Wendl., *Acacia Melanoxylon* R.Br., *Acacia retinodes* Schltld e *Acacia dealbata* Link, em grande abundância ao longo de toda a costa (Marchante 2001) sendo que áreas mais próximas do mar são principalmente afetadas por *A. longifolia* e *A. saligna*. A *A. longifolia* apresenta elevadas densidades populacionais em sistemas dunares e demonstra, ainda, uma preferência por zonas perto de linhas de água e zonas montanhosas (Marchante 2001).

Acacia longifolia (Andrews) Willd, é uma espécie, que devido à sua capacidade de invasão, apresenta uma elevada dispersão a nível mundial (Richardson e Rejmánek 2011). O impacto desta espécie, como invasora, é bastante evidente o que levou ao aparecimento de campanhas de sensibilização e combate da mesma. *A. longifolia* é uma das 1350 espécies pertencentes à família das Leguminosas (Leguminosae) e sub-família Mimosoideae, sendo que a sua grande maioria é originária de África e da Austrália (Marchante 2001; Wrigley e Fagg 1996; Invasoras 2016). As acácias australianas, onde se encontra *A. longifolia*, caracterizam-se por serem arbustos ou árvores de pequeno porte (Moore 2002; Marchante *et al.* 2014) que podem florescer todo o ano, sendo que a maioria destas espécies floresce, principalmente, na primavera e no verão (Wrigley e Fagg 1996). As flores de *A. longifolia* apresentam uma tonalidade amarelo-vivo reunidas em espigas axilares (ou inflorescência cilíndricas) que geralmente originam uma grande quantidade de vagens, e, conseqüentemente, de sementes (Wrigley e Fagg 1996; Moore 2002, Marchante *et al.* 2014). As folhas são perenes, reduzidas a filódios laminares com forma oblonga lanceolada e nervuras longitudinais (Marchante *et al.* 2014). De um modo geral, as espécies do género *Acacia* são responsáveis por alterações nas comunidades superficiais (facilmente identificadas) (Marchante *et al.* 2014; Bem 2015; Hellman *et al.* 2011), nas comunidades do subsolo (Ulm *et al.* 2016; Ulm 2013; Marchante *et al.* 2008b) e na composição de nutrientes do solo (Ulm *et al.* 2016; Marchante *et al.* 2008b; Hellman *et al.* 2011), que conseqüentemente se refletem num impacto negativo nos ecossistemas que invadem (Simberloff *et al.* 2012; Werner *et al.* 2010; Le Maitre *et al.* 2011). *A. longifolia* exerce uma forte pressão competitiva sobre as plantas nativas visto que a sua grande eficiência na captação do azoto e no uso da água se traduz numa elevada taxa de crescimento e sucesso de invasão (De Neergaard *et al.* 2005; Werner *et al.* 2010). Esta elevada taxa de crescimento, aliada ao aumento da copa das invasoras, promove o ensombramento das espécies nativas, o que se traduz num declínio da sua diversidade e proliferação (Rascher *et al.* 2011; Bem 2015). Em conseqüência do seu porte, a quantidade de folhas (matéria orgânica) que se acumula sob a copa de *A. longifolia* (Figura 1) é

muito elevada. Este facto tem como consequência uma taxa de *turnover* de nutrientes muito superior sob a copa da invasora, resultando num enriquecimento do solo em azoto e no aumento da atividade microbiana (Díaz-Barradas *et al.* 1999; Marchante *et al.* 2004; Marchante *et al.* 2008a, b; Hellmann 2011, Ulm *et al.* 2016). Aliado a todas estas características, *A. longifolia* tem a capacidade de fixar o azoto atmosférico, pois sendo uma leguminosa forma associações com bactérias fixadoras de azoto (rizóbio) (Raven 1996a), o que se sobrepõe ao facto de o azoto ser um nutriente limitante para as comunidades vegetais nos ecossistemas dunares (Cain *et al.* 1999; Marchante 2001). Esta característica promove o enriquecimento em azoto dos tecidos de *A. longifolia*, e em consequência na matéria orgânica acumulado sob a copa destas invasoras. Assim, a razão C/N da folhada que se encontra sob as copas desta invasora é consideravelmente inferior à que se encontra sob a copa das nativas. Outra característica responsável pelo impacto, a longo prazo, desta espécie é a elevada produção de sementes capazes de se manterem viáveis no solo durante muitos anos, potenciando a invasão e dispersão da espécie (Invasoras



Figura 1 – Invasão por *A. longifolia*. A – indivíduo isolado B – impacto no ecossistema, com elevada acumulação de matéria orgânica sob as copas de acácias (folhada)

2016). *A. longifolia* é considerada responsável pela diminuição de biodiversidade, nos locais que invade, sendo responsável pelo aumento de uma cobertura vegetal densa e monoespecífica que se sobrepõe às espécies nativas (Hellman *et al.* 2011).

A capacidade de gerir habitats invadidos e, consequentemente, evitar a extinção de espécies nativas é fundamental na execução de medidas conservacionistas. A gestão das áreas invadidas requer o delineamento e a implementação de um plano, na maioria das vezes dispendioso, que ao ser adiado leva ao agravamento das situações, aumentando os custos de implementação e de mitigação, por vezes com consequências irreversíveis (Marchante *et al.* 2014). Em Portugal já foram

identificadas 820 espécies exóticas, e, relativamente a plantas, a grande maioria, foi introduzida com fins ornamentais (Marchante 2011), muito provavelmente sem conhecimentos prévios das suas possíveis consequências. Especificamente no combate de *A. longifolia* têm sido aplicados métodos de controlo mecânico, através do corte da planta o mais junto ao solo possível. Todavia devido à capacidade destas rebentarem da touça ou da raiz o método utilizado não tem apresentado grande sucesso, sendo por vezes conjugado com métodos químicos, através da pulverização de herbicida na zona de corte (Invasoras 2016; ANBG 2011). Recentemente iniciou-se um projeto de controlo biológico com a introdução de *Trichilogaster acaciaelongifoliae*, Froggatt, um himenoptera que põe os seus ovos nas gemas da invasora levando à formação de um bugalho, não permitindo a produção de sementes (Shaw 2016).

Tendo em conta a importância dos ecossistemas dunares, o impacto ecológico das invasões por *A. longifolia* e o elevado custo físico e monetário associado ao combate de plantas invasoras, este estudo pretende contribuir para o delineamento de um método sustentável de controlo e diminuição da densidade populacional de *A. longifolia* em sistemas costeiros (hotspots de biodiversidade, geridos por instituições estatais, e com atividade agrícola). Com este fim, estipularam-se os seguintes objetivos:

1. Contribuir para a compreensão da ecologia e sucesso da espécie invasora *A. longifolia* em ecossistemas dunares.

2. Obter um modelo de biomassa para *Acacia longifolia*, com base em medidas alométricas simples. A obtenção deste modelo irá contribuir para uma avaliação quantitativa da biomassa presente nos ecossistemas dunares, o que irá contribuir para uma gestão mais eficaz desta espécie invasora.

3. Reaproveitar a biomassa de *Acacia longifolia*, através da bioestabilização de um composto orgânico, resultante da compostagem de matéria orgânica de *A. longifolia*, que seja capaz de promover o enriquecimento dos solos e até mesmo o desenvolvimento de espécies agrícolas contíguas. Permitirá reaproveitar e valorizar a biomassa da invasora, contribuindo com um retorno económico capaz de colmatar o esforço investido.

Com este trabalho pretende-se ainda produzir um conjunto de recomendações, bem como incentivar agricultores e gestores (quer de parques naturais, quer de florestas) a contribuírem eficazmente para o melhoramento do estado de conservação dos ecossistemas dunares costeiros- através do controlo de uma espécie invasora -, mas também a conseguirem melhorar a produtividade dos seus sistemas recorrendo a corretivos orgânicos. Este trabalho promove, ainda, a divulgação e educação ambiental através do conhecimento ecológico dos processos de invasão, devendo existir um envolvimento dos diferentes atores (gestores, agricultores, comunidade em geral) no que toca ao controlo das espécies exóticas invasoras, e do impacto destas no meio ambiente. Apesar de se projetar conseguir beneficiar desta espécie, é importante realçar e relembra a problemática envolvida na presença de uma espécie invasora e todas as consequências negativas associadas. O objetivo não é incentivar a propagação desta espécie, mas sim contribuir para uma solução sustentável e consciencializar as comunidades, de modo a prevenir situações semelhantes e lutar pelo equilíbrio dos habitats.

Para ir ao encontro destes objetivos desenvolveu-se a investigação retratada neste trabalho. Este encontra-se estruturado em diferentes capítulos. O capítulo seguinte (Capítulo 1) irá centrar-se na elaboração do Modelo de Biomassa da espécie em estudo. Neste é feita, primeiramente, uma Introdução específica do tema, e posteriormente, serão apresentados os Materiais e Métodos seguidos dos Resultados e sua respetiva discussão. Seguir-se-á o Capítulo 2 (Compostagem da Biomassa de *A. longifolia*) que será dedicado à obtenção de um composto bioestabilizado de *A. longifolia*, no qual apresentar-se-ão, primeiramente, os conceitos teóricos específicos deste tema e, posteriormente, apresentar-se-ão os respetivos Materiais e Métodos, tendo presente uma pré-experiência que contribuiu para a otimização deste processo e os Resultados devidamente interpretados. No final serão apresentadas as principais Considerações Finais do projeto, integrando uma reflexão de todos os resultados obtidos e as respetivas interpretações.

Capítulo 1

Modelo de Biomassa de *Acacia longifolia*

1.1. Introdução

De acordo com a perspectiva de Guo *et al.* (2015), *invasibility* é uma característica da comunidade, que reflete a sua suscetibilidade a ser colonizada por organismos introduzidos, sendo a colonização dependente das características fisionómicas da comunidade. Diversidade, composição das espécies e biomassa são características fisionómicas que permitem prever o risco de invasão e adequar possíveis medidas de conservação. Assim sendo, os parâmetros de riqueza específica máxima e biomassa de uma comunidade podem ser equiparados ao conceito de *carring capacity* (capacidade de carga de um ecossistema), apresentando uma enorme relevância no estudo da dinâmica das populações. Quanto mais altos estes valores, que se traduzem na saturação dos nichos, maior a resistência a invasões (Guo *et al.* 2015).

A quantificação da biomassa de um habitat é, cada vez mais, considerada uma vantagem a nível de gestão dos ecossistemas (Bi *et al.* 2001; Henry *et al.* 2013). Tanto com um fundamento conservacionista e ecológico como com um objetivo económico têm sido desenvolvidos alguns trabalhos que visam desenvolver equações alométricas capazes de prever a biomassa de uma árvore baseando-se apenas em medidas simples (ex. Jonson e Freudenberg 2011). A motivação conservacionista e ambiental assenta na quantificação de biomassa para a quantificação de carbono sequestrado num determinado ecossistema (Jonson e Freudenberg 2011), para uma melhor compreensão dos processos e graus de invasão (Guo *et al.* 2015) e posterior aplicação de medidas de controlo e combate. Um exemplo pode ser o estudo desenvolvido por Le Maitre *et al.* (2000), no qual se recorreu a modelos simples de biomassa - baseados nas formas de crescimento dos arbustos e árvores invasoras – para analisar o seu impacto nos recursos hídricos da África do Sul. Por outro lado, e de um ponto de vista económico e comercial, a quantificação da biomassa permite uma melhor gestão do negócio, como a produção de madeira e papel. Se esta matéria provier do combate a uma planta invasora estaremos a criar incentivos para o seu combate e sua erradicação local (Young *et al.* 2011), o que resulta num exemplo de conjugação na qual há um benefício económico através da aplicação de uma medida conservacionista. Alguns exemplos desta conjugação são a exploração da biomassa de invasoras com objetivos energéticos, produção de *pellets* de madeira e de biocombustíveis líquidos (Carneiro *et al.* 2014; Young *et al.* 2011) e ainda a criação de um composto orgânico através de material triturado proveniente de toda a planta (Brito 2013; Brito *et al.* 2014; Mendes 2011). Estes últimos trabalhos, que apresentaram resultados bastante promissores, consistiam na utilização da biomassa de acácia com o objetivo de produzir um substrato orgânico hortícola. Assim, um dos possíveis objetivos a longo prazo da investigação desenvolvida é conjugar a utilização deste composto em sistemas agroflorestais com o seu impacto benéfico na vegetação nativa (Figura 2).

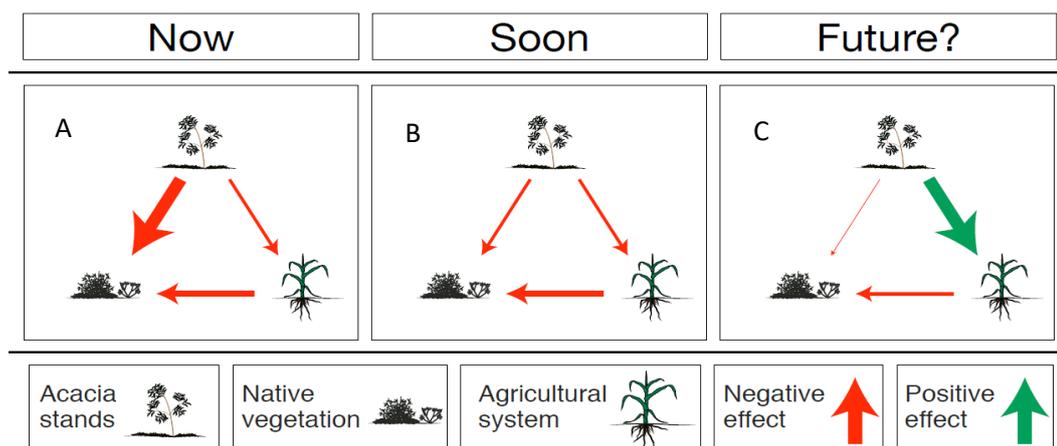


Figura 2 – O impacto negativo de *A. longifolia* num ecossistema invadido e uma possível solução que será benéfica ao desenvolvimento da vegetação nativa.

A - Situação atual, na qual tanto a invasão por *A. longifolia* como os ecossistemas agrícolas originam uma pressão negativa na vegetação nativa; B - O decaimento da densidade populacional de *A. longifolia* levará a uma diminuição da pressão na vegetação nativa associada à redução da competição por luz, recursos, etc.

C - O reaproveitamento da biomassa de *A. longifolia* como substrato orgânico capaz de contribuir benéficamente para os sistemas agrícolas (ex. diminuição do uso de fertilizantes que se refletirá na diminuição do impacto negativo destes na vegetação nativa)

(Imagem da autoria de Florian Ulm)

Larrea tridentata



Prosopis glandulosa



Xanthocephalum sarothrae



Figura 3 - Potenciais formas de crescimento volumétrico utilizadas na elaboração de um modelo de biomassa das espécies em estudo por Ludwig *et al.* (1975). No topo encontra-se um arbusto com uma forma de crescimento semelhante a um cone invertido, no meio com crescimento semelhante a um esferóide oblato e por último associado a um esferóide prolato. Imagem adaptada de Ludwig *et al.* 1975.

Nem todas as espécies de acácia apresentam as mesmas características, sendo por isso importantíssima a elaboração de um modelo preditor de biomassa específico de cada uma destas. Alguns estudos realizados envolveram modelos preditores de biomassa para *A. dealbata* e *A. saligna* (Jonson e Freudenberg 2011; Bi *et al.* 2001), porém, apesar da elevada dispersão e sucesso como invasora (Invasoras 2016) ainda não foi criado nenhum modelo para *Acacia longifolia*. Por todas as razões referidas, é vantajosa a elaboração de um modelo preditor de biomassa, que facilite a quantificação do seu grau de invasão num ecossistema (Guo *et al.* 2015) e a viabilidade económica da aplicação de medidas de conservação sustentável. Uma outra característica vantajosa é a quantificação da razão C/N, que permite uma adequação da utilização da biomassa da planta, bem como uma noção do sequestro de carbono em função da quantidade de azoto assimilado. O estudo desta temática tem levado ao desenvolvimento de ensaios ambientais que visam compreender a história dos processos físicos e metabólicos, com base na distribuição natural de alguns isótopos estáveis de azoto e carbono (Rascher *et al.* 2012; Alves *et al.* 2006). A composição isotópica dos componentes da planta, traduz-se na relação entre o isótopo mais raro e o mais abundante de um elemento (Rascher *et al.* 2012; Alves *et al.* 2006), e varia consoante o tipo de tecido vegetal (Marshall *et al.* 1994). Numa amostra analisada a razão do isótopo é expressa em relação a um padrão aceite internacionalmente,

sendo esta variação representada por δ (Alves *et al.* 2006). A abundância do ^{13}C nas plantas, é inferior ao do CO_2 atmosférico, sendo esta discriminação associada aos processos fotossintéticos e metabólicos. O estudo das assinaturas isotópicas associado às diferenças entre as fontes de azoto, é uma ferramenta importante na compreensão dos nutrientes na fisiologia da planta. O $\delta^{15}\text{N}$ nas plantas varia consoante a fonte de N que está a ser utilizada, sendo que nas leguminosas – caso de *A. longifolia* – este valor tende a aproximar-se da % existente na atmosfera - aproximadamente a 0,366% de ^{15}N em relação ao N total (Alves *et al.* 2006; Marques 2010; Hellman *et al.* 2011).

De uma forma geral, os organismos apresentam uma relação entre tamanho e forma (Huxley e Teissier 1936) e, conseqüentemente, com a sua biomassa. O trabalho de Ludwig *et al.* (1975) inclui alguns exemplos de possíveis cálculos de volume associados à forma de crescimento dos arbustos ilustrados na Figura 2. Esta medida pode ser utilizada na elaboração de modelos alométricos de biomassa (Snowdon *et al.* 2002; Ludwig *et al.* 1975) tal como outras medidas alométricas simples (Ludwig *et al.* 1975; Snowdon *et al.* 2002; Bi *et al.* 2001; Jonson e Freudenberger 2011; Henry *et al.* 2013). A alometria pode ser vista como uma relação quantitativa entre crescimento e alocação de recursos na planta (Weiner 2003), podendo haver uma taxa de crescimento diferencial de algumas estruturas em relação ao todo (Huxley e Teisser 1936), que apresentam relação entre si (Gayon 2000). A altura, diâmetros do tronco, diâmetros da copa, altura de ramificação da copa são alguns exemplos de medidas alométricas simples que têm sido utilizadas neste género de trabalhos (Ludwig *et al.* 1975; Snowdon *et al.* 2002; Bi *et al.* 2001; Jonson e Freudenberger 2011). Para além destas medidas – e de modo a conseguir modelos o mais precisos possível - deve proceder-se a amostragens destrutivas. Isto é, o indivíduo deve ser cortado e pesado na sua totalidade (peso fresco total), e de seguida retiradas sub-amostras. Com base no peso fresco e seco destas sub-amostras estima-se a biomassa total da árvore e, posteriormente, correlacionam-se as variáveis de modo a determinar a melhor regressão. Snowdon *et al.* (2002) classifica esta metodologia como a mais precisa para este tipo de estudos.

