

• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Contribuição para a caracterização da biomassa florestal arbustiva

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

Contribution to the characterization of shrub biomass

Autor

Jorge Santos Ribeiro

Orientadores

Domingo Xavier Filomeno Carlos Viegas

António Torres Marques

Júri

| | |
|------------|--|
| Presidente | Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo Professor Associado da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro |
| Vogais | Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor António Torres Marques Professor Catedrático da Universidade de Porto Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos |
| Orientador | Viegas Professor Catedrático da Universidade de Coimbra |

Colaboração Institucional



Associação para o
Desenvolvimento
Industrial



Instituto de Ciência e
Inovação em
Engenharia Mecânica
e Engenharia
Industrial

Coimbra, Setembro, 2016

Grandes coisas são feitas quando os homens e a montanha se encontram

WILLIAM BLAKE

Agradecimentos

Por todo o trabalho de investigação realizado no âmbito desta dissertação e as pontes do conhecimento aqui atravessadas deixo agradecimento solene.

Ao Professor Domingos Viegas pelo apoio, carácter e orientação.

A equipa toda da ADAI.

Ao mentor da Universidade do Porto, Professor António Torres Marques e aos colegas da FEUP e INEGI.

À equipa do CBE pela cooperação e disponibilidade.

Agradeço aos meus pais pela visão de um futuro e a perseverança do presente.

Resumo

Biomassa florestal é um recurso renovável passível de aproveitamento e com crescente valorização económica. O presente estudo pretende caracterizar combustíveis florestais e biomassa provenientes de espécies arbustivas e verificar a viabilidade de integração destes em sistemas de aproveitamento energético. Como tal são desenvolvidos modelos alométricos para avaliação da carga de combustível florestal por forma a quantificar disponibilidade de biomassa em termos de produção florestal e avaliar percentagens de coberto vegetal relativamente a espécies arbustivas tais como: *Erica sp.*, *Chamaespartium Tridentatum* e *Cytisus sp.* Estes modelos são suportados por dados recolhidos em ensaios de campo e pela literatura, sendo que se recorre nos ensaios à avaliação da percentagem coberto vegetal pelo Método Linha Interceção (MLI) e à determinação da densidade aparente (kg/m^3). Estes parâmetros são obtidos por meio de ensaios laboratoriais e comparados com dados da literatura por forma a validar os resultados. No decorrer do presente trabalho é feita também uma análise sobre as fases de crescimento de arbustos tendo em vista uma otimização em ciclos de colheita focando os padrões de carga típicos destas espécies.

Palavras-chave: Biomassa arbustiva, Carga combustível, Modelos alométricos.

Abstract

Forest biomass is a natural renewable resource with an increasing economic valorisation. The present study focus shrub fuel characterization regarding its potential for integration in energy production systems. Therefore, there are developed allometric models to predict forest fuel load supported by data collected from field experiments in order to ascertain about biomass availability and to check the feasibility of exploitation as a product. The shrub fuel characterization and load determination techniques are assessed resourcing to an evaluation of the cover percentage of shrub species such as *Erica sp.*, *Chamaespartium Tridentatum*, *Cytisus sp.* The evaluation follows the Line Intersect Method (MLI) and determination of fuel bulk density. The data retrieved from the experiments is compared with other studies reference in order to validate the results. In this studies there is also an analysis of the shrubs growing phases regarding the optimization in harvesting cycles and the growth patterns adjacent to this species.

Keywords Shrub biomass, Fuel load, Allometric models.