Pretende-se assim, com este trabalho quantificar a biomassa de *A. longifolia*, através da elaboração de um modelo capaz de correlacionar medidas alométricas (altura, diâmetro da base e medidas da copa e volume) com o peso seco (biomassa). A fim de alcançar este objetivo serão apresentados os Materiais e Métodos utilizados no estudo, bem como os Resultados e sua interpretação. Nos Materiais e Métodos constam informações sobre o local de estudo, os métodos de amostragem e os métodos de análise de resultados. Por sua vez, nos resultados é feita menção à escolha das medidas alométricas utilizadas no delineamento do modelo, às razões para a escolha do modelo mais representativo e às relações ecológicas e fisionómicas encontradas na própria *A. longifolia*.

1.2. Materiais e Métodos

1.2.1. Área de estudo e Informações

Os indivíduos de *A. longifolia* amostrados faziam parte de uma população existente na área adjacente a terrenos agrícolas pertencentes à Herdade dos Nascedios (N 37°40'57,99" O 8°45'44,46"), Vila Nova de Mil Fontes (Portugal), que por sua vez se expande pelo parque natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (Figura 4). A área de estudo apresenta um clima Mediterrânico, com uma temperatura média anual é de 16,8°C, do qual é característico um período seco no verão, associado a reduzida pluviosidade (T°C média=22,6°C), e um período húmido de novembro a abril (T°C média=11,8°C), sendo novembro o mês com maior precipitação (Climate-Data 2016). Os solos constituintes desta região são predominantemente arenosos, uma vez que se desenvolveram a partir de areias e arenitos do pliocénico e do pleistocénico (Canha e Pinto-Cruz 2010). Entre 8 de fevereiro de

2016 e 29 de julho do mesmo ano foram amostrados 30 indivíduos de *A. longifolia* selecionados aleatoriamente, de modo a que a amostra fosse representativa da população em estudo. A amostra abrangia indivíduos com diversas características e em diferentes fases de crescimento (Anexo I).

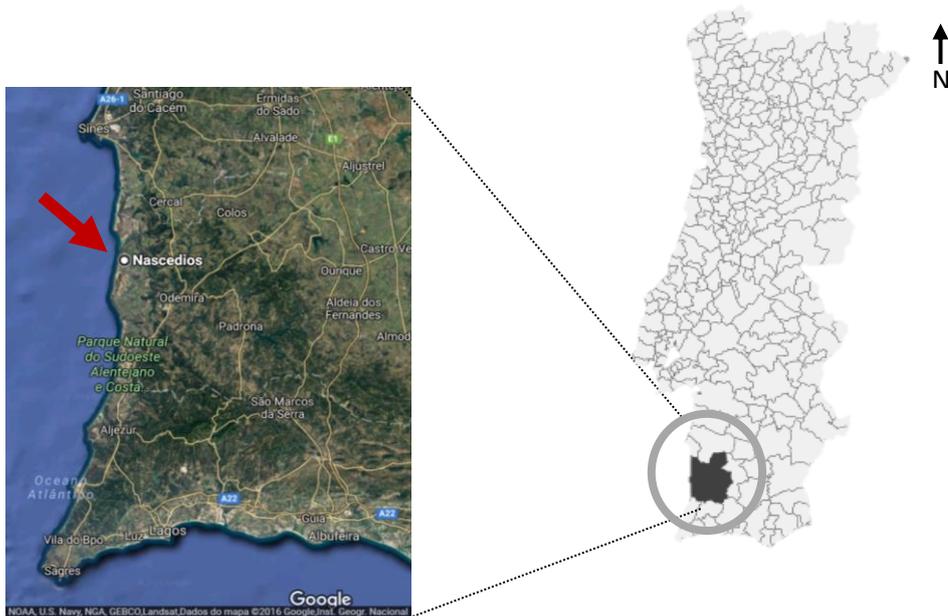


Figura 4 - Área de estudo, localizado na zona sudoeste de Portugal. Este local apresenta-se muito próximo do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (PNSACV), no entanto, é uma zona sujeita a impacto agrícola. Imagem adaptada de Google Maps (2016)

1.2.2. Determinação dos parâmetros alométricos

A amostragem total das 30 árvores de *A. longifolia* tinha como objetivo a obtenção de um modelo preciso e preditivo de biomassa de *A. longifolia*. Deste modo, esta investigação consistiu numa primeira fase realizada diretamente no terreno, na qual foram registadas as alturas dos indivíduos (h), dois diâmetros das suas copas e o diâmetro do tronco a altura do solo (DAS). Apesar de a medida convencional para o diâmetro do tronco ser o diâmetro à altura do peito (DAP) e de ter sido a medida utilizada na elaboração dos modelos de biomassa para *A. saligna* e *A. dealbata* (Bi *et al.* 2001; Jonson e Freudenberger 2011), a estrutura de ramificação da maioria dos indivíduos de *A. longifolia* amostrados não permitia efetuar essa medida. Consequentemente, recorreu-se ao registo do DAS que também apresenta uma forte relação entre a alometria e a biomassa total (Jonson e Freudenberger 2011). Na elaboração do modelo ponderaram-se não só as diferentes medidas alométricas, retiradas no terreno (altura, valor médio da copa e DAS), como também a variável volume, composta por duas medidas alométricas (copa e altura). O cálculo da variável volume resultou das fórmulas das potenciais estruturas volumétricas representativas das formas de crescimento de *A. longifolia*, elucidadas na Tabela 1 e Figura 5.

Tabela 1 - Fórmulas de volume associadas às possíveis formas de crescimento de *A. longifolia*. V corresponde ao volume em m³, h altura em m, e r raio em m.

Estrutura geométrica	Fórmula do Volume
Cone	$V=r^2 \cdot h \cdot \pi/3$ (1)
Esferóide Prolato	$V=2/3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$ (2)
Cilindro	$V=\pi \cdot r^2 \cdot h$ (3)



Figura 5 – Processo de amostragem com separação da biomassa de *A. longifolia* em folhas, ramos e troncos. A - Representação de estruturas volumétricas que podem representar as formas de crescimento de *A. longifolia* consideradas na elaboração do modelo preditivo da sua biomassa. A amarelo está esquematizado o volume do cone (Equação 1), a vermelho o esferóide prolato (meia esfera alongada) (Equação 2) e a branco o cilindro (Equação 3). B – Representa separadamente os componentes de *A. longifolia* (folhas, ramos e troncos) depois de separados manualmente.

Depois de efetuadas as medidas no terreno, os indivíduos foram cortados na zona do DAS, e na touça colocou-se uma identificação de metal. Cada indivíduo foi separado manualmente em 1) Folhas (filódios), 2) Ramos e 3) Troncos (diâmetro > 1cm, como sugere Snowdon *et al.* (2002)) (Figura 5 - B), e respetivamente pesados (P_{fc}), com um dinamómetro (CR-300, Gram Precision, Barcelona, Spain). Posteriormente, foram retiradas três sub-amostras de cada componente (cada uma constituída por 5 ramos, 1 tronco e 15 folhas) ao que se seguiu, novamente, a determinação do peso fresco (P_{fa}) e respetivo peso seco (P_{sa}). Para a obtenção do peso seco as sub-amostras foram secas numa estufa a 70°C durante 4 dias – seguindo as indicações de Snowdon *et al.* (2002). O cálculo da biomassa total (B_t) de cada indivíduo derivou da soma da biomassa de cada componente da planta (B_c) (folhas, troncos e ramos), sendo que as diferentes B_c foram obtidas através da seguinte fórmula:

$$B_c = P_{fc} \times (P_{sa} / P_{fa}) \quad \text{kg} \quad (4)$$

sendo que P_{fc} corresponde ao peso fresco total do componente (ex. folhas), P_{sa} ao peso seco da amostra correspondente ao componente e P_{fa} peso fresco da amostra correspondente ao componente (Snowdon *et al.* 2002).

1.2.3. Determinação do rácio C/N, N e respetivo fracionamento isotópico do C ($\delta^{13}\text{C}$) e do N ($\delta^{15}\text{N}$)

Com o intuito de compreender a alocação de azoto e carbono e o fracionamento isotópico nas folhas, ramos e troncos da espécie de estudo, selecionou-se o material seco das amostras (P_{sa}) de sete indivíduos da amostra. Estas foram individualmente moídas com um moinho de esferas (Retsch MM400, Haan, Germany). Após a moagem foram encapsuladas e enviadas para análise elementar e isotópica cerca de $0,5 \pm 0,2$ mg, de cada amostra, pesadas numa balança de precisão (Fisons instruments, sartorius micro, Italy). “As análises de razão de isótopos estáveis foram levadas a cabo no SIIAF (Stable Isotopes and Instrumental Analysis Facility) do Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais (CE3C) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. As razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ foram determinadas por espectrometria de massa de razão de isótopos estáveis em modo de fluxo contínuo (CF-IRMS) (Preston e Owens 1983), num espectrómetro de massas Sercon Hydra 20-22 (Sercon, Reino Unido), acoplado a um Analisador Elementar EuroEA (EuroVector, Itália), que efectua a preparação automática das amostras por combustão de Dumas. Foram utilizados os materiais de referência Sorghum Flour Standard OAS e Wheat Flour Standard OAS (Elemental Microanalysis, UK) nas determinações da razão isotópica de Azoto e de Carbono; os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentam-se na escala determinada pelo PeeDee Belemnite (PDB), enquanto os valores de $\delta^{15}\text{N}$ se reportam ao Ar atmosférico. A precisão das análises, calculada a partir da análise de 6 a 9 réplicas de padrões de laboratório, intercaladas em cada conjunto de análises, foi igual ou inferior a 0.2‰. Os sinais das massas principais de C e N foram utilizados para o cálculo das composições elementares de C e N, utilizando-se como materiais de referência os padrões Sorghum Flour Standard OAS and Wheat Flour Standard OAS (Elemental Microanalysis, UK)”¹.

1.2.4. Tratamento estatístico

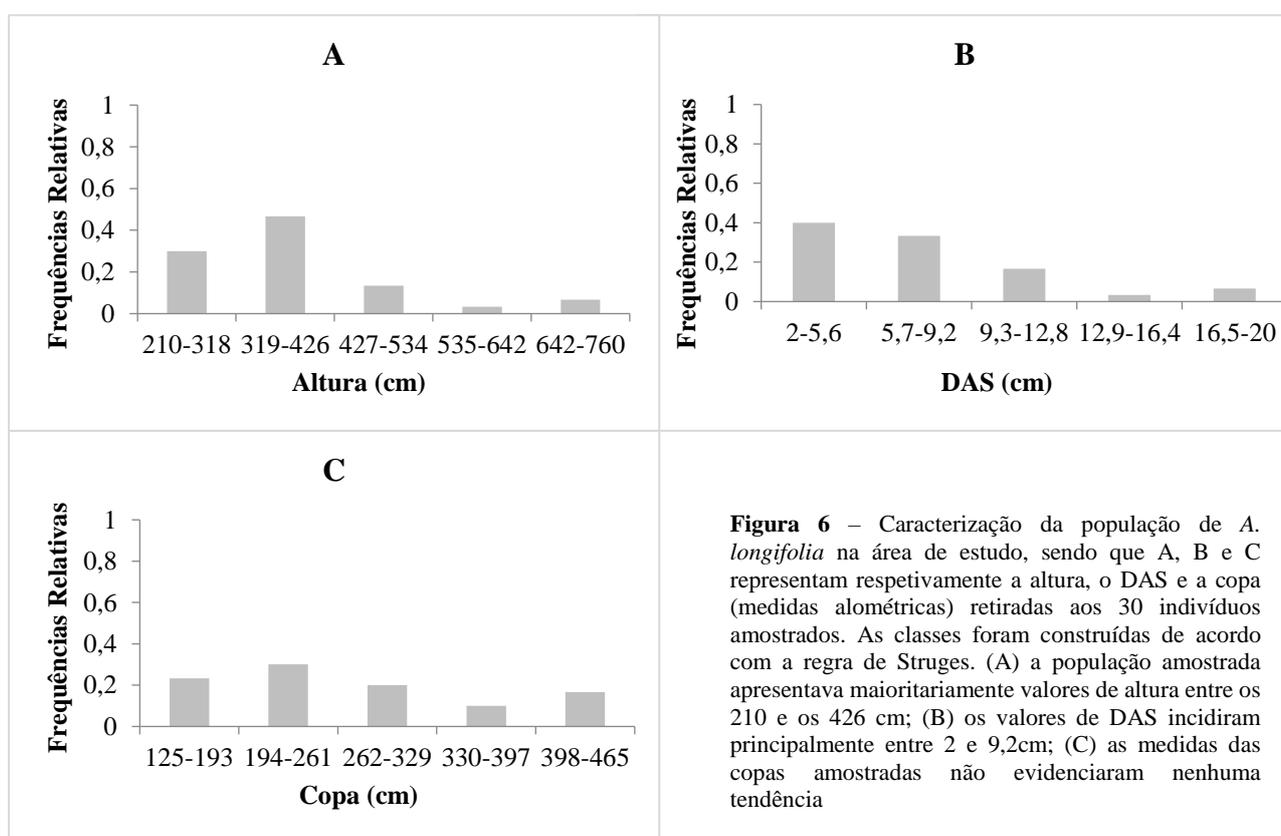
A escolha das variáveis a considerar (copa, altura, DAS e volume) na elaboração deste modelo derivou de análises de correlação (Correlações de Spearman) com a correspondente biomassa total. A partir desta seleção efetuou-se uma regressão linear da qual resultou o modelo proposto.

Para uma melhor compreensão da alocação de recursos e para uma futura adequada aplicabilidade da biomassa da espécie em estudo, foram realizados dois tipos de análises. Inicialmente procuraram-se correlações entre as medidas alométricas e os valores de biomassa (B_t e B_c) (Correlação de Spearman), e posteriormente compararam-se as %N, %C, respetivos isótopos e rácio C/N nos diferentes componentes da planta [Teste de Friedman - teste não paramétrico para amostras emparelhadas; Teste à posteriori: Teste de Comparação Múltipla Não Paramétrica para Grupos Emparelhados (Maroco e Bispo 2003)]. Analisou-se ainda a relação entre a biomassa total e fracionamento isótopo de $\delta^{15}\text{N}$ (Correlações de Spearman).

¹ Informação fornecida pelo doutor Rodrigo Maia, técnico do SIIAF (stable isotopes and instrumental analysis facility)

1.3. Resultados e Discussão

A caracterização da diversidade de valores observados referentes às medidas alométricas (altura, copa e DAS) dos indivíduos de *A. longifolia* da população em estudo encontra-se sistematizada na Figura 6 (Anexo I). Os indivíduos amostrados apresentaram um valor médio de DAS de 754 ± 3 cm sendo que o menor valor registado foi de 1,6 cm e o maior de 20 cm. O valor de médio da copa dos indivíduos amostrados foi de $274 \pm 0,78$ cm, sendo o maior registo de 465 cm e o menor de 125 cm. O indivíduo mais alto media aproximadamente 755 cm e o menor 215 cm, sendo que o valor médio foi de $387 \pm 0,87$ cm. A população amostrada apresentava maioritariamente indivíduos de altura e DAS reduzidos, o que pode sugerir a presença de uma população em expansão com muitos indivíduos recentes. Por outro, lado a medida da copa aparenta ser uma característica independente do DAS e da altura. Importa realçar que os indivíduos que registaram os valores mais elevados de altura nem sempre apresentam maior valor de copa, ou até mesmo de DAS, o que reforça a diversidade morfológica dos 30 indivíduos amostrados.



Tal como referido, na metodologia referente à elaboração do modelo preditivo da biomassa de *A. longifolia* (capítulo 1.2), a escolha das variáveis a considerar (copa, altura, DAS e volume) derivou dos resultados das suas correlações com a correspondente biomassa total (Figura 7; Anexo II). Uma primeira análise individual das correlações resultantes das medidas alométricas com a biomassa total (figura 7, A, B e C) revela um valor nitidamente mais elevado entre a copa e a biomassa total. Este resultado, associado à elevada correlação encontrada entre as medidas de copa e a biomassa de ramos ($n=30$; $r_s=0,903$ $p<0,001$) e folhas ($n=30$; $r_s=0,943$ $p<0,001$), permite afirmar que a medida da copa reflete o crescimento, e a biomassa associada, tanto às folhas como aos troncos. De entre as diferentes fórmulas de volume consideradas para o crescimento de *A. longifolia*, os resultados provenientes da fórmula do cone (equação 1) e do esferóide prolato, daqui em diante chamado meia esfera alongada,

(equação 2) foram os que apresentaram o melhor valor de correlação ($n=30$; $r_s=0,947$ $p<0,001$) para com a biomassa total. Tendo como base este resultado e as observações da estrutura das árvores da espécie de estudo no terreno (ex. Figura 4 – representação a vermelho), considerou-se que a forma de crescimento volumétrico que simultaneamente melhor representa e estima a biomassa dos indivíduos amostrados é o volume meia esfera alongada (Equação 2). As variáveis alométricas individuais (altura, copa e DAS) poderiam ser, posteriormente, utilizadas para a elaboração de um modelo de regressão multivariado (Anexo III), contudo, a utilização da variável volume como variável explicativa para além de permitir minimizar o erro, tornando o modelo o mais simples possível (princípio da parcimónia), apresenta um valor de r^2 superior.

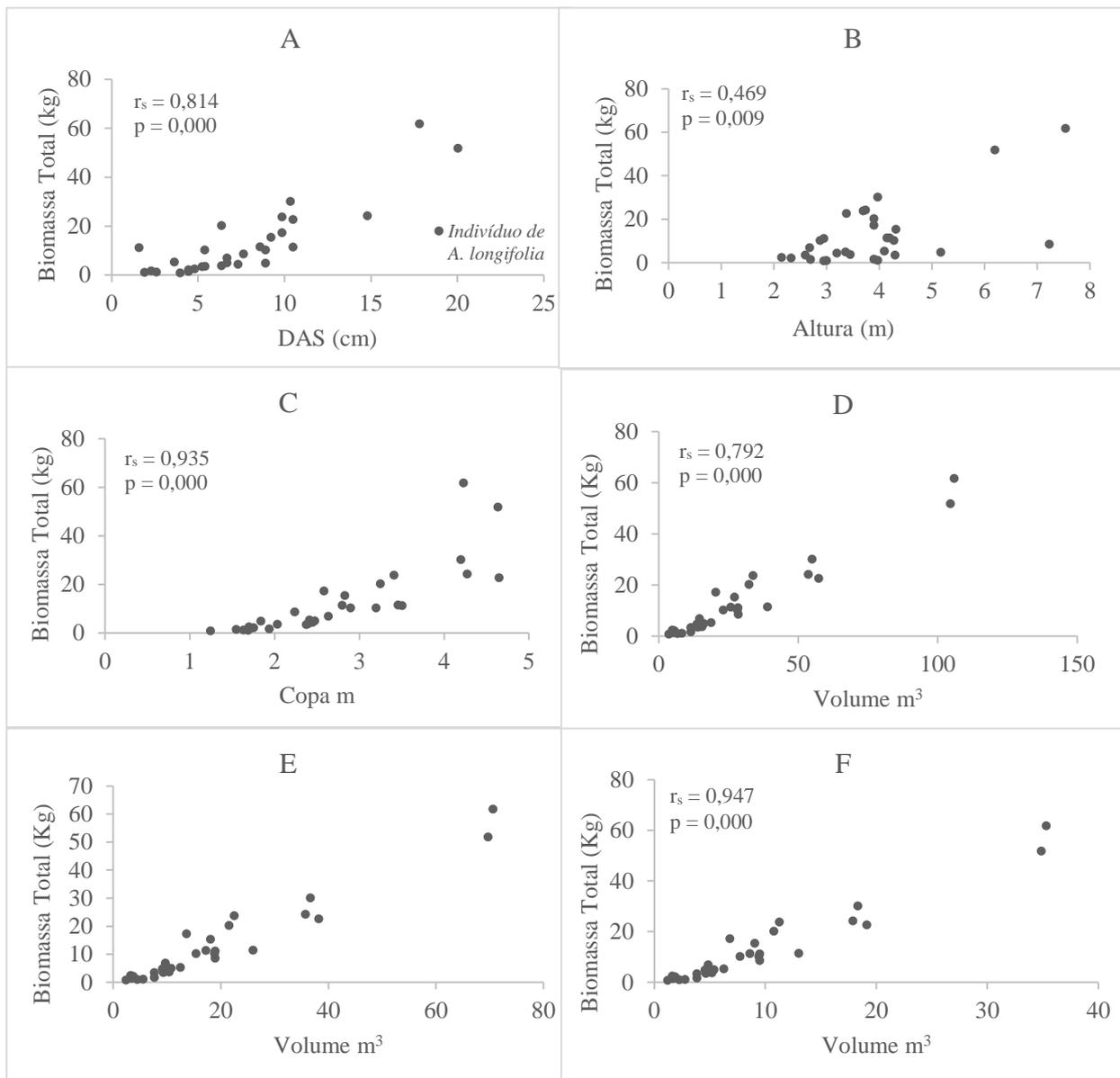


Figura 7 - Correlações entre a biomassa total dos 30 indivíduos de *A. longifolia* com as suas medidas alométricas (A - DAS, B - Altura, C - Copa) e potenciais formas de crescimento. D - Volume Cilindro (Equação 3), E - Volume de Meia Esfera Alongada (Equação 2), F - Volume do Cone (Equação 1). Os valores de r_s e p-value resultam de correlações de Spearman. Anexo II

A fórmula do modelo preditivo de biomassa de *A. longifolia* foi obtida através de uma regressão linear, que assume o volume como variável independente e que se encontra associada ao valor de correlação encontrado (Figura 7 - E). Esta encontra-se representada na Figura 8 e apresenta a seguinte equação:

$$B_t = 0,8218V - 2,5518 \quad (5)$$

sendo que B_t = Biomassa total de *A. longifolia*, V = Volume dos indivíduos de *A. longifolia* (Equação 3). É importante salientar que para a elaboração deste modelo de regressão linear foi verificada a distribuição normal e homocedástica dos resíduos.

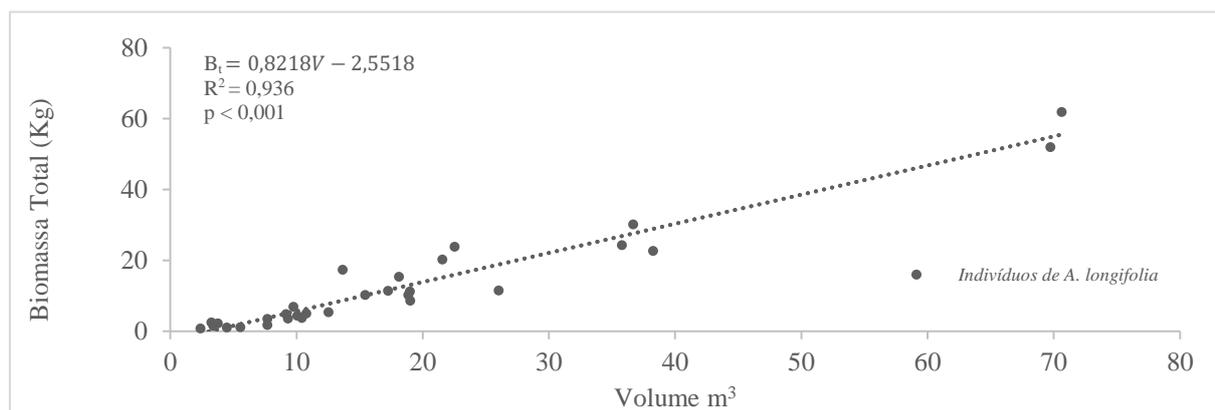


Figura 8 – Modelo de regressão linear entre o volume (Equação 2) e biomassa total de indivíduos de *A. longifolia*. O modelo obtido explica-se pela fórmula: $B_t = 0,8218V - 2,5518$, na qual B_t = Biomassa total de *A. longifolia*, V = Volume. O valor R^2 e o p-value associados a este modelo derivam da correlação de Pearson.

Os resultados obtidos a partir dos indivíduos amostrados sugerem que do peso inicial de um indivíduo de *A. longifolia*, em média, $53 \pm 5\%$ do seu peso fresco corresponde a água e os restantes $47 \pm 5\%$ a biomassa disponível. Estes 47% incluem a biomassa resultante das diferentes componentes da planta (folhas, ramos e troncos), e, tal como elucidado na Figura 9, os troncos (41%) são os que maior peso têm, seguindo-se as folhas (35%) e por último os ramos (24%). *A. longifolia* demonstra assim, investir essencialmente na produção de material orgânico ao nível dos troncos.

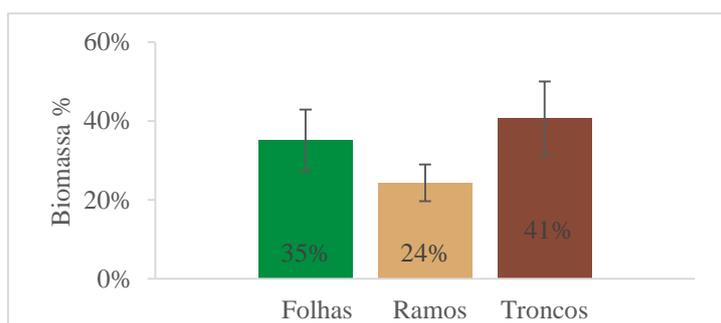


Figura 9 - Representação da relação entre a biomassa total de *A. longifolia* e a biomassa associada aos diferentes componentes da planta. A cor verde encontra-se associada à percentagem da biomassa das folhas (35%), a tonalidade castanho claro a percentagem dos ramos (24%) e a castanho mais escuro a percentagem da biomassa dos troncos (41%). A biomassa de *A. longifolia* é muito rica em lenhina, uma vez que, o maior contributo em biomassa é dos troncos, seguindo-se as folhas e por últimos os ramos.

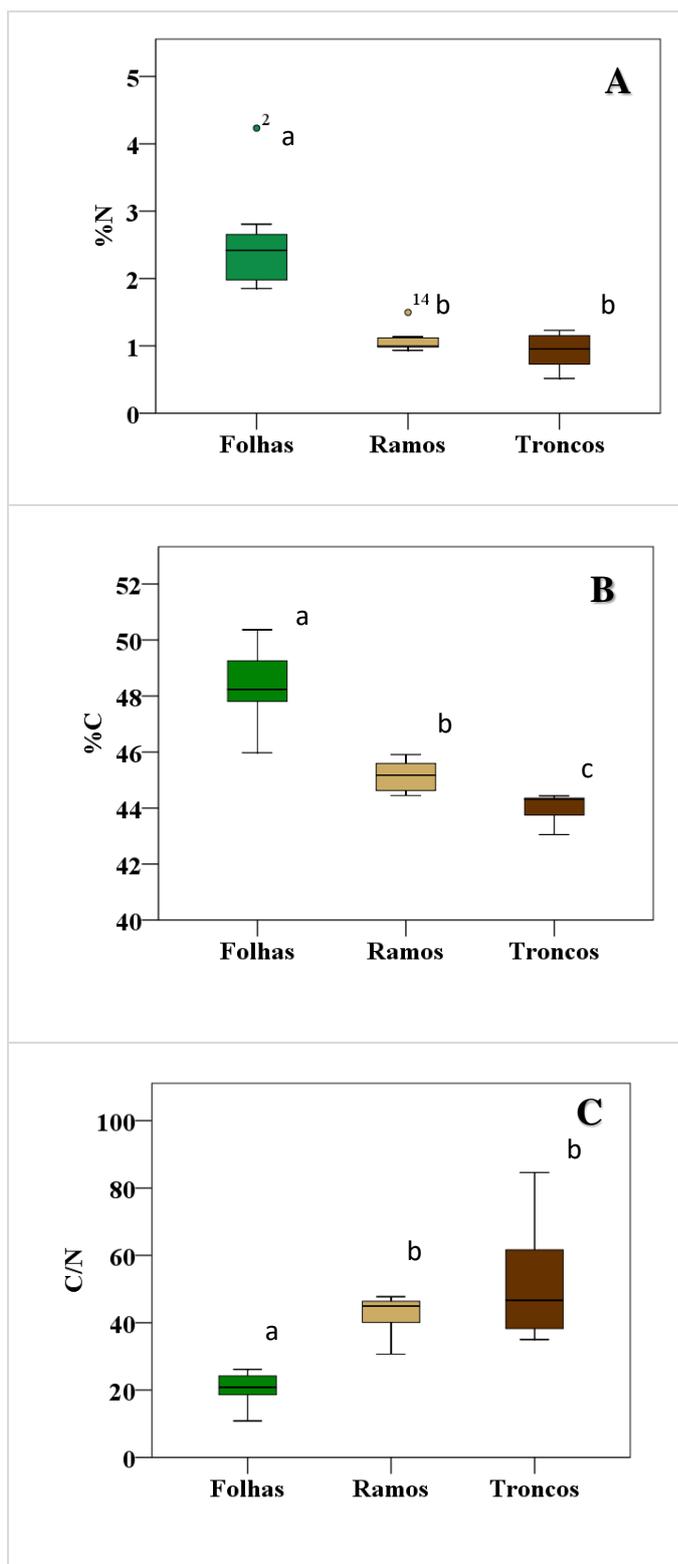


Figura 10 - Diferenças na composição em C, N e respetivo rácio C/N nas folhas, ramos e troncos dos indivíduos de *A. longifolia* (n=30). Para as três representações, letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as componentes da planta. As folhas apresentam valores significativamente superiores de azoto (A) e de carbono (B) e inferiores de C/N (C) (Teste à posteriori: Teste de Comparação Múltipla Não Paramétrica para Grupos Emparelhados (Maroco e Bispo 2003))

Para além destes resultados, foram ainda encontradas correlações entre algumas medidas alométricas e componentes específicas de biomassa (kg), que contribuem não só para a compreensão da alocação de recursos pela invasora *A. longifolia* como também para a quantificação da biomassa associada às diferentes componentes da planta. A medida que melhor expressou a biomassa dos troncos foi o DAS (n=30; $r_s=0,818$ $p < 0,001$) e a biomassa das folhas foi a copa (n=30; $r_s=0,943$ $p < 0,001$). As medidas alométricas apresentaram ainda algumas relações de correlação entre si (ANEXO II), o que poderá estar associado às relações alométricas da espécie de estudo. As medidas de copa e o DAS são as que apresentam a correlação positiva mais forte (n=30; $r_s = 0,696$ $p < 0,001$) sugerindo que o crescimento das folhas e dos ramos e o diâmetro dos troncos aumentam proporcionalmente. Apesar da biomassa dos troncos, comparativamente com as folhas e os ramos, ter um destaque superior na constituição da biomassa total, verificou-se uma alocação de carbono e azoto superior ao nível das folhas (Friedman Test; n=7; $\chi^2=10,571$; $p < 0,01$) (Figura 10). Estas, comparativamente aos ramos e aos troncos, apresentaram valores superiores de ambos os elementos (C e N), mas inferiores no que diz respeito ao rácio entre estes. Tanto os ramos como os troncos são nitidamente mais ricos em carbono que em azoto, não havendo diferenças no que diz respeito às %N, mas como valores de %C consideravelmente inferiores nos troncos. Quando comparados os rácios C/N nas diferentes componentes da planta, as folhas destacaram-se, apresentando valores significativamente inferiores (n=7; Friedman Test: $\chi^2=10,571$ $p < 0,01$; (Figura 10). Estes valores da razão C/N reflectem a natureza lenhosa dos troncos e dos ramos, com uma elevada quantidade de carbono em relação ao azoto, e uma quantidade muito

mais elevada de azoto nas folhas devido à presença de tecido clorofilino rico em proteínas.

A comparação da constituição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ nas folhas, ramos e troncos, evidencia valores semelhantes para o $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 11) no entanto o mesmo não se verifica na análise da distribuição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ ($n=7$; Friedman Test: $\chi^2=10,286$ $p<0,01$). Tal como se observa na Figura 11, existe uma clara diferença entre os valores $\delta^{13}\text{C}$ verificada entre tecidos não fotossintéticos (ramos e troncos) e os fotossintéticos (folhas). O fracionamento isotópico pós-fotossintético nos ramos e troncos pode estar relacionado com um enriquecimento em ^{13}C aquando da formação do material lenhoso (Cernusak *et al.* 2009). Para além disso as diferenças de $\delta^{13}\text{C}$ entre ramos e troncos realçam um fracionamento isotópico não só entre tipos de estruturas vegetativas como ao longo do percurso da distribuição de carbono na planta.

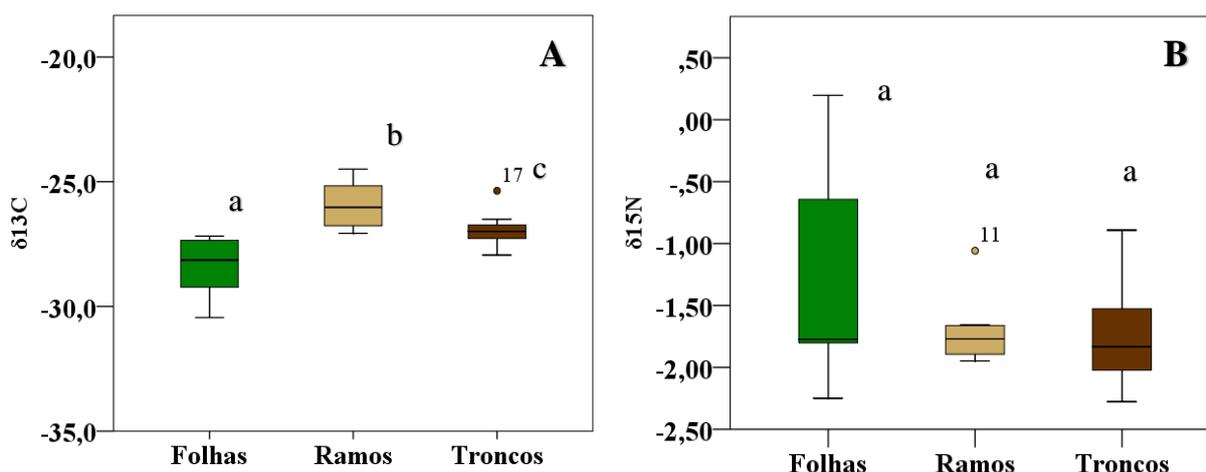


Figura 11 - A comparação da constituição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas folhas, ramos e troncos. Para as duas representações letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as componentes da planta. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (A) e de $\delta^{15}\text{N}$ (B) associados às diferentes componentes da planta (Teste à posteriori: Teste de Comparação Múltipla Não Paramétrica para Grupos Emparelhados (Maroco e Bispo 2003)

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ encontrado nas folhas de *A. longifolia* encontra-se negativamente correlacionado com o volume total da planta ($n=30$; $r_s=-0,929$ $p<0,01$). Assim, e partindo do princípio que plantas de uma mesma população com maior volume são indivíduos mais antigos, a capacidade fixadora de azoto de *A. longifolia* parece ser determinante para o seu estabelecimento em sistemas dunares, contudo, ao longo do tempo, a sua ponderação, na percentagem geral de azoto das folhas, vai sendo cada vez menor. A análise destas relações têm um interesse acrescido, visto que, contribuem para um planeamento adequado ao nível da gestão de habitats e do reaproveitamento dos recursos. De um modo geral, as plantas que habitam solos oligotróficos, arenosos apresentam valores de ^{15}N muito empobrecidos, podendo neste caso particular ser mais precisa a sua utilização como traçador da fonte de azoto (Marques 2010; Rascher *et al.* 2011,2012; Hellman *et al.* 2011). Assim sendo, valores de $\delta^{15}\text{N}$ próximos de 0 – valor semelhante ao encontrado na atmosfera – costumam estar associados a plantas leguminosas fixadoras de azoto (Marques 2010; Alves *et al.* 2006).

Os testes estatísticos aplicados foram testes não paramétricos, uma vez que os pressupostos de normalidade e homocedasticidade não foram verificados.

Capítulo 2

Reaproveitamento da Biomassa de *A. longifolia*

2.1. Introdução

Tendo presente a problemática associada às invasões por *A. longifolia*, em ecossistemas dunares portugueses, é essencial sensibilizar, incluir e incentivar a sociedade sobre as medidas de controlo e possíveis ações a aplicar. Para além desta importante componente explicativa, por vezes existe um entrave económico que dificulta e atrasa todo o processo. Já têm sido desenvolvidos alguns trabalhos que procuram combater e simultaneamente reaproveitar a matéria vegetal das espécies invasoras (Carneiro *et al.* 2014; Brito 2013; Van Meerbeek *et al.* 2015) conseguindo assim diminuir o impacto económico associado. Um exemplo de reaproveitamento de matéria vegetal de plantas do género *Acacia* objetivava decompor a sua biomassa, originando um composto orgânico semelhante a um substrato hortícola. De um modo geral, estes autores comprovaram que, partindo de uma mistura de biomassa de Acácia e de casca de pinheiro é possível atingir condições ideais à compostagem da matéria orgânica em causa alcançando resultados muito promissores (Brito 2013; Brito *et al.* 2014; Mendes 2011).