Índice

| | |
|---|------|
| Índice de Figuras | xi |
| Índice de Tabelas | xiii |
| Simbologia e Siglas..... | xv |
| Simbologia | xv |
| Siglas | xv |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Contextualização..... | 1 |
| 1.2. Conceitos Introdutórios..... | 2 |
| 2. ÁREAS GEOGRÁFICAS E ESPÉCIES EM ESTUDO | 9 |
| 3. METODOLOGIA E MODELAÇÃO | 11 |
| 3.1. Método da Linha de Interceção e Percentagem de Ocupação | 11 |
| 3.2. Densidade Aparente | 14 |
| 3.3. Carga de Combustível..... | 16 |
| 3.3.1. Modelos Alométricos..... | 16 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4.1. Alturas médias e Percentagem de Ocupação | 19 |
| 4.2. Densidade Aparente | 21 |
| 4.3. Carga de Combustível..... | 22 |
| 4.3.1. Modelos Alométricos..... | 23 |
| 5. CONCLUSÕES | 29 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |
| ANEXO A – dados completos dos ensaios em Arouca..... | 33 |
| ANEXO B – dados completos dos ensaios em Castanheira de Pêra | 35 |
| APÊNDICE A – Artigo publicado em Conferência de Engenharia Mecânica, Porto 2016 | 37 |
| APÊNDICE B – Folha escalonada para registo alturas e comprimentos unitários | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. <i>Chamaespartium Tridentatum</i> (Carqueja)..... | 5 |
| Figura 1.2. <i>Cytisus Striatus</i> (Giesta) | 6 |
| Figura 1.3. a) <i>Erica Australis</i> (Urze), b) <i>Erica Umbellata</i> (Urze)..... | 6 |
| Figura 1.4. Ilustração das fases de crescimento típicas de arbustos adaptada de Baeza <i>et al.</i> (2006)..... | 7 |
| Figura 2.1. Geolocalização das áreas de estudo..... | 9 |
| Figura 2.2. Locais de amostragem: a) Castanheira de Pêra, b) Arouca..... | 9 |
| Figura 3.1. Disposição de linha transecto em parcela para realização ensaio campo seguindo MLI..... | 11 |
| Figura 3.2. Ilustração da projeção da área basal de arbustos adaptada de Canfield (1941).12 | |
| Figura 3.3. Inventariação das alturas médias | 14 |
| Figura 3.4. Preparação amostragem destrutiva para realização ensaio Densidade aparente15 | |
| Figura 4.1. Variação da Altura média com a Idade do manto para espécies Carqueja e Urze | 19 |
| Figura 4.2. Comparação resultados de ensaios de Densidade aparente com dados ADAI..22 | |
| Figura 4.3. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja para Idades de manto até 8 anos e ajustada por regressão potencial | 23 |
| Figura 4.4. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja com a Idade do manto ajustada por regressão potencial | 24 |
| Figura 4.5. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja com a Idade do manto ajustada por regressão polinomial de terceiro grau | 25 |
| Figura 4.6. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie urze com a Idade do manto ajustada por regressão polinomial de terceiro grau | 26 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1. Valores do Poder Calorífico Superior de espécies arbustivas..... | 3 |
| Tabela 2.1. Data dos ensaios e localização das parcelas de estudo. | 10 |
| Tabela 3.1. Locais de amostragem..... | 13 |
| Tabela 4.1. Resultados da Inventariação de Alturas médias por espécie..... | 19 |
| Tabela 4.2. Resultados Percentagem de Ocupação por espécie..... | 20 |
| Tabela 4.3. Resultados ensaios de Densidade aparente por espécie | 21 |
| Tabela 4.4. Resultados do cálculo da Carga de Combustível | 23 |
| Tabela 4.5. Equações polinomiais de 3º grau ajustadas..... | 27 |

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

PO – Percentagem de Ocupação por espécie (%)

C_e – Comprimento por espécie (m)

C_t – Comprimento Total (m)

CC – Carga Combustível (kg/m^2)

ρ_t – Densidade aparente condição húmida (kg/m^3)

A – Altura (m)

AR – Área (m^2)

A_m – Altura média (m)

m_t – Massa base húmida (kg)

m – Massa base seca (kg)

V_t – Volume base húmida (m^3)

V – Volume base seca (m^3)

Y – Variável dependente

X – Variável independente

$\alpha, \beta, a, b, c, d$ – Parâmetros de regressão

R^2 – Coeficiente de regressão

PCS – Poder Calorífico Superior (MJ/kg)

PCI – Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)

Siglas

UC – Universidade de Coimbra

UP – Universidade do Porto

ADAI – Associação para Desenvolvimento Aerodinâmica Industrial

INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CEM 2016 – Conferência de Engenharia Mecânica 2016

LAETA – Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica

CBE – Centro da Biomassa para a Energia

MLI – Método Linha Interceção

CHT – Chamaespartium Tridentatum

ERS – Erica Sp.

ERA – Erica Australis

ERU – Erica Umbellata

CYS – Cytisus Striatus

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A biomassa florestal é um recurso renovável passível de aproveitamento. No âmbito do Projeto FLORESTA e BIOMASSA, uma colaboração LAETA que contou com a participação de equipas da ADAI, Universidade de Coimbra e INEGI, Universidade do Porto, foi proposto estudar a produção de biomassa de forma a perceber a viabilidade de aproveitamento deste recurso endógeno, promovendo medidas preventivas para redução do risco de incêndio focadas na exploração de combustíveis florestais. Decorrem deste projeto publicações (APÊNDICE A – Artigo publicado em Conferência de Engenharia Mecânica, Porto 2016) na CEM 2016 que teve lugar na FEUP.