A compostagem é um processo bastante complexo que resulta da interação de fenómenos físico-químicos, microbiológicos e termodinâmicos (Petiot e Guardia 2004) e que se caracteriza por ser um processo de biodegradação de matéria orgânica por decomposição microbiana. Deste processo resulta a produção de energia, sob forma de calor, de CO₂, de água e libertação de sais minerais - que servirão de nutrientes às plantas - e, ainda, um produto estabilizado e maturado - denominado húmus (Brito 2013; Kiehl 1998; Insan e Bertoldi 2007). O composto final, estável, sem microrganismos patogénicos e sem sementes de plantas infestantes pode ser benéfico quando aplicado nos solos, promovendo o crescimento das plantas, o que o torna vantajoso a nível económico e ambiental (Brito 2013). Deste modo, as técnicas de compostagem têm vindo a ser desenvolvidas com o objetivo de que, no menor tempo possível, se consiga alcançar a estabilização da matéria orgânica (Wang *et al.* 2016).

No processo de compostagem o material passa por três fases distintas (Figura 12), com uma duração total variável mas superior a alguns meses (Brito 2013; Brito *et al.* 2014; Kiehl 1998; Ryckeboer 2003). A primeira fase é a fase fitotóxica na qual começa a haver libertação de calor, vapor de água e CO₂ e produção de ácidos minerais e orgânicos, como por exemplo ácido acético. Nesta fase o material em decomposição é tóxico para as plantas pois estes ácidos funcionam como toxinas, inibindo a germinação das sementes e o crescimento de raízes nas plantas (Kiehl 1998; Epstein 1997). A segunda fase denomina-se fase de bioestabilização que geralmente ocorre 10 dias depois do início do processo e dura até próximo do 60º dia. Ao completar esta fase a matéria deixa de ser prejudicial às plantas, no entanto ainda não se apresenta na sua forma mais proveitosa (Kiehl 1998). A terceira e última fase, denominada fase de maturação, é o processo final de degradação da matéria orgânica, na qual esta

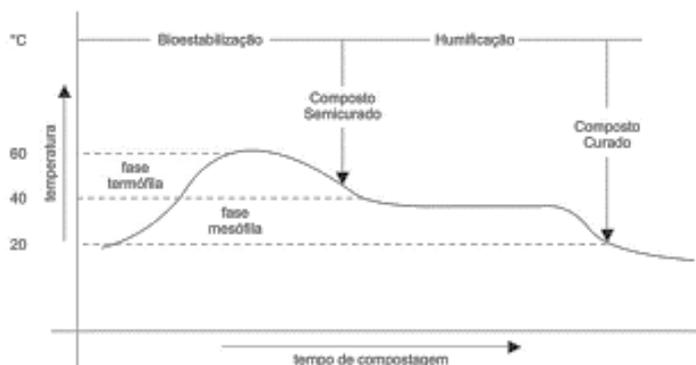


Figura 12 - Comportamento da temperatura no decorrer do processo de compostagem e identificação das diferentes fases de maturação no mesmo (Imagem retirada de Kiehl 1998).

bactérias e fungos, que devido ao seu metabolismo exotérmico são influenciados pela temperatura (Ryckeboer 2003). Desta forma, assim que começam a decompor a matéria geram energia, libertando calor. Os primeiros microrganismos com esta função atuam sob temperaturas mais baixas (mesofílicos). Todavia, ao promoverem um aumento da temperatura (acima de 40°C) permitem um desenvolvimento da comunidade termofílica. A libertação da energia resultante da decomposição altera a temperatura do material e, conseqüentemente, origina condições ideais para o desenvolvimento de uma comunidade termofílica (fase termofílica) e dois períodos ideais para o desenvolvimento de comunidades mesofílicas (fase mesofílica), todas importantes para a decomposição da matéria. A fase termofílica tem uma duração de aproximadamente 30 dias associados ao período em que a taxa de degradação é mais elevada, ocorrendo a principal degradação da lenhina e da celulose. A temperatura ótima encontra-se então entre os 40 °C e os 60°C e não deve ultrapassar os 70°C, pois começa a ser prejudicial ao desenvolvimento das comunidades termofílicas. Depois desta fase volta a instalar-se uma comunidade mesofílica na qual se dá a mineralização de C e de compostos que precisam de mais tempo para se decompor (Kiehl 1998; Pietro 2004; Insan e Bertoldi 2007; Bernal *et al.* 2009; Marchante 2001).

Para além da temperatura, o pH também pode ser outro parâmetro a analisar. Inicialmente, e devido em grande parte à fase fitotóxica e à libertação de ácidos húmicos, o pH é baixo (pH≈5) elevando-se ao longo do tempo, por reação dos ácidos com os compostos básicos libertados pela matéria orgânica, formando humatos alcalinos. Idealmente na fase de bioestabilização o pH já deve apresentar valores perto de 7 e na sua fase maturada de 8 (Kiehl 1998; Bernal *et al.* 2009). A mineralização da matéria orgânica promove a sua diminuição ao longo de todo o processo, o que se traduz, no aumento da concentração de nutrientes minerais dos quais as plantas se alimentam (Kiehl 1998). Os microrganismos, responsáveis pela degradação da matéria orgânica, necessitam de acesso e disponibilidade a vários elementos, sendo o carbono (C) e o azoto (N) considerados vitais (Batista e Batista 2007, Madigan *et al.* 2015). Uma vez que estes microrganismos utilizam estes elementos numa proporção 30:1 e que o seu rácio (C/N) vai alcançando diferentes valores durante todo o processo, o valor de C/N é considerado um indicativo importante (Batista e Batista 2007). A relação ideal de C/N deve encontrar-se, no início, entre 25/1 e 35/1 e no final entre 10/1, sendo que no final da fase de bioestabilização este valor deve aproximar-se de 18/1. A fitotoxicidade de um composto pode reduzir-se ainda na fase de bioestabilização, se após a sua incorporação no solo se esperar cerca de 15 a 20 dias antes de se plantar. Outro parâmetro que permite acompanhar a evolução e a adequabilidade do processo é o Teor de Humidade. A percentagem de conteúdo hídrico ideal para o processo de compostagem encontra-se entre os 50% e os 60% sendo que, quando este valor é ultrapassado, a possibilidade de ocorrer um processo de anaerobiose e conseqüente retardamento do processo e libertação de maus odores é bastante elevada (Kiehl 1998; Bernal *et al.* 2009). Nos trabalhos de compostagem da matéria vegetal de plantas

adquire as características ideais para posterior incorporação no solo (Brito 2013; Kiehl 1998). De modo a acompanhar a evolução e a manutenção das condições ideais para o processo de mineralização do material pode ter-se em consideração alguns parâmetros de análise como a temperatura, o pH, o C/N, a %Mo e o Teor de Humidade (Kiehl 1998; Ryckeboer 2003). Durante todo o processo de compostagem intervêm diferentes comunidades de microrganismos, principalmente

do género acácia e casca de pinheiro o processo decorreu ao ar livre, com 80-100m³ de volume, sendo que a duração foi sempre superior a 230 dias. Durante a decomposição do material vegetal conseguiram-se atingir temperaturas superiores a 60°C, essenciais para que decorra a fase termófila, e no final do processo o material apresentava valores de pH equiparados a um composto comercial (entre 7 e 8). Para além disso, o material sofreu uma perda significativa de matéria orgânica e verificou-se uma notória descida da razão C/N (valores próximos de 56-50 para 40-30) (Brito 2013; Brito *et al.* 2014; Mendes 2011).

Os processos de compostagem estão geralmente associados a procedimentos de grande escala, a nível temporal, espacial e dimensional, e com amostragens numerosas, de modo a serem representativas do produto final, que é bastante heterogéneo. Contudo, mais recentemente, têm sido realizadas investigações científicas que desenvolvem este processo em laboratório (*laboratory scale*), que por envolver diversos fatores e fenómenos anteriormente explicados, não consiste apenas na redução da sua escala dimensional (Petiot e Guardia 2004; Wang *et al.* 2016; Lashermes *et al.* 2012). Nas experiências de compostagem realizadas em laboratório, o volume do material a ser decomposto é, normalmente, inferior a 200L – bastante inferior ao associado a pilhas de compostagem - o que pode levar a um insucesso na obtenção das características ideais de temperatura, oxigénio e humidade para a desejada atividade dos microrganismos neste processo (Wang *et al.* 2016; Petiot e Guardia 2004).

Uma vez que as condições associadas são claramente diferentes quando comparamos pilhas industriais e experiências em *laboratory scale*, os trabalhos realizados em laboratório recorrerem à construção de reatores dentro dos quais decorre todo o processo (Wang *et al.* 2016; Lashermes *et al.* 2012; Campbell *et al.* 1990^{a,b}; Saludes *et al.* 2007). A construção dos reatores têm como objetivo otimizar e acelerar o processo de decomposição, proporcionando as condições ideais para o sucesso da ação microbiana (Wang *et al.* 2016; Lashermes *et al.* 2012; Campbell *et al.* 1990^{a,b}; Saludes *et al.* 2007). A diminuição do volume do material vegetal (*laboratory scale*) associado ao aumento da perda de energia por condução pode ser colmatada com a construção de reatores constituídos por um material isolante capaz de reduzir a dissipação de energia (ex. pvc, o poliestireno, a madeira e a fibra de vidro) (Petiot e Guardia 2004; Wang *et al.* 2016). Segundo Petiot e Guardia (2004), trabalhos em *laboratory scale*, que incluam reatores com mais de 30L de material a decompor, conseguem promover o auto aquecimento do composto, que depende essencialmente da libertação de energia calorífica por parte das reações metabólicas da comunidade microbiana presente (Ryckeboer *et al.* 2003; Petiot e Guardia 2004; Wang *et al.* 2016, Lashermes *et al.* 2012). Assim sendo, para reatores com menores dimensões, ou para assegurar elevação da temperatura, pode recorrer-se a uma fonte externa de energia. (Petiot e Guardia 2004). A diminuição da escala do processo de compostagem, em simultâneo com a manutenção das características ideais ao decorrer da decomposição da matéria, permitirá compreender não só o estudo da evolução da matéria sob diferentes condições como também inferir sobre o processo em larga escala.

Até agora não foi desenvolvido nenhum estudo de valorização da biomassa de *A. longifolia* que consista num processo de mineralização no qual apenas se inclui a sua matéria vegetal e que tenha como objetivo alcançar um substrato numa fase bioestabilizada. A matéria obtida, que será muito rica em matéria orgânica (MO), poderá ser aplicada em solos pobres, entre os quais os terrenos agrícolas próximos da área de estudo. Este enriquecimento dos solos, e/ou possível comercialização deste corretivo orgânico, consistirá num enorme incentivo ao combate local da invasora em estudo. Com base nos trabalhos realizados até então, pretende-se aumentar a velocidade de degradação da matéria – alcançando num menor período de tempo um material bioestabilizado - e facilitar o desenvolvimento de estudos de compostagem em laboratório, através da elaboração de um sistema de reatores. De modo a responder a este objetivo elaboraram-se duas experiências. Uma primeira, na qual as temperaturas atingidas derivaram apenas de um processo de auto-aquecimento (*self heating* - SAQ), e uma segunda, na qual para além da energia libertada (calor) pela degradação da biomassa (fenómeno de *self heating*)

existia uma fonte de energia externa (AQ). Pretendia-se ainda compreender se, sob as mesmas condições, diferentes modos de preparar o material vegetal (diferentes tratamentos) teriam desempenhos semelhantes e/ou se seria possível acelerar o processo.

Este capítulo apresenta uma estrutura semelhante ao capítulo anterior. Inicialmente foram introduzidos alguns conceitos teóricos fundamentais para este estudo e, de seguida, são apresentados os Materiais e Métodos que incluem os dois sistemas construídos. Por fim, nos Resultados e Interpretação, serão discutidos os valores obtidos e a potencialidade do corretivo orgânico alcançado juntamente com as metodologias aplicadas.

2.2. Materiais e Métodos

2.2.1. Preparação do material vegetal

A inexistência de estruturas que permitissem promover a decomposição da matéria vegetal sob condições controladas e propícias ao desenrolar do processo de compostagem, levou a que fossem realizadas duas experiências (SAQ – sem fonte de energia externa - e AQ – com fonte de energia externa - cujas características serão explicadas e sintetizadas na Tabela 2), para as quais foram construídos sistemas compostos por reatores.

Dentro de cada reator foi introduzida biomassa de *A. longifolia*, proveniente do corte dos indivíduos utilizados para a construção do Modelo de Biomassa de *A. longifolia*. Após o corte, este material foi juntamente triturado e misturado até se obter uma pilha de compostagem homogénea (Figura 13 - A), e posteriormente separado de modo a serem aplicados três tratamentos diferentes: Controlo (C0), *Enhancer* (ENH) e Folhada (FOL). O tratamento C consistia numa mistura do material triturado de *A. longifolia*, ao qual foi apenas adicionado 1L de água. O tratamento ENH acrescentava à biomassa triturada um potenciador de compostagem comercial (Amc Chemicals & Trichodex, Espanha), essencialmente formado por esporos *Trichoderma sp.* numa concentração de 10^4 - 10^5 e enzimas extracelulares excretadas durante o crescimento do fermentador, numa proporção de 1:5 para 1L de água. A adição deste potenciador tinha como objetivo promover o aceleramento de todo o processo, visto os fungos serem organismos heterotróficos decompositores que apresentam uma grande disponibilidade enzimática especializada na degradação de substâncias (Raven 1996b). Por último, ao tratamento F, para além de água e biomassa de *A. longifolia* triturada, juntou-se folhada que se encontrava sob as copas de alguns dos seus indivíduos (10:1 v/v). A folhada incorporada neste



Figura 13 – Preparação do material vegetal. A – Representa a recolha do material vegetal. Trata-se de um exemplo de um indivíduo cortado de *A. longifolia*. B- Representa uma pilha de material vegetal de *A. longifolia* já triturado e homogeneizado. O material foi triturado perto do local de corte, mais concretamente na Herdade dos Nascedios, Vila Nova de Mil Fontes.

tratamento, foi previamente triturada, e consistia na camada superficial (5 a 10cm) de matéria orgânica, já em decomposição, que se acumula sob o solo de acaciais (Figura 1). Sempre que necessário, valores médios do teor hídrico aproximarem-se de 40% (limite inferior), juntou-se 500 ml de água ao interior do material em decomposição, de forma a manter as condições ideais ao desenvolvimento dos microrganismos.

2.2.1. Sistema de compostagem com condições controladas - SAQ

A experiência SAQ (sem fonte de energia externa) apresentava um sistema constituído por 9 reatores como elucidado na Figura 14. Os reatores, dentro dos quais decorreu o processo de degradação da biomassa de *A. longifolia*, apresentavam uma forma cúbica, com arestas de 50cm (50x50x50cm) e uma tampa no topo possível de retirar. O material constituinte das paredes destes era poliestireno, mais concretamente STYROFOAM™ Brand ROOFMATE™ Extruded Polystyrene Foam Insulation (The Dow Chemical Company, Larkin Midland, USA), um material isolador com espessura de 5cm. Também a 5cm da base de cada reator existia um fundo de rede que impedia que a matéria vegetal entrasse em contacto direto com potenciais lixiviados e sob a qual assentava toda a matéria.

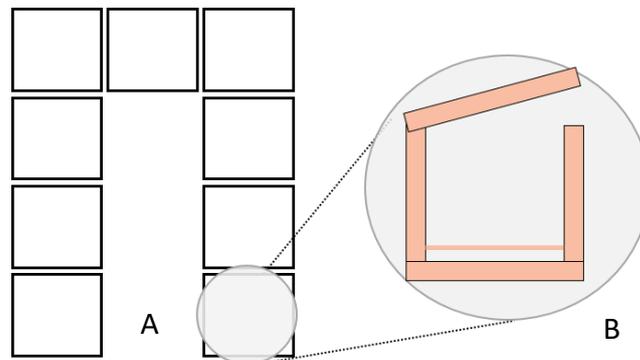


Figura 14 - Representação esquemática do sistema SAQ. (A) esquema ilustrativo sob uma perspetiva superior (esquerda), na qual cada quadrado preto representa um reator. (B) interior de um reator de um ponto de vista lateral (direita). O sistema era constituído por 9 reatores havendo 3 reatores distribuídos aleatoriamente de cada tratamento.

Nesta experiência, o material vegetal inicial apresentava uma concentração de 41% de troncos, 16% de ramos e 43% de folhas, tendo sido posteriormente dividido e sujeito aos diferentes tratamentos. Cerca de 50L de cada mistura (material vegetal e tratamento) foram separadamente introduzidos dentro dos 9 reatores originando 3 reatores de cada tratamento distribuídos espacialmente de modo aleatório. Para acompanhar a evolução do material vegetal e, simultaneamente, perturbando o mínimo possível o material em decomposição, foram retiradas amostras compostas com o auxílio de uma pinça de 30cm. Cada amostra composta integrava amostras de três áreas diferentes do material em decomposição a profundidades semelhantes, constituindo uma amostra com aproximadamente 5gramas. As amostragens foram realizadas nos dias 1, 8, 13, 36, 38, 43, 45 da experiência, sempre na mesma altura do dia. Foram ainda colocados sensores HOBO U12-013 de temperatura (Onset Computer Corporation, Bourne, USA) no interior da matéria vegetal a uma profundidade aproximada de 20 cm, programados para efetuarem o registo de 30 em 30 minutos.

2.2.1. Sistema de compostagem com condições controladas - AQ

A experiência AQ (com fonte de energia externa) apresentava um sistema constituído por 16 reatores organizados de forma simétrica, cujo interior era aquecido por um circuito de água quente (Figura 15). Os reatores utilizados apresentavam as mesmas características que os utilizados na experiência anterior, no entanto, o seu interior incluía algumas alterações. Sob o fundo de rede a 5cm do fundo do reator assentava um cesto de rede de forma cilíndrica, com capacidade aproximada de 50Litros, no qual foi introduzida a matéria vegetal, e envolvendo o cesto, com a matéria a ser decomposta, circulava uma tubagem de água quente que permitia aquecer o ar que se encontrava no interior da caixa e fornecer alguma energia ao material, prolongando o período de aquecimento (Figura 15). Tal como elucidado na Figura 15 existia um recipiente de abastecimento da água aquecida, puxado por uma bomba. Envolta deste recipiente encontrava-se um outro recipiente cheio de areia com uma resistência regulável e um termostato incorporado. Assim, apesar da dissipação de energia era possível ter um controlo da temperatura fornecida. Este sistema de fornecimento de energia externa encontrava-se ligado a um temporizador, que disparava de 30 em 30 minutos renovando a água quente de todo o sistema.

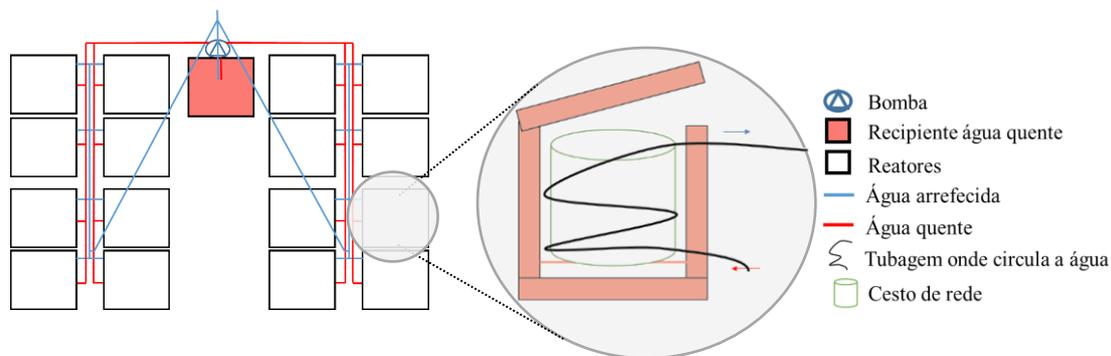


Figura 15 - Representação esquemática do sistema de aquecimento (AQ) sob uma perspetiva superior (esquerda), e visão lateral do interior dos reatores (direita). Representação real no Anexo IV.

Para que a energia fornecida a cada reator fosse equivalente, o desenho experimental teve em conta o equilíbrio hidro-termodinâmico. Independentemente da caixa em que a água entrasse esta percorreria sempre a mesma distância, desde o momento em que saía e que voltava a entrar no tanque de abastecimento. Todo o sistema foi montado com uma ligeira inclinação, de modo a que as caixas que se encontravam mais afastadas do tanque de abastecimento estivessem numa posição mais elevada, evitando, assim, a acumulação de bolhas de ar na tubagem. O sistema de energia externa apenas foi acionado ao fim de 10 dias após o início do processo, permitindo que o material orgânico fosse inteiramente responsável pelo aquecimento inicial (auto-aquecimento/*self-heating*). Nesta experiência o material vegetal inicial apresentava uma concentração de 38% de troncos, 16% de ramos e 47% de folhas, tendo sido posteriormente dividido e sujeito aos diferentes tratamentos (ENH, C0 e FOL). Aproximadamente 50L de cada mistura foi separadamente introduzida dentro dos 16 reatores, havendo 5 reatores de cada tratamento distribuídas espacialmente de modo aleatório. Tal como explicado no processo anterior para a evolução do material vegetal, foram retiradas amostras compostas a profundidades semelhantes. As amostras foram realizadas nos dias 1, 3, 6, 8, 15, 19, 23, 31, 38, 45 da experiência, sempre na mesma altura do dia. Foram, também, colocados sensores HOBO U12-013 de temperatura (Onset Computer Corporation, Bourne, USA) no interior da matéria vegetal a uma profundidade aproximada de 20 cm, programados para efetuarem o registo de 30 em 30 minutos.

2.2.3. Parâmetros medidos

As amostras compostas resultantes de ambas as experiências foram examinadas, possibilitando a análise das características do material e da sua evolução. O peso fresco (P_f) de cada amostra composta foi registado e, de seguida, procedeu-se à secagem do material. Para isso, o material esteve durante 4 dias sujeito a uma temperatura de 70°C (no interior de uma estufa) e, posteriormente, registou-se o valor associado do seu peso seco (P_s). De seguida estimou-se o conteúdo hídrico (CH) do material através da seguinte fórmula:

$$\%CH = [(P_f - P_s) / P_s] \times 100 \quad (6)$$

sendo que %CH corresponde ao teor de conteúdo hídrico, P_f ao peso fresco da amostra e P_s ao peso seco da amostra.

Para a análise do pH de cada amostra composta retirou-se material seco até perfazer um volume de 5 ml ao qual se juntou 20ml água (numa proporção de 1:5). Este foi sujeito a uma agitação com uma duração de cerca de 60 min (150rpm), e, posteriormente, a uma filtração, de forma a evitar o contacto das partículas da mistura com o eléctrodo e, só depois, foi medido o seu valor de pH (pH/mV meter 501, Crison, Barcelona, Spain) (protocolo adaptado de CEN, 1999). O restante material, já seco, foi moído (três minutos) num moinho de esferas (Retsch MM400, Haan, Germany) e, de seguida, submeteu-se cerca de 0,2 gramas a 500°C numa mufla, durante cerca de 5 horas (Carmo e Silva, 2012). Deste modo, foi possível calcular a percentagem de matéria orgânica (MO) através da seguinte expressão:

$$\%MO = (P_s - P_i) \times 100 / P_s \quad (7)$$

sendo que %MO corresponde ao teor de matéria orgânica, P_s ao peso sego da amostra e P_i ao peso da amostra após a incineração.

De cada amostra seca e moída pesaram-se ainda cerca de $0,5 \pm 0,2$ mg, numa balança de precisão (Fisons instruments, sartorius micro, Italy) para encapsular e enviar para análise (Elemental Microanalysis, UK, Referência padrões Sorghum Flour Standard OAS and Wheat Flour Standard OAS – processo idêntico ao realizado na análise elementar). Este processo permite descobrir a %C e %N associada a cada amostra e consecutivamente o seu rácio (C/N).

Tabela 2 - Quadro síntese das principais diferenças e semelhanças entre as 2 experiências e sistemas utilizados (SAQ e AQ).

Características	Sistema SAQ	Sistema AQ
Reatores	Paredes poliestireno; Rede no fundo	Paredes poliestireno; Rede no fundo; Cesto em rede; Tubagem de água quente
Fonte de Aquecimento	Sem fonte externa	Sistema de água aquecida
n° amostras compostas, por tratamento	3	5
Dias de amostragem	1,8,13,36,38,43,45	1,3,6,8,15,19,23,31,39,45
Composição do material vegetal	41% Troncos; 16% Ramos; 43% Folhas	38% Troncos; 16% Ramos; 47% Folhas
Parâmetros Medidos	CH; %C; %N; C/N; %MO; T°C	CH; %C; %N; C/N; %MO; T°C; pH

2.2.4. Tratamento Estatístico

Com o intuito de analisar a existência de diferenças nos parâmetros medidos entre tratamentos, separadamente por experiência (SAQ e AQ), recorreu-se a testes de Kruskal-Wallis – Teste para amostras não paramétricas - no início, meio e fim do processo. Posteriormente, e com o intuito de verificar entre que tratamentos existiu diferenças recorreu-se à Comparação Múltipla de Medianas para Amostras Independentes (Maroco e Bispo 2003). Individualmente, para cada sistema, analisou-se a evolução da decomposição do material comparando-se os valores obtidos no início e no final do processo. Para isto recorreu-se ao teste de Wilcoxon para Amostras Emparelhadas – Teste não paramétrico. Este teste aplicou-se individualmente a cada tratamento e mais tarde, para uma introspeção geral e do potencial do material em si, foi realizada uma análise global, ignorando os tratamentos individualmente. Em busca de relações entre as variáveis que permitiram comparar o material em decomposição procuraram-se correlações (Correlações de Spearman), de forma a encontrar algumas ligações entre as propriedades do material, isto é, a influência das variáveis umas em função das outras. Por último, para perceber se os diferentes sistemas tinham contribuído de maneira diferente no processo de bioestabilização do material vegetal compararam-se os resultados de ambas as experiências (AQ e SAQ) através do Teste Mann-Whitney especificamente para o início e o final do processo.

2.3. Resultados e Discussão

Na experiência SAQ (sem aquecimento) o material vegetal não atingiu as temperaturas correspondentes à fase termofílica (superiores a 40°C). Contrariamente ao sugerido por Petiot e Gaurdia (2004), o isolamento das paredes do reator e o volume do material vegetal, de aproximadamente 50L, não foram suficientes para manter, nem mesmo atingir, uma temperatura superior a 40°C (Figura 16). Este insucesso pode estar relacionado com a composição da biomassa utilizada, uma vez que esta apresentava na sua constituição material vegetal lenhificado, que é maioritariamente degradado por comunidades de microrganismos termofílicos. Com o intuito de encontrar diferenças entre os tratamentos aplicados (C0, ENH e FOL) e acompanhar a decomposição do material vegetal em condições mesofílicas realizaram-se testes de forma a comparar os parâmetros medidos no início, meio e fim da experiência.

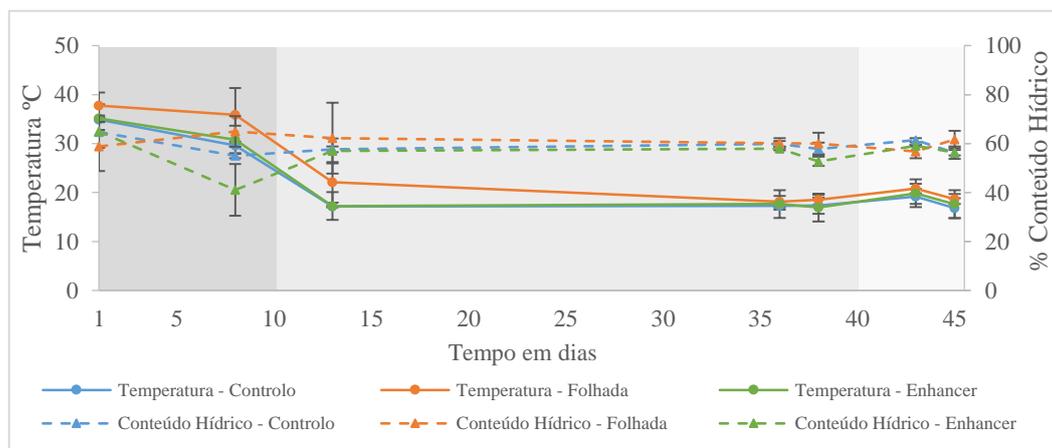


Figura 16 – Variação dos parâmetros temperatura (°C) e conteúdo hídrico (%) para os diferentes tratamentos (C0, FOL e E) ao longo do tempo na experiência SAQ. A representação de cada tratamento, associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; *enhancer* – verde), deriva das amostras das 3 caixas. O degradé de cinzentos, no fundo do gráfico, está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).

Sob condições mesofílicas, não se verificaram diferenças entre os tratamentos em nenhum dos períodos de tempo considerados (início, meio e fim) (Figura 17; Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados da aplicação do teste de Kruskal-Wallis (teste não paramétrico) entre os três tratamentos a cada parâmetro medido, sendo que o valor de K e p-value se encontram associados a este teste. Diferenças significativas para $p < 0,05$.

Período de Tempo	Estatística	T °C	CH	MO	N	C	C/N
Início	K	2,489	0,089	0,800	0,089	2,489	0,267
	p-value	0,288	0,957	0,670	0,957	0,288	0,875
Meio	K	1,067	2,489	2,510	0,622	2,222	0,800
	p-value	0,587	0,288	0,285	0,733	0,329	0,670
Fim	K	0,622	1,689	2,756	1,156	0,000	1,8767
	p-value	0,733	0,430	0,252	0,561	1	0,393

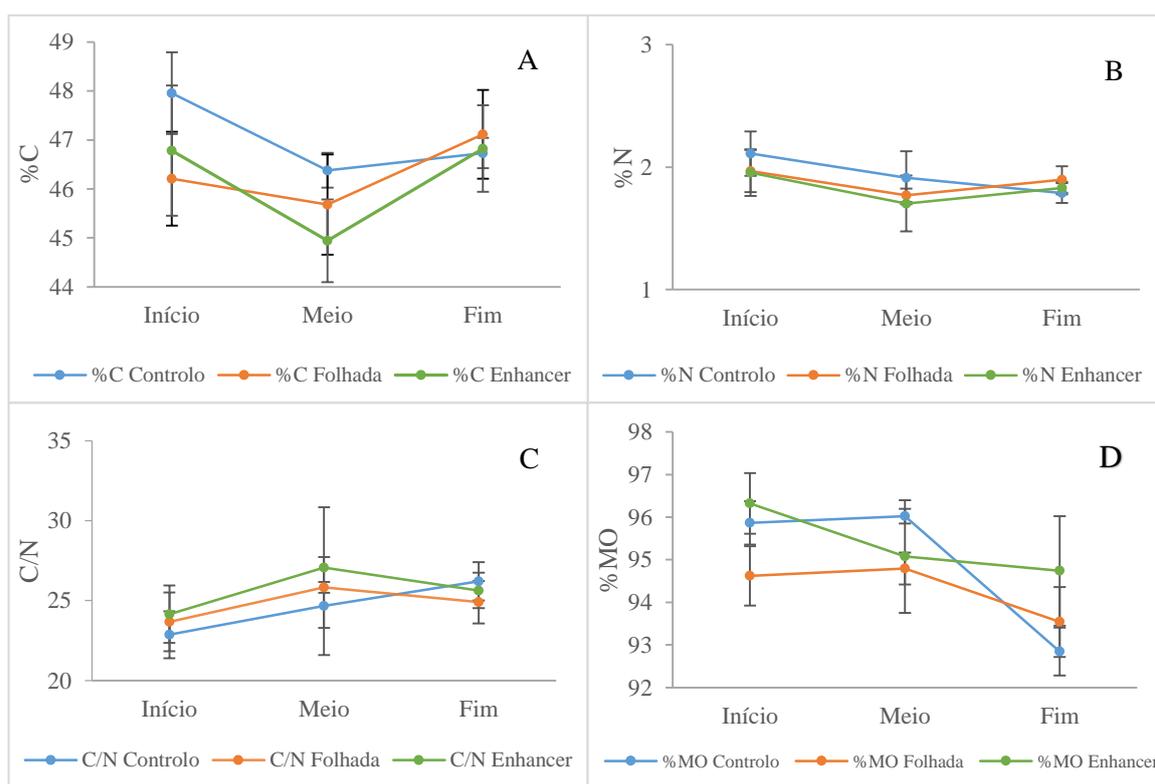


Figura 17 – Variação dos parâmetros medidos ao longo do tempo, na experiência SAQ, sendo que: A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D – a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo. A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), e resulta da amostragem das 3 caixas.

A baixa taxa de decomposição, suportada pela ausência de diminuição significativa das %MO e C/N do início para o fim da experiência (Figura 17; Anexo V), poderá estar associado à escassez de

limitantes ao crescimento dos microrganismos (Madigan *et al.* 2015). O carbono e o azoto são dois elementos fundamentais, respetivamente, responsáveis pelo crescimento dos microrganismos e pela síntese de proteínas (Batista e Batista 2007; Cunha Queda 1999). A evolução dos teores de carbono e azoto e do seu rácio encontra-se representada na Figura 17. Apesar de não ter sido possível calcular as percentagens de C, N e consequentemente o seu rácio, para todos os pontos de amostragem, foi possível acompanhar os seus valores em três períodos distintos. No período inicial (0-10dias) a razão C/N dos três tratamentos, para além de bastante semelhantes, apresentava valores idênticos aos considerados como inicialmente ótimos (25/1 – 35/1) por Kiehl (1998) (C0=22,87/1, FOL=23,66/1, ENH=24,16/1) num processo de compostagem. Sabendo que os microrganismos absorvem carbono e azoto numa relação C/N de 30 para 1 (Kiehl 1998; Batista e Batista 2007) e que se constatou a existência de uma correlação mais forte e negativa entre a razão C/N e o azoto ($r_p=-0,958$ $p=0,00$; $N=27$), do que com o carbono ($r_p=-0,382$ $p=0,049$; $N=27$), é reforçada a importância do azoto e o seu papel influente na degradação deste material vegetal (Cunha Queda 1999).

De modo a aumentar a temperatura dentro dos reatores, procedeu-se à realização de uma experiência com fonte de energia externa (AQ), que permitisse atingir temperaturas superiores a 40°C e próximas de 60°C. Nesta, à semelhança do que aconteceu na experiência SAQ, o aumento da temperatura inicial foi promovido unicamente pela própria degradação do material vegetal, que se encontrava no interior dos reatores. Contudo, nesta experiência (AQ), ao final de 10 dias foi acionado o sistema de energia externa. No decorrer dos primeiros 10 dias da experiência a temperatura do material atingiu como temperatura mínima 22°C e como temperatura máxima 57°C. Dos 45 dias totais foi possível verificar uma temperatura média diária superior a 40°C, entre 9 e 15 dias, no entanto estes dias não foram seguidos. Por um período contínuo conseguiram-se estas temperaturas entre 6 a 8 dias, tendo sido a temperatura máxima média diária atingida de 53°C e a mínima de 32°C, sem contar com o primeiro dia (Figura 18). Sabendo que, as temperaturas médias no interior da estufa variavam diariamente cerca de 24,7°C, no interior da caixa aproximadamente 15°C e na matéria em decomposição cerca de 7,7°C, podemos constatar que o isolamento das caixas e o sistema de aquecimento diminuíram a oscilação da temperatura do material. Assim, conseguiu-se reduzir a oscilação da temperatura do ar envolvente do material em 40% e da matéria vegetal em 68,8%. O sistema AQ permitiu alcançar e manter a temperatura do material acima dos 40°C, ao contrário do que tinha acontecido na experiência anterior (SAQ). Porém, as novas condições experimentais foram ineficientes no que toca à obtenção e duração da temperatura máxima desejada.

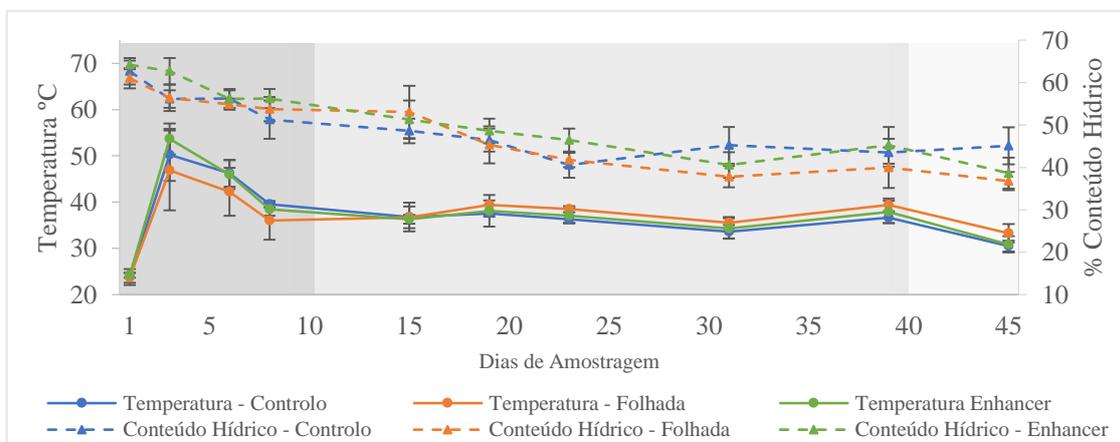


Figura 18 - Variação dos parâmetros temperatura (°C) e conteúdo hídrico (%) para os diferentes tratamentos ao longo do tempo na experiência AQ. A representação de cada tratamento, associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; enhancer – verde), deriva da amostragem das 5 caixas. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).