O coberto vegetal da floresta nacional é todos os anos transformado pela intervenção do fogo e decorre desta constatação a necessidade de promover abordagens preventivas para a promoção da manutenção sustentável dos povoamentos florestais. A manutenção florestal é árdua e agravada por obstáculos como o ordenamento territorial onde propriedades privadas com parcelas de pequena dimensão dificultam a exploração. A desvalorização dos recursos promove também dificuldades de exploração para proprietários incitando abandono das culturas florestais.

A exploração da biomassa florestal é apresentada como medida estrutural de redução do risco de ignição e propagação de fogo, permitindo reduzir as cargas de combustível florestal.

No sentido do controlo da carga combustível evoca-se a produção de biomassa para fins energéticos. As espécies de crescimento rápido são tomadas como preferenciais para produção contribuindo com ciclos produção curtos e difundindo a valorização económica deste recurso.

O presente trabalho tem como objetivos:

- Inventariação da vegetação dos territórios de estudo com identificação das espécies arbustivas predominantes e pioneiras na regeneração após fogo;
- Quantificação da carga de combustível relativamente às espécies identificadas;
- Implementação de modelos matemáticos capazes de descrever a evolução da carga combustível florestal e o grau de crescimento das espécies ao longo do seu ciclo de vida;
- Verificação da influência em termos de fixação e distribuição da ocupação;
- Identificação das diferentes fases de crescimento das espécies e encadeamento de ciclos de recolha de biomassa;
- Sugestão de medidas para rentabilização de ciclos de produção de biomassa arbustiva.

Neste trabalho começa-se por rever o conceito de valorização da biomassa abordando a contextualização económica do recurso e as tendências de consumo e aproveitamento. No decorrer dos capítulos são introduzidas a metodologia, explicitando as técnicas experimentais e teóricas elegidas, e as áreas de estudo onde foram conduzidos os ensaios visando transpor a significância de difundir estudos de cargas combustível em zonas de interface urbano florestal e a sua importância na prevenção e redução do risco de incêndio florestal. No final é feita a análise conclusiva sobre a produção deste recurso integrando os resultados obtidos e as considerações de ciclo de vida das espécies estudadas.

1.2. Conceitos Introdutórios

No sentido de redução do risco de incêndio é promovida a exploração da biomassa florestal. A sua procura tem aumentado face às tendências de aumento de consumo de energia final. É expectável um aumento anual de 0,4% do consumo de energia final até 2030 em países desenvolvidos de acordo com Mabee & Saddler (FAO, 2007). Face aos atuais protocolos para a redução de emissões de gases poluentes, ocorre a necessidade de utilização de fontes de energia renovável. A exploração continuada de biomassa apresenta elevada eficiência em ciclos de fixação de carbono e o emprego de espécies de crescimento

rápido é uma solução a considerar visando a redução de emissões e a independência energética nacional. As recentes políticas nacionais ENE2020 incentivam a utilização de biomassa florestal para geração de energia (RCM nº 29/2010) em sistemas domésticos de potência reduzida para geração de calor, mas também na indústria e serviços em sistemas de cogeração e centrais termoelétricas dedicadas, sendo que é expetável uma potência instalada de 769 MW (RCM nº 20/2013) até 2020 e uma Taxa Crescimento Média Anual superior a 35%, de acordo com o Relatório do Grupo de Trabalho Biomassa (2013) da Assembleia da República. Em Portugal existem atualmente diversas centrais termoelétricas alimentadas a biomassa, tais como Central do Ródão, Figueira da Foz, Mortágua, entre outras.

A biomassa é então apresentada como um combustível, nas temáticas de incêndio florestal e produção energética.

Os combustíveis florestais regem o comportamento do fogo e as suas propriedades termo-físico-químicas delimitam o seu potencial de risco. A avaliação do risco de ignição e propagação é determinada segundo características dos combustíveis, sendo a humidade e o poder calorífico parâmetros de importância acrescida no âmbito de uma análise assertiva das condições de risco incêndio assim como as condições meteorológicas. Além das propriedades dos combustíveis, a sua distribuição e densidade de ocupação em povoamentos florestais condicionam a propagação em situação de incêndio.