Nesta experiência (AQ), à semelhança do realizado na experiência (SAQ) apenas sob condições mesofílicas, a verificação de diferenças entre os tratamentos (C0, FOL e ENH) consistiu na comparação dos parâmetros medidos entre os três tratamentos no início, meio e fim da experiência (Tabela 4). Estes resultados evidenciaram diferenças significativas para alguns parâmetros de análise tanto no período inicial como a meio do processo, todavia sugerem a semelhança das propriedades do material no final dos 45 dias. Inicialmente foi evidente a diferença no teor de MO entre os três tratamentos (Figura 19) (Teste Kruskal-Wallis; $n=15$; $K=9,260$ $p<0,05$), sendo que este apresentava valores significativamente mais baixos para o tratamento FOL, seguido do tratamento ENH e, por fim, do tratamento C0 (Anexo VI). Os valores médios mais reduzidos para percentagem de MO no tratamento FOL poderão estar associados à composição inicial deste tratamento. Este incluía uma percentagem de 10% de folhada que se encontrava sob as copas de *A. longifolia*, ou seja, a material vegetal que já se encontrava em decomposição, na qual ocorre perda de MO e acumulação de nutrientes. Para além disso, o tratamento poderia ainda conter terra e outros materiais inorgânicos que se encontrassem junto à folhada. Este possível estado de decomposição mais avançado poderá conferir uma vantagem à utilização deste recurso, sendo que a sua inclusão numa pilha de compostagem permitirá adicionar uma comunidade desenvolvida de microrganismos e conceder um estado mais adiantado ao processo de compostagem. O tratamento ENH apresentou valores de %MO intermédios entre os outros dois tratamentos (FOL e C0), e apesar de não conter matéria vegetal já em decomposição apresentava desde início uma comunidade microbiana bastante mais elevada que o tratamento C0. Ainda na fase inicial do trabalho foi possível constatar (Figura 19) um teor de carbono inferior no tratamento FOL (Anexo VI) o que pode estar associado à sua utilização por parte dos microrganismos (Campos e Blundi sd; Bernal *et al.* 1998). Esta redução no teor de carbono, por parte dos microrganismos, é explicada pela produção de energia, na qual à libertação de dióxido de carbono, e pela síntese de proteínas e constituição celular (Brito 2016).

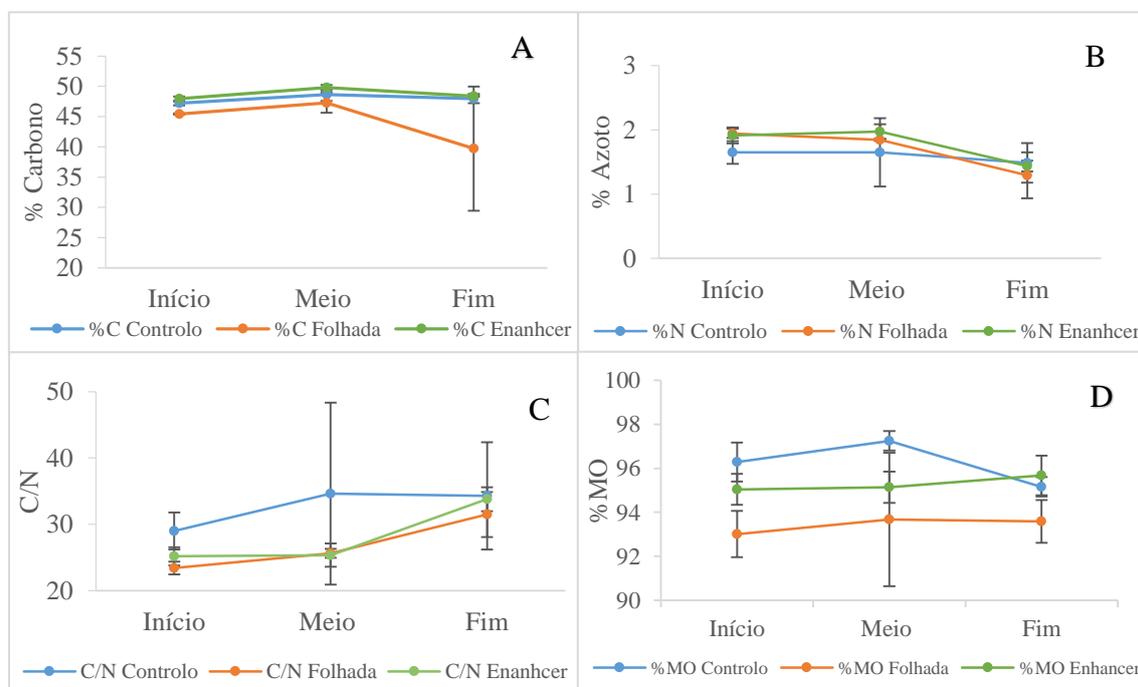


Figura 19 - Variação dos parâmetros medidos ao longo do tempo na experiência AQ, sendo que: A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D – a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo E –, a variação do pH durante o processo; A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; *enhancer* – verde), e resulta da amostragem das 5 caixas.

Ao fim de vinte e três dias registaram-se valores significativamente mais baixos para a %MO para os tratamentos FOL e ENH (Figura 19; Tabela 4, Anexo VI). Este resultado sugere um aceleração do processo de decomposição por parte das comunidades microbiológicas existentes em ambos os tratamentos (FOL e ENH). Contudo, realça-se que ao fim de 45 dias não se encontraram quaisquer diferenças entre tratamentos para nenhum parâmetro analisado (Tabela 4). Nos três períodos de tempo não foram encontradas diferenças significativas para os valores de pH (Figura 20), tendo havido sempre comportamento muito semelhante entre os tratamentos.

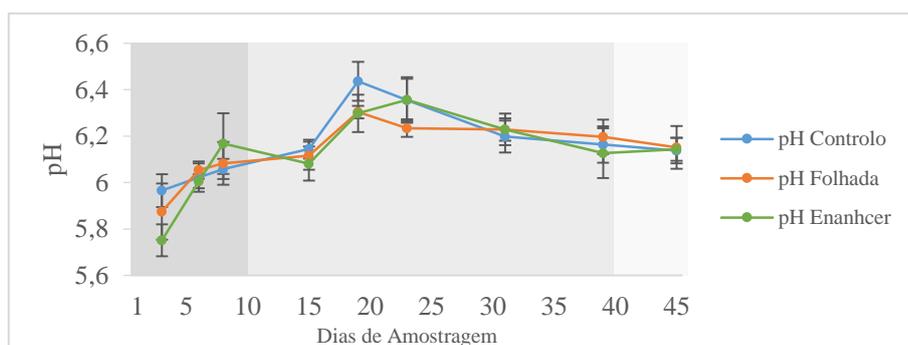


Figura 20 – Variação do pH durante a experiência AQ. A representação de cada tratamento encontra-se associado a uma cor diferente (controlo – azul; folhada – laranja; *enhancer* – verde), e resulta da amostragem das 5 caixas. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).

Tabela 4 – Diferenças entre tratamentos, suportada pelos valores de $p > 0,05$. Cada valor de teste K e p-value associado, resultam da aplicação do teste de Kruskal-Wallis (teste não paramétrico) aos três tratamentos a cada parâmetro medido. Cada tratamento apresentava um $n=5$. * representa a existência de diferenças significativas

Período de Tempo	Estatística	T °C	CH	MO	N	C	C/N	pH
Início	K	1,42	2,22	9,26	2,49	6,49	3,82	5,18
	p-value	0,49	0,33	0,01*	0,29	0,04*	0,15	0,07
Meio	K	4,17	5,66	8,72	0,27	4,36	0,27	4,88
	p-value	0,12	0,06	0,01*	0,88	0,11	0,88	0,09
Fim	K	3,86	5,78	5,82	0,62	3,82	0,62	0,14
	p-value	0,15	0,06	0,06	0,73	0,15	0,73	0,93

Por outro lado, sob uma fonte de energia externa, todos os tratamentos apresentaram valores significativamente mais elevados de %CH no primeiro dia (Teste wilcoxon; $n=5$; C0: $Z=-2,023$ $p<0,05$, FOL: $Z=-2,023$ $p<0,05$, ENH: $Z=-2,023$ $p<0,05$). Para a manutenção das condições ideais ao desenvolvimento de todo o processo, a aproximação de valores de CH dos 40% levou a que fossem adicionados 500 ml de água ao fim de 25 dias a todas as caixas destas experiências. Aparentemente, para a obtenção de um material com futura adequabilidade, o recurso folhada parece ter o mesmo efeito acelerador que o potenciador comercial (*Enhancer* - ENH), rico em comunidades fúngicas especializadas na degradação de lenhina (Brito 2016). Apesar de no final dos 45 dias os resultados obtidos terem sido muito semelhantes para todos os tratamentos, o tratamento FOL parecer conseguir estabelecer propriedades de elevado interesse ecológico e aparente estabilidade desde uma fase inicial.

Foi novamente encontrada uma forte correlação entre a percentagem de azoto e a razão C/N ($r_s = -0,959$ $p < 0,001$), juntamente com uma ausência de correlação significativa para a percentagem de carbono com esta mesma razão. Este resultado, suporta a ideia anterior e reforça a importância do azoto nos processos de decomposição.

A comparação dos resultados entre as experiências sem aquecimento (SAQ) e com aquecimento (AQ) derivou da ausência de diferenças extremas entre os três tratamentos. Assim, ignorando os tratamentos, sucedeu-se a um balanço global de ambas as experiências (SAQ e AQ) através de uma análise evolutiva e comparativa dos parâmetros medidos no material vegetal, no início e no fim do processo. Com o intuito de compreender as diferenças promovidas pelos sistemas utilizados, as amostras do material proveniente de ambos (AQ e SAQ) foram comparadas em dois tempos distintos (inicial e final). Inicialmente, o material vegetal utilizado nas duas experiências apresentava características muito semelhantes tendo sido apenas realçados os valores mais elevados de temperatura na experiência AQ (Figura 21; Figura 22; Tabela 5). Todavia, importa realçar que os valores da %N foram marginalmente superiores na experiência SAQ, e, em consequência, a razão C/N foi marginalmente inferior. No final do processo estes valores passaram de marginalmente significativos a significativos (Figura 22; Tabela 5), o que pode indicar que sob temperaturas mais altas houve maior percentagem de volatilização de azoto e incapacidade de reabsorção deste por parte dos microrganismos (Cintra 2003). Por outro lado, o resultado marginalmente significativo para a percentagem de azoto no período inicial pode sugerir que as características da biomassa de *A. longifolia* utilizadas nas diferentes experiências apresentavam propriedades diferentes e que o sistema de energia externa não contribuiu de forma relevante para alterar o processo de degradação da matéria. Esta ideia é reforçada pela ausência de diferenças significativas entre valores médios de %MO em ambas as experiências (Figura 22, Tabela 5), que iniciaram e finalizaram com valores muito próximos dos 94%.

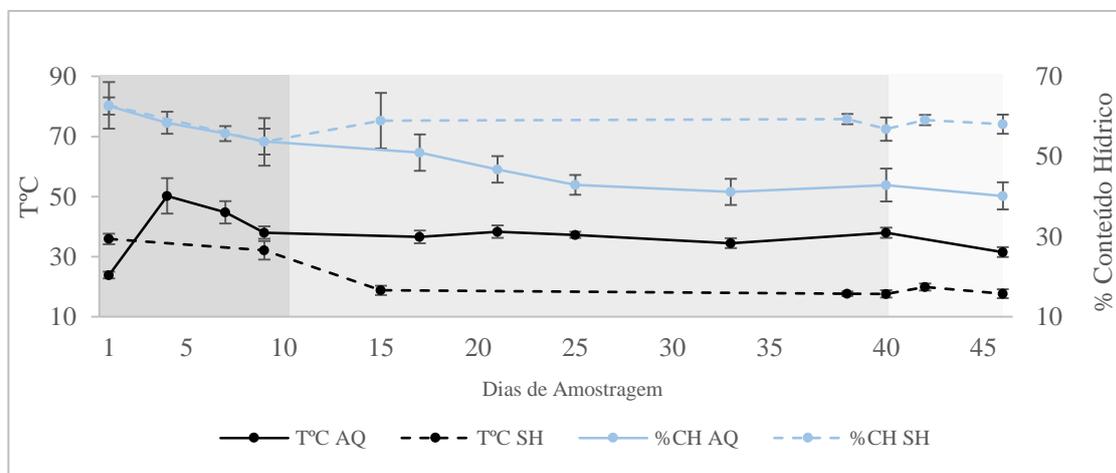


Figura 21 - Variação dos parâmetros temperatura (°C) e conteúdo hídrico (%) numa análise global que ignora os tratamentos durante 45 dias. A tracejado encontram-se representados os resultados referentes à experiência SAQ (n=9) e a linha aos resultados provenientes do sistema AQ (n=15). Associado à cor azul clara está a representação do conteúdo hídrico e a preto os valores de temperatura. O degradé de cinzentos no fundo do gráfico está associado aos três períodos de tempo considerados (início, meio e fim).

Em ambas as experiências foi verificado um decréscimo da temperatura do início para o fim do processo (Teste Wilcoxon SAQ: n=9; $Z = -2,66$ $p < 0,01$; AQ: n=15 $Z = -2,98$ $p < 0,01$). De uma forma geral na experiência AQ, ao invés do sucedido na experiência SAQ, o teor hídrico do material vegetal de *A. longifolia* diminuiu consideravelmente (Teste Wilcoxon n=15; $Z = -3,41$ $p = 0,001$). Visto que em AQ os valores médios de CH chegaram mesmo a atingir valores perto dos 40%, contrariamente a SAQ que se

mantiveram sempre entre os 50-60%, o sistema de aquecimento contribuiu para o aumento da evaporação da água.

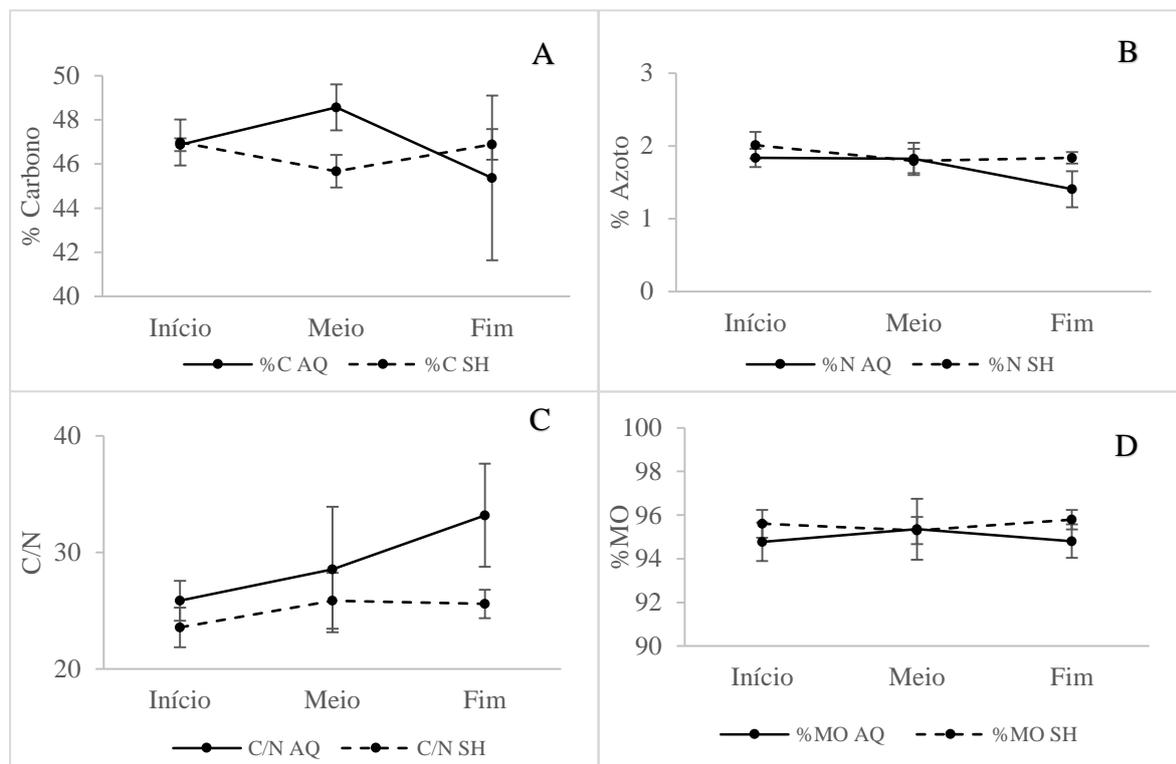


Figura 22 - Variação dos parâmetros medidos, durante os 45 dias, numa análise global que ignora os tratamentos, para os dois sistemas utilizados (SAQ e AQ). A tracejado encontram-se representados os resultados referentes à experiência SAQ (n=9) e a linha aos resultados provenientes do sistema AQ (n=15). A – representa a variação da percentagem de carbono (%C) em três alturas diferentes; B – a variação da percentagem de azoto (%N) em três alturas diferentes; C – a variação do rácio C/N em três alturas diferentes; D - a variação da percentagem de matéria orgânica (%MO) durante o processo.

A análise de ambas as experiências sugeriu ainda diferenças para o elemento azoto, razão C/N e pH, do período inicial para o final na experiência AQ. A percentagem de azoto decresceu do início para o fim do processo (Teste Wilcoxon n=9; Z=-2,31 p<0,05), e verificou-se um aumento do valor da razão de C/N (Teste Wilcoxon n=9; Z=-2,55, p<0,05) e do valor de pH (Teste Wilcoxon n=15; Z=-3,24 p<0,01). O azoto é principalmente perdido por volatilização e lixiviação (Brito 2016; Cintra 2003), porém o carbono é perdido mais rapidamente, o que deveria conduzir à diminuição do valor de C/N durante o processo de compostagem (Brito 2016). A ausência de diminuição da razão C/N pode estar associada ao elevado teor de lenhina (uma fonte de carbono), que por ser uma molécula difícil de degradar dificulta a mineralização do carbono. Os valores de pH aumentaram significativamente, ainda assim os valores alcançados foram inferiores aos sugeridos como ótimos por alguns autores - superiores a 7 (Kiehl 1998) - e aos registados por Brito *et al.* (2013) ao fim de mais de 200 dias. Contudo, e sabendo que o pH influencia o equilíbrio microbiano e tem um papel importante no desenvolvimento das plantas, o material vegetal que apenas esteve sujeito a um processo de decomposição durante 45 dias apresentou valores de pH adequados ao desenvolvimento de algumas comunidades microbianas (Batista e Batista 2007). A gama de valores de pH obtidos realça a potencialidade do material como substrato a comunidades biológicas, uma vez que os valores foram quase sempre propícios ao desenvolvimento de alguns fungos (pH entre 5 e 8,5) e bactérias (pH entre 6 e 8) (Batista e Batista 2007; Madigan *et al.* 2015). Apesar do sistema AQ ter conseguido promover e manter temperaturas mais elevadas, ambos os

processos de decomposição decorreram, maioritariamente, sob condições mesofílicas, não se verificando nenhum período termofílico acentuado e duradouro. No sentido de confirmar estes resultados será importante, em trabalhos futuros, realizar uma experiência semelhante, e se possível aumentar o número de reatores com o mesmo tratamento. Apesar de os resultados aparentarem suportar a ideia da não ocorrência da decomposição do material e do insucesso na obtenção das características ideais à sua incorporação no solo, a fase fitotóxica, em teoria, já ocorreu (duração de 10 a 15 dias e pH inferior a 6) (Kiehl 1998). Esta inércia pode sugerir que o material se encontra numa fase estabilizada e não prejudicial, nem para os solos, nem para as plantas. Ao ser incorporado no solo, este material irá conferir uma estrutura mais estável, resistente e impermeável, ao mesmo tempo que promove o aumento do teor de MO por um período duradouro. Para comprovar a sua estabilidade e qualidade salienta-se a importância de realização de testes de adequabilidade e duração da incorporação deste material no solo, que permitam quantificar e compreender os efeitos diretos desta incorporação. Como geralmente a disponibilidade de outros nutrientes essenciais ao metabolismo dos microrganismos não é um fator limitante no processo de compostagem, por se encontrarem disponíveis em grandes quantidades nos materiais orgânicos utilizados (Brito 2016), seria também importante verificar esta premissa e, consequentemente, identificar e quantificar a sua disponibilidade no material resultante.