Os elevados valores de poder calorífico evidenciam taxas de conversão em energia elétrica ótimas e promovem a sustentabilidade na exploração e valorização da biomassa. Na Tabela 1.1 estão indicados valores de Poder Calorífico Superior (PCS) relativamente às espécies arbustivas em estudo. Os dados são provenientes de diversos autores, sendo que a sua determinação deriva de diversas metodologias, entre elas a espectroscopia de infravermelho próximo e combustão em bomba calorimétrica de oxigénio.

Tabela 1.1. Valores do Poder Calorífico Superior de espécies arbustivas

| Espécie | Poder Calorífico Superior [MJ/kg] | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Reva <i>et al.</i> (2010) | Viana <i>et al.</i> (2009) | Viana <i>et al.</i> (2012) | Gillon <i>et al.</i> (1997) | Doat <i>et al.</i> (1981) | Hernando <i>et al.</i> (1989) |
| <i>Erica sp.</i> | 21,43 | 23,45 | 24,12 | 23,28 | 24,06 | x |
| <i>Cytisus Striatus</i> | 20,20 | 18,67 | x | x | x | x |
| <i>Chamaespartium Tridentatum</i> | 20,91 | x | 21,37 | x | x | 22,40 |

Nas reações de combustão os reagentes oxidam dando origem a produtos e no decorrer da reação ocorre libertação de calor. O PCS é o calor de combustão calculado assumindo que toda a água nos produtos condensou, ou seja, que se encontra no estado líquido. Por outras palavras o PCS não só considera a energia sob a forma de calor libertado na reação, mas também a energia associada à condensação da água. O calor libertado determina as temperaturas que a reação de combustão atinge, a composição ponderal do reagente ou combustível assim como a atmosfera e o respetivo teor de humidade, influenciam a sua taxa de libertação.

A gestão da manutenção da floresta é complexa, a produção de biomassa contribui para um controlo das cargas de combustível florestal e é tida como medida preventiva. No sentido de produção florestal é necessário aprofundar métodos de predição de biomassa para espécies pioneiras e de crescimento rápido, visto serem capazes de gerar ciclos de produção curtos, contribuindo para a rentabilização do processo. Como tal podem ser integradas várias técnicas de quantificação da disponibilidade de biomassa e/ou carga combustível. Os métodos de estimação de biomassa recorrem à inventariação da vegetação com caracterização da mesma por forma a aferirem acerca da sua abundância. A biomassa é dependente da área de ocupação e altura das plantas.

Considerando que as características do leito de combustível traduzem que toda a carga disponível seja passível de ser consumida em situação de incêndio florestal, podemos denominar os combustíveis arbustivos em estudo como combustíveis potenciais. Deste modo é possível fazer analogia entre biomassa e carga de combustível que no limite adquirem o mesmo significado, ou seja, a biomassa proveniente de uma exploração florestal até recolhida, é reconhecida como combustível potencial e a sua carga (kg/m^2) será no momento da recolha a mesma da biomassa disponível nessa área. Esta analogia é estabelecida considerando que o leito de combustível é apenas composto por organismos vivos, ou seja, a percentagem de matéria morta é residual (inferior 5%).

A predição de carga pode ser ajustada em equações de regressão sendo que os modelos alométricos apresentam ajustamentos consistentes, validados pela literatura Viana *et al.* (2009). Entende-se como alometria a medida ou estudo do crescimento de parte de um organismo em relação a um conjunto. No âmbito do presente trabalho os modelos alométricos pretendem simular, recorrendo a características da vegetação, o crescimento de combustíveis florestais arbustivos.

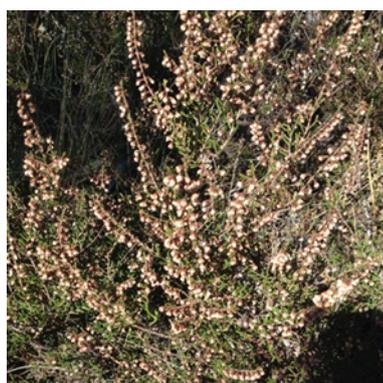
Os combustíveis do tipo arbustivo são capazes de originar fenómenos extremos de fogo em circunstâncias de carga elevada (Viegas *et al.*, 2011). No presente estudo são analisadas as espécies arbustivas *Chamaespartium Tridentatum* (Figura 1.1), *Cytisus sp.*(Figura 1.2) e *Erica sp.*(Figura 1.3), visto serem representativas do território florestal nacional. A carga de combustível florestal por espécie (kg/m^2) num dado território é determinada integrando metodologias para avaliação da percentagem de coberto vegetal e densidade aparente por espécie (kg/m^3), sendo que são desenvolvidas equações matemáticas de regressão para conceção de modelos alométricos de estimação e predição da disponibilidade de biomassa.



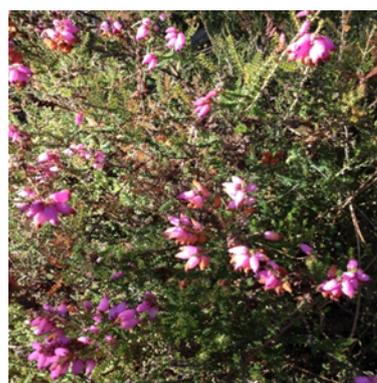
Figura 1.1. *Chamaespartium Tridentatum* (Carqueja)



Figura 1.2. *Cytisus Striatus* (Giesta)



a)



b)

Figura 1.3. a) *Erica Australis* (Urze), b) *Erica Umbellata* (Urze)

O estado vegetativo dos estratos sofre evolução ao longo do tempo de vida e ocorre degeneração e subsequente decaimento da carga de combustível relativamente às espécies arbustivas. Segundo Hobbs & Gimingham (1984) podemos classificar os povoamentos de dada espécie de acordo com as fases de crescimento de pioneiro, em desenvolvimento, maduro e degenerativo. Estes termos surgem no âmbito de recolonização após fogo, onde uma vasta gama de fatores influencia a fixação, desenvolvimento e proliferação de espécies pioneiras com afetação na produção e representatividade das cargas de combustível. Na Figura 1.4 adaptada de Baeza *et al.* (2006), encontram-se esboçadas as

diferentes fases de crescimento típicas do ciclo de vida de arbustos onde na fase final se visualiza degeneração.

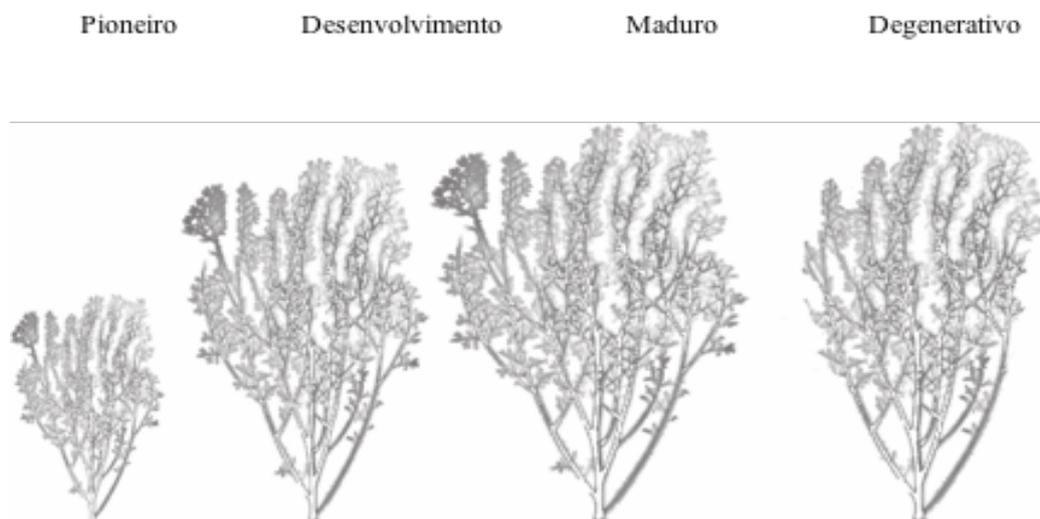


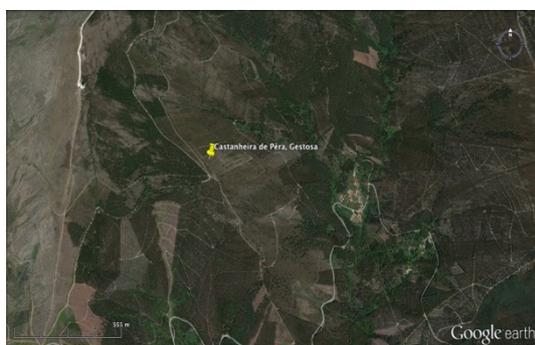
Figura 1.4. Ilustração das fases de crescimento típicas de arbustos adaptada de Baeza *et al.* (2006)