Tabela 5 - Resultados da aplicação do teste de Mann-Whitney (teste não paramétrico) entre as experiências SAQ e AQ para cada parâmetro medido, sendo que o valor de U e p-value se encontram associados a este teste. Diferenças significativas para $p < 0,05$.

Período de Tempo	Estatística	T °C	CH	MO	N	C	C/N
Início	U	0,00	4,00	5,50	0,00	3,00	0,00
	p-value	0,03*	0,30	0,55	0,05	0,51	0,05
Fim	U	0,00	0,00	37,00	10,00	21,00	6,00
	p-value	0,00*	0,00*	0,07	0,01*	0,09	0,00*

Considerações Finais

Em Portugal, *A. longifolia* é considerada uma espécie invasora de sistemas dunares, que apresenta uma vasta distribuição e abundância sendo responsável por desequilíbrios nos ecossistemas. Esta problemática, associada ao impacto ecológico e económico resultante das invasões de *A. longifolia*, esteve na base do delineamento deste trabalho e na procura de um método de controlo sustentável, que visasse diminuir a densidade populacional desta espécie nos sistemas invadidos.

Os resultados deste trabalho contribuem para uma visão mais aprofundada sobre a problemática das espécies invasoras, potenciando eventuais soluções para o controlo de *A. longifolia*. Neste sentido o projeto englobou três pontos-chave, que sucintamente consistiram na elaboração de um modelo preditivo da biomassa de *A. longifolia*, no reaproveitamento da biomassa e na contribuição de conhecimentos ecológicos e fisiológicos associados à espécie de estudo. A elaboração deste modelo permite quantificar a biomassa de um acacial, e ser utilizado como medida de avaliação do grau de invasão de um determinado local e até mesmo como ferramenta de gestão dos habitats. De acordo com o trabalho desenvolvido, aproximadamente metade do peso inicial de um indivíduo de *A. longifolia* corresponde a biomassa que pode ser aproveitada e revalorizada. Complementarmente, o conhecimento do potencial de aproveitamento da biomassa associada a cada uma das componentes da planta (folhas, ramos e troncos) permite uma melhor gestão do processo de rentabilização. O facto deste trabalho ter realçado relações entre algumas variáveis alométricas e a biomassa total dos indivíduos, permite escolher quais as variáveis a equacionar no melhor modelo preditivo da biomassa de *A. longifolia*. Deste modo, a equação associada ao modelo de regressão linear proposto (Equação 5) derivou da relação da variável volume da meia esfera alongada (Equação 2) com a biomassa.

Os resultados associados à elaboração do modelo de biomassa de *A. longifolia*, para além de envolverem conceitos de fisionomia (alocação de recursos na planta) e ecologia de *A. longifolia* (relação da invasão com o volume e a biomassa), apresentam um interesse acrescido por poderem contribuir para um planeamento adequado ao nível da gestão de habitats e do reaproveitamento dos recursos. Embora os resultados contribuam para responder aos pontos inicialmente delineados, seria importante continuar este estudo aumentando a sua dimensão, quer do número de amostras, com vista a amostrar outras populações e locais invadidos. Uma tarefa fundamental a realizar no futuro será a validação deste modelo de biomassa de *A. longifolia*, que permitirá comprovar a sua precisão. O aprofundamento do estudo permitirá, ainda, corroborar e/ou adequar o modelo proposto a diferentes tipos de acaciais.

O projeto desenvolvido foi um processo bastante trabalhoso, uma vez que foi o primeiro estudo a incluir uma proposta de modelação para a previsão da biomassa de *A. longifolia*. Um dos objetivos futuros, sabendo as relações entre as variáveis alométricas e a biomassa, será a modelação da biomassa à escala macro através de fotografia aérea e/ou satélite.

Embora atualmente sejam aplicadas algumas medidas de combate à invasora *A. longifolia*, com elevado investimento tanto a nível económico como de recursos humanos, a alternativa apresentada neste trabalho assenta na revalorização da matéria vegetal aparentemente sem utilidade. A potencialidade da biomassa desta espécie foi evidenciada na fase inicial do trabalho, através da relação desta com os valores de carbono, azoto e o seu rácio, importantes num processo de decomposição. Consequentemente aplicou-se uma estratégia que permitiu aproveitar estas propriedades, através de um processo semelhante ao de compostagem. Este projeto, para além de acompanhar a evolução da matéria vegetal, diminuiu a escala temporal e dimensional do processo (45 dias e um volume semelhante a 50L), e sujeitou o material a diferentes condições (processo exclusivamente de sem fonte de aquecimento—SAQ e com fonte de aquecimento AQ) e a diferentes tratamentos (C0, FOL e ENH). Apesar das diversas variáveis a que o material vegetal esteve sujeito, o que incluiu condições exclusivamente mesofílicas na

experiência SAQ e com períodos termofílicos na experiência AQ, estas não pareceram induzir grandes alterações significativas no processo e nos resultados finais. Este facto permite concluir, que a decomposição do material vegetal de *A. longifolia* e a consequente produção de um material orgânico estável não é um processo difícil e pode contribuir para o aumento do *input* de nutrientes no solo. Em particular, a folhada que se encontra sob a copa dos acaciais apresentou características que poderão indiciar algum potencial na sua utilização como substrato orgânico, devendo ser futuramente analisadas e estudadas. O trabalho desenvolvido sugere que este processo possa ser aplicado a um simples indivíduo, pois na realidade apesar de um pequeno volume (50=L) e das temperaturas relativamente baixas durante todo o processo parece ser possível obter um substrato orgânico capaz de melhorar a qualidade dos solos. Para complementar este estudo poderia ainda recriar-se a experiência, alterando algumas das condições e dos tratamentos ou das concentrações a que o material esteve sujeito.

O material orgânico resultante do processo aplicado neste trabalho ao ser incorporado no solo, aumentará o teor de matéria orgânica por um período duradouro e poderá conferir uma estrutura mais estável, resistente e capaz de aumentar a eficiência do uso da água, de nutrientes e de uma comunidade microbiana no solo. Os resultados apresentados são um incentivo adicional ao combate desta espécie e o facto de poder ser reproduzido sob uma escala muito versátil, ao nível de um acacial ou de um ou dois indivíduos e sob condições mesofílicas, confere-lhe uma grande vantagem como complemento ao método mecânico já conhecido. Embora se tivessem verificado vantagens, este material precisa ainda de ser estudado com mais detalhe. Antes de qualquer aplicação é necessário comprovar a estabilidade e qualidade deste material, sendo indispensável realizar análises de toxicidade, identificação e quantificação de nutrientes, bem como testes que reflitam a duração e as consequências da incorporação deste material no solo. Um outro aspeto importante é avaliação da relação custo-benefício, que permitirá planear qual a melhor estratégia de aplicação deste processo numa escala superior.

Este trabalho contribuiu com informação ecológica que permite delinear melhores estratégias de controlo e gestão dos ecossistemas que simultaneamente promovem o controlo e erradicação de espécies invasoras com gastos económicos sustentáveis, dado que os gestores puderam recuperar parte dos gastos investidos. Contribui, também, para a elaboração de um método de conservação sustentável, uma vez que minimiza o investimento aplicado ao combate das espécies invasoras em sistemas dunares. Este conceito de conservação sustentável deve ser aplicado noutros casos de estudo relacionados com fenómenos de invasão e consistir num incentivo ao envolvimento das populações e comunidades locais, aumentando o seu conhecimento técnico. Neste caso, a mobilização de conteúdos de diversas áreas, como gestão, ecologia, fisiologia, microbiologia, sivilcultura, matemática e biologia da conservação permitiu aumentar e diversificar as ferramentas e procedimentos de trabalho conduzindo a uma maior eficácia nas respostas às situações identificadas. Esta abordagem multidisciplinar permite reforçar a transversalidade da problemática estudada e enfatizar a sua relevância, em diferentes campos como a gestão de habitats e biologia da conservação. Esta abordagem multidisciplinar na resposta à problemática associada às espécies invasoras, pode contribuir para o desenvolvimento de uma solução para o grave problema das plantas invasoras, através de uma solução mais abrangente, integrando vários sectores da sociedade, como universidades, agências de conservação, gestores agrícolas e florestais e associações de produtores.

Referências Bibliográficas²

Alves BJR, Zotarelli L, Jantalia CP, Boddey RM, Urquiaga S (2006) Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. Em: Aquino AM, Assis RL (eds) Processos biológicos no sistema solo-planta. Brasília, pp 343-368

Batista JGF, Batista ERB (2007) Compostagem - Utilização de compostos de Horticultura. Universidade dos Açores-CITA-A

Bernal MP, Albuquerque JA, Moral R (2009) Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology* 100:5444-5453

Bi H, Birk E, Turner J, Lambert M, Jurskis V (2001) Converting stem volume to biomass with additivity, bias correction, and confidence bands for two Australian tree species. *New Zealand Journal of Forest Science* 31:298-319

Brink TP (2013) The economic costs of invasive alien species. IUCN. https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/ten_brink_economic_impacts_of_ias_ptb_of_ieep_at_the_iucn_ep_event_21_feb_2013_final.pdf. Acedido a 28 de Outubro de 2016

Brito LM (2013) Compostagem de espécies invasoras lenhosas. Pinto, Costa & Silva, Lda. Ponte de Lima

Brito LM, Mourão I, Coutinho J (2014) Compostagem de biomassa de acácia com casca de pinheiro. *Revista de Ciências Agrárias* 37:59-68

Brito M (2016) Compostagem. Manual compostagem. http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm. Acedido a 10 de Setembro de 2016

Cain ML, Subler S, Evans JP, Fortin MJ (1999) Sampling spatial and temporal variation in soil nitrogen availability. *Oecologia* 118:397-404

Campbell CD, Darbyshire JF, Anderson JG (1990) The composting of tree bark in small reactors – Self-heating experiments. *Biological Wastes* 31:145-161

Campbell CD, Darbyshire JF, Anderson JG (1990) The Composting of tree bark in small reactors – Adiabatic and fixed-temperature experiments. *Biological Wastes* 31:175-185

Campos ALO, Blundi CE (2016) Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações. Biblioteca Virtual em Saúde. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=45298&indexSearch=ID>. Acedido a 26 Setembro 2016

² Referências Bibliográficas baseadas na revista *Biodiversity and Conservation*

Canha P, Pinto-Cruz C (2010) Plano de Gestão de Charcos Temporários Mediterrânicos no Concelho de Odemira. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4077/1/Plano%20Gestao%20CHARCOS%20Temp.pdf>. Acedido a 20 de Outubro de 2016

Carmo DL, Silva CA (2012) Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1211-1220

Carneiro M, Moreira R, Gominho J, Fabião A (2014) Could control of invasive acacias be a source of biomass for energy under Mediterranean conditions?. *Chemical Engineering* 37:182-197

CEN TF (2005) Determination of pH in soil, sewage sludge and biowaste. European Standard. https://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/STD5151_pH.pdf. Acedido a 19 Julho de 2016

Cernusak L A, Tcherkez G, Keitel C, Cornwell WK, Santiago LS, Knohl A, Barbour MM, Williams DG, Reich PB, Ellsworth DS, Dawson TE, Griffiths HG, Farquhar GD, Wright IJ (2009) *Why are non-photosynthetic tissues generally ¹³C enriched compared with leaves in C₃ plants? Review and synthesis of current hypotheses. Functional Plant Biology* 36:199-213

Cintra GDC (2003) Compostagem de diferentes materiais - monitorização e comparação de pilhas com razões Carbono/Azoto diferentes. Dissertação em engenharia Agronómica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia

Climate-Data (2016) Clima: Vila Nova de Milfontes. Climate-Data.org. <http://pt.climate-data.org/location/294568/>. Acedido a 22 Novembro de 2016

Daehler CC (1998) The taxonomic distribution of invasive angiosperm plants: ecological insights and comparison to agricultural weeds. *Biological Conservation* 84:167-180

Dassonville N, Vanderhoeven S, Vanparys V, Hayez M, Gruber W, Meerts P (2008) Impacts of alien invasive plants on soil nutrients are correlated with initial conditions in NW Europe. *Oecologia* 157:131-140

Davis MA, Grime JP, Thompson K (2000) Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology* 88:528-534

De Neergaard A, Saarnak C, Hill T, Khanyile M, Berzosa AM, Birch-Thomsen T (2005) Australian wattle species in the Drakensberg region of South Africa – an invasive alien or a natural resource?. *Agricultural Systems* 85:216-233

Díaz-Barradas MC, Zunzunegui M, Tirado R, Ain.Lhout F, García Novo F (1999) Plant functional types and ecosystem function in Mediterranean shrubland. *J Veg Sci* 10:709-716

Directiva Habitats 92/43 CEE do Conselho, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, N°L 206/97

Epstein E (1997) *The science of composting*. CRC Press LLC, United States of America

Everard M, Jones L, Watts B (2010) Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20:476-487

- Fei S, Phillips J, Shouse M (2014) Biogeomorphic impacts of invasive species. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 45:69–87
- Friend AL, Coleman MD, Isebrands JG (1994) Carbon allocation to root and shoot systems of woody plants. Em: Davis TD, Haissig BE (eds) *Biology of Adventitious Root Formation*. Plenum Press. New York, pp 245-274
- Funk JL, Vitousek PM (2007) Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. *Nature* 446:1079-1081
- Gayon J (2000) History of the concept of allometry. *American Zoologist* 40:748-758
- Google maps (2016) Google. <https://www.google.pt/maps/place/7630-174+Nascedios/@37.698828,-8.7991612,14137m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd1ba0f3cd358159:0x4d8dcc07f1f32ae8!8m2!3d37.676701!4d-8.783931>. Acedido a 3 de Novembro de 2016
- Greaves MP, Malkomes HP (1980) Effects on soil Microflora. Em: Hance RJ (ed) *Interactions Between Herbicides and the soil*, Academic Press Inc., Nova Iorque, pp 223-254
- Guo, Q, Fei S, Dukes JS, Oswalt CM, Iannone BV, Potter KM (2015) A unified approach for quantifying invasibility and degree of invasion. *Ecology* 96:2614-2621
- Hellmann C, Sutter R, Rascher KG, Máguas C, Correia O, Werner C (2011) Impact of an exotic N2-fixing *Acacia* on composition and N status of a native Mediterranean community. *Acta Oecologica* 37:43-50
- Henry M, Bombelli A, Trotta C, Alessandrini A, Birigazzi L, Sola G, Vieilledent G, Santenoise P, Longuetaud F, Valentini R, Picard N, Saint-André L (2013) GlobAllomeTree: international platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon assessment. *iForest* 6:326-330.
- Huxley JS, Teissier G (1936) Terminology of Relative Growth. *Nature* (137):780-781
- Insan H, Bertoldi M (2007) Microbiology of the compost process. Em: Diaz F, De Bertoldi M, Bidlingmaier, Stentiford E (Eds) *Compost science and technology*. Elsevier, Oxford pp 25-48
- Invasoras (2016) *Acácia-de-Espigas – Acacia longifolia*. <http://invasoras.pt/gallery/acacia-longifolia/>. Acedido a 3 Junho 2016
- Jonson JH, Freudenberger D (2011) Restore and sequester: estimating biomass in native Australian woodland ecosystems for their carbon-funded restoration. *Australian Journal of Botany* 59(7):640-653
- Kettunen M, Genovesi P, Gollasch S, Pagad S, Starfinger U, Brink P, Shine C (2009) Technical Support to EU Strategy on invasive alien species (IAS) - Assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU. IEEP N° 070307/2007/483544/MAR/B2
- Kiehl, EJ (1998) *Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto*. Degaspari, Piracicaba SP

- Kooijman AM (2003) Environmental problems and conservation – environmental problems and restoration measures in coastal dunes in the Netherlands. Em: Martínez ML, Psuty NP (eds) Coastal Dunes Ecology and Conservation 171 (vol) Springer. Verlag Berlin Heidelberg New York pp243-256
- Lashermes G, Barriuso E, Le Villio-Poitrenaud M, Houot S (2012) Composting in small laboratory pilots: Performance and reproducibility. Waste Management 32:271-277
- Le Maitre DC, Versfeld DB, Chapman RA (2000) The impact of invading alien plants on surface water resources in South Africa: a preliminary assessment. Water SA 26(3):397-408
- Lonsdale WM (1999) Global patterns of plant and the concept of inasibility. Ecology 80:1522-1536
- Ludwig JA, Reynolds JF, Whitson PD (1975) Size-biomass relationships of several Chihuahuan Desert Shrubs. American Midland Naturalist 94(2):451-461
- Madigan M, Martinko J, Bender K, Buckley D, Stahl D (2015) Brock Biology of Microorganisms. Pearson Education Limited, Essex
- Maltez-Mouro S, Maestre FT, Freitas H (2010) Co-occurrence patterns and abiotic stress in sand -dune communities: their relationship varies with spatial scale and the stress estimator. Acta Oecol. 36, 1:80-84
- Marchante E, Kjölller A, Struwe A, Freitas H (2008 a) Short and long-term impacts of *Acacia longifolia* invasion on the below ground processes of Mediterranean coastal dune ecosystem. Applied Soil Ecology 40:210-217
- Marchante E, Kjölller A, Struwe A, Freitas H (2008 b) Invasive *Acacia longifolia* induce changes in the microbial catabolic diversity of sand dunes. Soil Biology & Biochemistry 40:2563–2568
- Marchante H (2011) Invasion of Portuguese dunes by *Acacia longifolia*: present status and perspectives for the future. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- Marchante H, Marchante E, Buscardo E, Maia J, Freitas H (2004) Recovery potential of dune ecosystems invaded by the exotic species *Acacia longifolia*. Weed Technology 18:1427-1433
- Marchante H, Morais M, Freitas H, Marchante E (2014) Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal
- Marchante HSDC (2001) Invasão dos ecossistemas dunares portuguesas por *Acacia*: uma ameaça para a biodiversidade nativa. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Universidade de Coimbra
- Maroco JP, Bispo R (2006) Estatística Aplicada às Ciências Sociais e Humanas. Climepsi, Lisboa
- Marques DN (2010) Influência especial da invasora *Acacia longifolia* (Andrews) Willd num ecossistema dunar português. Dissertação Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências

- Marshall JD, Brooks R, Lajtha K (1994) Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. Em: Lajtha K e RM Michener (eds) Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Scientific, Oxford, pp 22-60
- Martínez ML, Psuty NP, Lubke RA (2003) What are sand dunes? - Perspective on coastal dunes. Em: Martínez ML, Psuty NP (eds) Coastal Dunes Ecology and Conservation 171 Springer. Verlag Berlin Heidelberg, New York, pp 3-10
- Meerbeek KV, Appels L, Dewil R, Calmeyn A, Lemmens P, Muys B, Hermy M (2015) Biomass of invasive plant species as a potential feedstock for bioenergy production. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 9:273-282
- Mendes J (2011) Compostagem de invasoras de *Acacia longifolia* e *Acacia melanoxylon*. Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima do Instituto Politécnico de Viana do Castelo
- Mooney HA, Hobbs RJ (2000) Introduction. Em: Mooney HA , Hobbs RJ (eds) Invasive species in a changing world. Island Press, Washington, DC , pp 13-17
- Moore K (2002) A plague of plants - controlling invasive plants in Santa Cruz county. Wildlands Restoration Team, Santa Cruz, pp 21
- Novoa A, González L, Moravcová L, Pyšek P (2013) Constraints to native plant species establishment in coastal dune communities invaded by *carpobrotus edulis*: Implications for restoration. *Biological Conservation* 164:1–9
- Peperkorn R, Werner C, Beyschlag W (2005) Phenotypic plasticity of an invasive *Acacia* versus two native Mediterranean species. *Functional Plant Biology* 32:933–944
- Petiot C, Guardia A (2004) Composting in a laboratory reactor: A Review. *Compost Science & Utilization* 12:69-79
- Pietro M, Paola C (2004) Thermal analysis for the evaluation of the organic matter evolution during municipal solid waste aerobic composting process. *Thermochimica Acta* 413:209-214
- Preston T, Owens NJP (1983) Interfacing an automatic elemental analyzer with an isotope ratio mass spectrometer: the potential for fully automated total nitrogen and nitrogen-15 analysis. *Analyst* 108:971–977
- Queda ACFC (1999) Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Dissertação em Engenharia Agro-Industrial, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia
- Rascher KG, Große-Stoltenberg A, Máguas C, Werner C (2011) Understory invasion by *Acacia longifolia* alters the water balance and carbon gain of Mediterranean Pine Forest. *Ecosystems* 14:904-919
- Rascher KG, Hellmann C, Máguas C, Werner C (2012) Community scale ¹⁵N isoscapes: tracing the spatial impact of an exotic N₂-fixing invader. *Ecology Letters* 15:484:491

- Rascher KG, Máguas C, Werner C (2010) On the use of phloem sap $\delta^{13}\text{C}$ as an indicator of canopy carbon discrimination. *Tree Physiology* 0:1-16
- Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (1996a) Nutrição Vegetal e Solos. Em: Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (eds) *Biologia Vegetal*, 5th edn. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp 560-573
- Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (1996b) Fungos. Em: Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (eds) *Biologia Vegetal*, 5th edn. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp 192-225
- Ryckeboer J, Mergaert J, Vaes K, Klammer S, De Clercq D, Coosemans J, Insam H, Swings J (2003) A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology* 53:349-410
- Saludes RB, Iwabuchi K, Kayanuma A, Shiga T (2007) Composting of dairy cattle manure using a thermophilic-mesophilic sequence. *Biosystems Engineering* 98:198-205
- Shaw D (2016) Controlo natural de plantas invasoras. Invasoras. <http://invasoras.pt/trichilogaster-acaciaelongifoliae-controlo-natural-acacia-de-espigas/>. Acedido a 3 Junho de 2016
- Simberloff D, Martin JL, Genovesi P, Maris V, Wardle DA, Aronso J, Courchamp F, Galil B, García-Berthou E, Pascal M, Pysek P, Sousa R, Tabacchi E, Vilà M (2012) Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution* 28:58-66.
- Snowdon P, Raison J, Keith H, Ritson P, Grierson P, Adams M, Montagu K, Bi H, Burrows W, Eamus D (2002) Protocol for sampling tree and stand biomass. Technical report 31:6-26
- Torstensson L (1980) Role of microorganisms in decomposition. Em: Hance RJ (ed) *Interactions Between Herbicides and the soil*, Academic Press Inc., Nova Iorque, pp 159-178
- Ulm F (2013) Below ground processes of a native and an invasive legume as a driver for nitrogen distribution on community scale. Dissertação em Biologia da Conservação, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências
- Ulm F, Hellmann C, Cruz C, Máguas C (2016) N/P imbalance as a key driver for the invasion of oligotrophic dune systems by a woody legume. *Oikos* 000: 001–010
- Van Laar A, Theron JM (2004) Equations for predicting the biomass of *Acacia cyclops* and *Acacia saligna* in the western and eastern Cape regions of South Africa Part 1: Tree-level models. *The Southern African Forestry Journal* 201(1):25-34
- Wang C, Zhou J, Xiao H, Liu J, Wang L (2016) Invasive plants affect the community structure of soil N-fixing bacteria. *Academic Journal of Splied Sciences Research* 1:34-40.
- Wang Y, Pang L, Liu X, Wang Y, Zhou K, Luo F (2016) Using thermal balance model to determine optimal reactor volume and insulation material needed in a laboratory-scale composting reactor. *Bioresource Technology* 206:164-172
- Weiner J (2004) Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6:207-215

Werner C, Zumkier U, Beyschlag W, Máguas C (2010) High competitiveness of a resource demanding invasive acacia under low resource supply. *Plant Ecol* 206:83-96

Wrigley J, Fagg M (1996) *Australian native plants*. Reed Books Pty Ltd (4thed) Em: ANBG (2016) *Acacia longifolia*. <http://www.anbg.gov.au/acacia/species/A-longifolia.html>. Acedido a 20 Agosto 2016

Young SL, Golpalakrishnan G, Keshwani DR (2011) Invasive plant species as a potencial bioenergy producers and carbon contributors. *Journal of soil and water conservation* 66(2):45A-55A

Anexos

Anexo I – Caracterização da população de *A.longifolia* amostrada

Tabela A1 - Registo das medidas alométricas correspondentes a cada indivíduo de *A. longifolia* amostrado. (DAS – diâmetro à altura do solo; C1 e C2 – 2 medidas da Copa)

Nº Indivíduo	Altura (m)	C1 (m)	C2 (m)	DAS (cm)	Dia
1	2,88	3,30	3,10	5	8.02.2016
2	2,60	2,70	2,05	5	8.02.2016
3	3,74	4,65	3,90	15	9.02.2016
4	2,68	2,64	2,63	7	9.02.2016
5	2,15	1,80	1,60	5	9.02.2016
6	4,32	2,88	2,78	9	12.02.2016
7	3,97	3,60	4,80	10	12.02.2016
8	3,70	3,72	3,1	10	19.06.2016
9	3,45	2,5	2,3	6	19.06.2016
10	3,36	2,5	2,45	7	19.06.2016
11	7,54	4,49	3,97	18	20.06.2016
12	5,17	2,05	1,63	9	20.06.2016
13	4,28	3,1	2,7	9	20.06.2016
14	4,20	2,7	2,9	11	21.06.2016
15	3,38	4,4	4,9	11	21.06.2016
16	3,90	3,3	3,2	6	21.06.2016
17	6,20	4,8	4,47	20	27.06.2016
18	3,90	2,7	2,47	10	27.06.2016
19	2,95	1,49	1	4	27.06.2016
20	4,10	2,56	2,27	4	27.06.2016
21	4,30	2,1	1,97	5	28.06.2016
22	3,01	1,78	1,6	2	28.06.2016
23	4,15	3,69	3,23	9	28.06.2016
24	2,33	1,76	1,75	4	28.06.2016
25	7,23	2,45	2,03	8	28.06.2016
26	2,70	1,8	1,3	4	29.06.2016
27	3,90	2,21	1,67	2	29.06.2016
28	2,95	3,93	3,08	2	29.06.2016
29	3,97	2	1,27	3	29.06.2016
30	3,20	2,6	2,3	7	29.06.2016

Anexo II – Correlações entre as variáveis registradas na elaboração do modelo de *A. longifolia*

Tabela A2 -Resultados das correlações de Spearman entre as diferentes variáveis de medidas alométricas (Altura, Copa, DAS e Volume) e os valores de Biomassa (Kg). (DAS - diâmetro à altura do solo; B - Biomassa; V – Volume; Coef – Coeficiente; Sig - significância)

			Altura	Copa	DAS	B Troncos	B Ramos	B Folhas	B Total	V Cone	V Meia Esfera Alongada	V Cilindro
rô de Spearman	Altura	Coef. Correlação	1,000	,313	,532**	,529**	,457*	,310	,469**	,551**	,551**	,650**
		Sig. (bilateral)	.	,092	,003	,003	,011	,096	,009	,002	,002	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Copa	Copa	Coef. Correlação	,313	1,000	,696**	,899**	,903**	,943**	,935**	,936**	,936**	,635**
		Sig. (bilateral)	,092	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
DAS	DAS	Coef. Correlação	,532**	,696**	1,000	,818**	,793**	,726**	,814**	,740**	,740**	,967**
		Sig. (bilateral)	,003	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
B Troncos	B Troncos	Coef. Correlação	,529**	,899**	,818**	1,000	,932**	,880**	,975**	,958**	,958**	,816**
		Sig. (bilateral)	,003	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
B Ramos	B Ramos	Coef. Correlação	,457*	,903**	,793**	,932**	1,000	,942**	,978**	,899**	,899**	,767**
		Sig. (bilateral)	,011	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
B Folhas	B Folhas	Coef. Correlação	,310	,943**	,726**	,880**	,942**	1,000	,952**	,883**	,883**	,677**
		Sig. (bilateral)	,096	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
B Total	B Total	Coef. Correlação	,469**	,935**	,814**	,975**	,978**	,952**	1,000	,947**	,947**	,792**
		Sig. (bilateral)	,009	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
V Cone	V Cone	Coef. Correlação	,551**	,936**	,740**	,958**	,899**	,883**	,947**	1,000	1,000**	,742**
		Sig. (bilateral)	,002	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	.	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
V Meia Esfera Alongada	V Meia Esfera Alongada	Coef. Correlação	,551**	,936**	,740**	,958**	,899**	,883**	,947**	1,000**	1,000	,742**
		Sig. (bilateral)	,002	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	.	,000
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
V Cilindro	V Cilindro	Coef. Correlação	,650**	,635**	,967**	,816**	,767**	,677**	,792**	,742**	,742**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.
		n° amostras	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral). * . A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Anexo III – Resultados do modelo múltiplo de regressão linear

Tabela A3, A4, A5 - Resultados do modelo de regressão linear múltiplo para a previsão da biomassa de *A. longifolia* utilizando a variável Volume da Meia Esfera Alongada (Equação 5). (DAS – diâmetro a altura do solo; R – Coeficiente de Pearson; gl – graus de liberdade; F – estatística de teste; B – Valores da Regressão; t – estatística de teste)

A8 - Sumarização do modelo^b

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,923 ^a	,852	,835	5,90613

a. Preditores: (Constante), Copa, Altura, DAS

b. Variável Dependente: Biomassa Total

A9 - ANOVA^a

Modelo		Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	p-value
1	Regressão	5222,868	3	1740,956	49,909	,000 ^b
	Resíduo	906,942	26	34,882		
	Total	6129,810	29			

a. Variável Dependente: BiomassaTotal

b. Preditores: (Constante), Copa, Altura, DAS

A10 - Coeficientes^a

Modelo	Coef não padronizados		Coef. padronizados	t	p-value	95,0% Intervalo de Confiança para B		Correlações			Estatísticas de colinearidade	
	B	Erro Padrão				Beta	Limite inferior	Limite superior	Ordem zero	Parcial	Parte	Tolerância
1 (Constante)	-25,679	4,747		-5,410	,000	-35,437	-15,922					
Altura	2,491	1,126	,218	2,213	,036	,177	4,804	,628	,398	,167	,585	1,708
DAS	1,345	,457	,403	2,947	,007	,407	2,284	,868	,500	,222	,304	3,292
Copa	6,728	1,732	,445	3,885	,001	3,169	10,287	,820	,606	,293	,435	2,300

a. Variável Dependente: Biomassa Total

Anexo IV – Imagens reais do sistema de aquecimento



Figura A1 -Uma das metades simétricas do sistema da experiência AQ, na qual é possível observar 8 reatores



Figura A2 - Cestos de rede utilizados na experiência AQ. Estes encontravam-se dentro dos reatores, e dentro destes encontrava-se o material vegetal em decomposição

Anexo V – Experiência SAQ

Tabela A6 - Resultado da comparação entre tratamentos na experiência SAQ para o período inicial- Teste de Kruskal-Wallis

Estatísticas de teste ^{a,b}						
	T °C	MO	WC	N	C	C/N
Qui-quadrado	2,489	,800	,089	,089	2,489	,267
gl	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,288	,670	,957	,957	,288	,875

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento: tratamento

Tabela A7 -Resultado da comparação entre tratamentos na experiência SAQ para o período intermédio- Teste de Kruskal-Wallis

Estatísticas de teste ^{a,b}						
	T °C	N	C	C/N	MO	WC
Qui-quadrado	1,067	,622	2,222	,800	2,510	2,489
gl	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,587	,733	,329	,670	,285	,288

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento: Tratamento

Tabela A8 -Resultado da comparação entre tratamentos na experiência SAQ para o período final- Teste de Kruskal-Wallis

Estatísticas de teste ^{a,b}						
	T °C	MO	WC	N	C	C/N
Qui-quadrado	,622	2,756	1,689	1,156	,000	1,867
gl	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,733	,252	,430	,561	1,000	,393

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento: tratamento

Tabela A9 - Comparação os valores iniciais e finais para a experiência SAQ e tratamento Controlo. Resultado do teste wilcoxon

	T °C final - T °C inicial	N final - N inicial	C final - C inicial	C/N final - C/N inicial	MO final - MO inicial	CH final - CH inicial
Z	-1,604 ^b	-1,604 ^b	-1,069 ^b	-1,604 ^c	-1,604 ^b	-1,604 ^b
Significância Assint. (Bilateral)	,109	,109	,285	,109	,109	,109

Tabela A10 - Comparação os valores iniciais e finais para a experiência SAQ e tratamento Folhada. Resultado do teste wilcoxon

	T °C final - T °C inicial	N final - N inicial	C final - C inicial	C/N final - C/N inicial	MO final - MO inicial	WC final - WC inicial
Z	-1,604 ^b	-,535 ^b	-,535 ^c	-,535 ^c	,000 ^d	,000 ^d
Significância Assint. (Bilateral)	,109	,593	,593	,593	1,000	1,000

Tabela A11 - Comparação os valores iniciais e finais para a experiência SAQ e tratamento *enhancer*. Resultado do teste wilcoxon

	T °C final - T °C inicial	N final - N inicial	C final - C inicial	C/N final - C/N inicial	MO final - MO inicial	WC final - WC inicial
Z	-1,604 ^b	-,535 ^b	,000 ^c	-,535 ^d	,000 ^c	-1,604 ^b
Significância Assint. (Bilateral)	,109	,593	1,000	,593	1,000	,109

Anexo VI – Experiência AQ

Tabela A12 - Resultado da comparação entre tratamentos na experiência AQ para o período inicial- Teste de Kruskall-Wallis

	T °C	MO	CH	N	C	T °C - 2	pH	C/N
Qui-quadrado	,260	9,260	2,220	2,489	6,489	1,423	5,180	3,822
gl	2	2	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,878	,010	,330	,288	,039	,491	,075	,148

Tabela A13- Resultado da Comparação múltipla de Medianas para amostras independentes que permite averiguar entre que tratamento há diferenças significativas. para as variáveis MO e C

	MO		C	
	E.T.	p-value	E.T.	p-value
Controlo- Folhada	4,837878	0,000	2,967581	0,025
Controlo- Enhancer	2,250176	0,044	2,085327	0,082
Folhada- Enhancer	2,587702	0,024	5,052909	0,002

Tabela A14 - Resultado da comparação entre tratamentos na experiência AQ para o período intermédio- Teste de Kruskall-Wallis

	T °C	pH	MO	CH	N	C	C/N
Qui-quadrado	4,170	4,880	8,720	5,660	,267	4,356	,267
gl	2	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,124	,087	,013	,059	,875	,113	,875

Tabela A 15 - Resultado da Comparação múltipla de Medianas para amostras independentes que permite averiguar entre que tratamentos há diferenças significativas para a variável MO

	MO	
	E.T.	p-value
Controlo-Folhada	4,050814	0,002
Controlo-Enhancer	3,624412	0,003
Folhada-Enhancer	0,426401	0,677

Tabela A16 - Resultado da comparação entre tratamentos na experiência AQ para o período final- Teste de Kruskal-Wallis

Estatísticas de teste ^{a,b}								
	T °C	MO	WC	%C 1,8	N	C	C/N	pH
Qui-quadrado	3,860	5,820	5,780	5,820	,622	3,822	,622	,140
gl	2	2	2	2	2	2	2	2
Significância Assint.	,145	,054	,056	,054	,733	,148	,733	,932

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento: Tratamento

Anexo VII – Evolução do material vegetal em SAQ e AQ ignorando tratamentos

Tabela A17 - Comparação os valores iniciais e finais para a experiência SAQ. Resultado do teste wilcoxon para amostras emparelhadas, ignorando diferenciação por tratamentos

	T °C final - T °C inicial	N final - N inicial	C final - C inicial	C/N final - C/N inicial	MO final - MO inicial	CH final - CH inicial
Z	-2,666 ^b	-1,481 ^b	-,415 ^b	-1,718 ^c	-1,244 ^b	-1,718 ^b
Significância Assint. (Bilateral)	,008	,139	,678	,086	,214	,086

Tabela A18 - Comparação os valores iniciais e finais para a experiência AQ. Resultado do teste wilcoxon para amostras emparelhadas, ignorando diferenciação por tratamentos

Estatísticas de teste^a

	T °C final - T °C inicial	MO final - MO inicial	pH final - pH inicial	N final - N inicial	C final - C inicial	C/N final - C/N inicial	CH final - CH inicial
Z	-2,981 ^b	-,114 ^b	-3,237 ^c	-2,310 ^c	-1,362 ^b	-2,547 ^b	-3,408 ^c
Significância Assint. (Bilateral)	,003	,910	,001	,021	,173	,011	,001

- a. Teste de Postos Assinados por Wilcoxon
- b. Com base em postos negativos.
- c. Com base em postos positivos.