2. ÁREAS GEOGRÁFICAS E ESPÉCIES EM ESTUDO

Os territórios de estudo estão localizados a Norte (Arouca) e Centro (Castanheira de Pêra) de Portugal continental (Figura 2.1). A geomorfologia das áreas de estudo é complexa, sendo característico destas regiões encostas de declive acentuado com decalques acidentados onde a predição da propagação de um incêndio pode tornar-se árdua ou mesmo impraticável.



Figura 2.1. Geolocalização das áreas de estudo



a)



b)

Figura 2.2. Locais de amostragem: a) Castanheira de Pêra, b) Arouca.

A composição da vegetação no estrato superficial é predominantemente arbustiva homogénea, pioneira e típica de fixação e crescimento rápido em zonas de interferência com fogo.

As áreas estão situadas em interface urbano-florestal sendo que se promove a aplicação de medidas preventivas para redução do risco incêndio florestal. A preservação do património natural e material remete para uma manutenção florestal assertiva onde a predição das cargas de combustível florestal podem contribuir para avaliar as condições de segurança.

Foram realizadas amostragens entre Fevereiro e Julho de 2016 num total de sete parcelas. As idades dos estratos amostrados variam entre 1 a 11 anos.

Na Tabela 2.1 encontram-se discriminados os locais de amostragem com respetivas idades de regeneração de estrato, datas e o número de parcelas analisadas.

Tabela 2.1. Data dos ensaios e localização das parcelas de estudo.

| Local amostragem | Idade Regeneração | Número Parcelas | Data Ensaio |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|
| C ^{nheira} de Pêra | 1 | 1 | Julho |
| C ^{nheira} de Pêra | 5 | 1 | Julho |
| C ^{nheira} de Pêra | 7 | 3 | Fevereiro |
| Arouca | 11 | 2 | Março |

3. METODOLOGIA E MODELAÇÃO

3.1. Método da Linha de Intercepção e Percentagem de Ocupação

A Percentagem de Ocupação (*PO*) que uma espécie representa é entendida como a porção (em percentagem) de solo revestido pela mesma, ou seja, pode ser interpretada como a projeção vertical das áreas basais de cada indivíduo da mesma espécie em relação a uma área total preestabelecida. É obtida a partir aplicação do MLI proposto por Canfield (1941) o qual é baseado em transectos, onde ao longo de uma linha são realizadas medições lineares e horizontais na vegetação interceptada. As medições transectais efetuadas permitem o cálculo direto da *PO*.



Figura 3.1. Disposição de linha transecto em parcela para realização ensaio campo seguindo MLI

De acordo com Canfield (1941) a ocupação percentual por espécie pode ser obtida diretamente como sendo o quociente entre a soma das medições relativas a cada

espécie e o total da medição (comprimento transecto), remetendo assim para uma razão de comprimentos com analogia ao conceito de ocupação espacial por projeção de áreas de copas.

Na Figura 3.2 encontra-se esquematizado a projeção de copas de arbustos adaptada de Canfield.

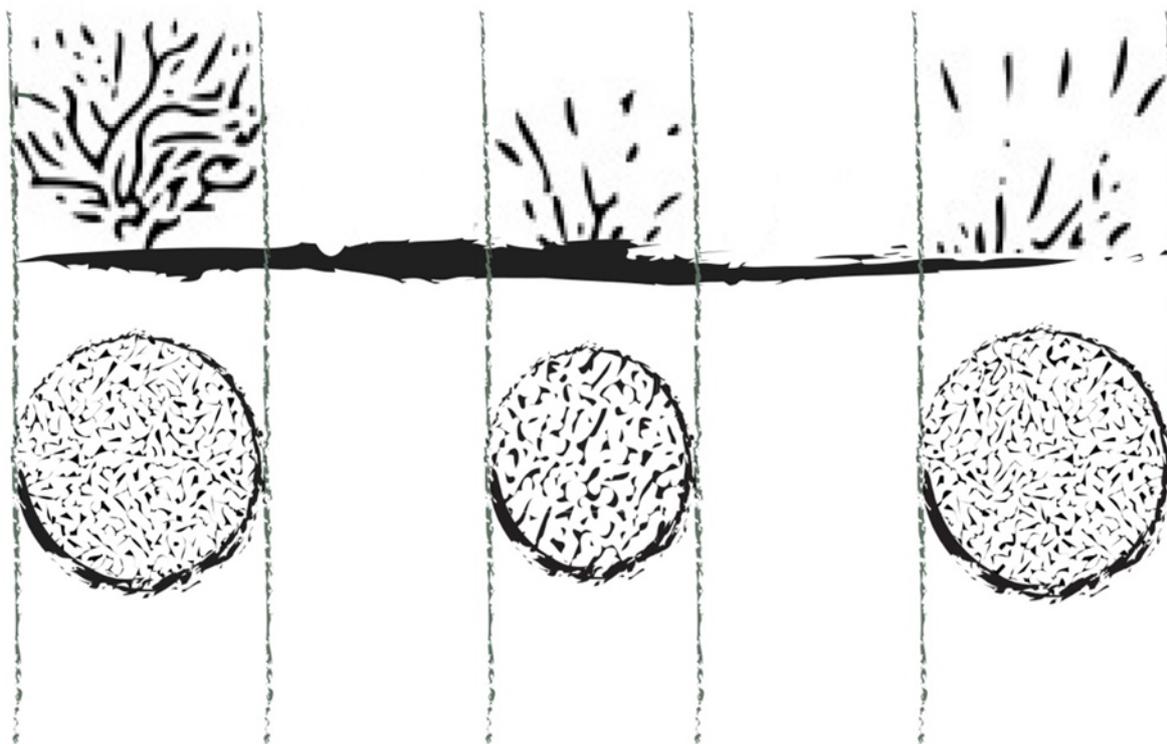


Figura 3.2. Ilustração da projeção da área basal de arbustos adaptada de Canfield (1941)

É assumido então que o comprimento unitário corresponde à projeção da área basal de um indivíduo e o comprimento total do transecto ao da área total de estudo. O MLI é referido na literatura (Reva *et al.* (2010), Viegas *et al.* (2011)) e é considerado um método eficaz e rigoroso para determinação de *PO*.

No contexto das medições transectais foram também registadas as alturas médias das espécies intercetadas com vista a integrar nos modelos de predição de carga por forma perceber evolução deste parâmetro em função da idade de regeneração do estrato e para as diferentes áreas de estudo.

O cálculo da percentagem de ocupação por espécie advém do quociente da soma das medições pelo comprimento total da linha/transecto. A Equação (3.1) permite de acordo com MLI obter a *PO* por espécie.

$$PO[\%] = \left(\frac{\sum C_e}{C_t} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Os dados do comprimento por espécie C_e são obtidos por via das somas dos comprimentos unitários, ou seja, por indivíduo, estes são registados em folha escalonada (APÊNDICE B – Folha escalonada para registo alturas e comprimentos unitários) aquando inventariação concretizada nos ensaios de campo indicados. C_t é o comprimento total com extensões de 25 e 50 m. Na Tabela 3.1 encontram-se indicadas as dimensões dos transectos executados com correspondência aos locais de amostragem, note-se que foi realizada uma medição linear por cada parcela sendo então o número de parcelas igual ao número total de transectos, ou seja, sete.

Tabela 3.1. Locais de amostragem.

| Local amostragem | Número Parcelas | Comprimento transecto [m] |
|----------------------|-----------------|---------------------------|
| C^{nheira} de Pêra | 1 | 25 |
| C^{nheira} de Pêra | 1 | 25 |
| C^{nheira} de Pêra | 3 | 50 por parcela |
| Arouca | 2 | 50 e 25 |

Na Figura 3.3 encontra-se exemplificada a recolha das alturas das espécies com recurso instrumentos de medição (fita métrica). O parâmetro Altura média A_m vai posteriormente integrar o cálculo da carga de combustível *CC*.



Figura 3.3. Inventariação das alturas médias

3.2. Densidade Aparente

A densidade aparente de um combustível sólido, ρ_t , foi obtida em base húmida, ou seja, a massa medida da amostra incluiu o valor da massa de água presente. É entendida como a razão entre a massa da amostra, m_t , e o volume ocupado pela mesma, V_t , o que é traduzido pela Equação (3.2):

$$\rho_t = m_t/V_t \quad (3.2)$$

O ensaio para determinação de ρ_t consiste na recolha de amostra destrutiva para cada espécie. A amostra é inicialmente confinada por aro sendo depois extraída com recurso a ferramentas de corte. Após remoção da parte aérea do arbusto é efetuada a medição de massa m_t . O volume da amostra V_t é retirado diretamente pelo produto da área do aro AR pela altura da amostra A . Nos ensaios realizados a amostragem é executada garantindo que o volume da amostra é variável por forma a assegurar a remoção total da parte aérea da vegetação.

Na Figura 3.4 podemos visualizar a demarcação de um indivíduo da espécie *CHT* onde é delimitada a amostra posteriormente sujeita a extração.

É entendido que o volume total da amostra inclui o volume da matéria sólida do combustível, o volume correspondente ao espaço vazio entre partes de matéria sólida e o volume associado à porosidade interna do combustível.

Os dados de volume e massa são posteriormente articulados matematicamente por forma a ser obtido resultado da densidade aparente por espécie ρ_t sendo este integrante no cálculo da carga de combustível CC .

O ensaio de densidade aparente de espécie é amplamente referido na literatura (Reva *et al.*(2010), Miranda *et al.*(2010), Viana *et al.*(2012)), no decorrer do presente trabalho são apresentados valores provenientes da base de dados da ADAI por forma a validar os resultados obtidos.

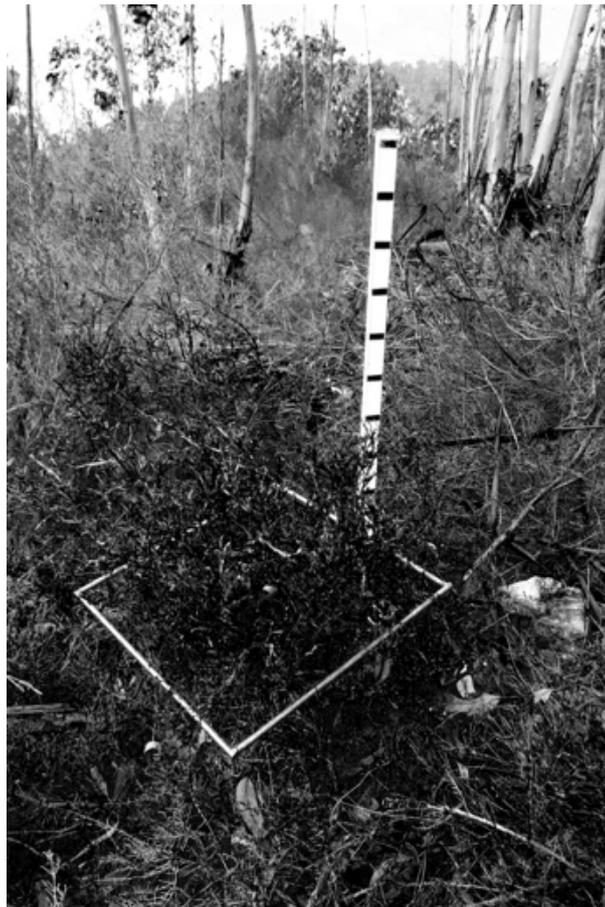


Figura 3.4. Preparação amostragem destrutiva para realização ensaio Densidade aparente

3.3. Carga de Combustível

Carga de combustível por espécie representa a quantidade de massa de material vegetal numa determinada área. É pressuposto que tratemos toda a vegetação do manto superficial como um combustível potencial, ou seja, que todo o leito de combustível presente possa ser consumido em situação de incêndio. A carga avaliada neste estudo remete para o manto superficial tipicamente ocupado por espécies arbustivas de elevada inflamabilidade. O crescimento deste tipo de vegetação segue proporcionalmente ao longo de um período tipicamente entre 3 a 10 anos onde aí atinge o seu valor máximo, após esta fase os indivíduos entram em degeneração e dá-se um decaimento na carga total. Este fenómeno poderá estar associado a diversos fatores, entre eles o desenvolvimento de espécies de grande porte com ocupação do estrato aéreo, onde as copas geram obstruções à passagem de luz solar, assim comprometendo o desenvolvimento dos estratos inferiores, também alterações externas na fauna e flora e a geomorfologia do local podem influenciar a evolução do crescimento das espécies. No entanto é impreterível que o decaimento se apresente como intrínseco ao ciclo de vida dos arbustos e deste fato se atribui a causa a sua própria genealogia. A medição efetiva da idade correspondente ao máximo de carga num dado povoamento deverá ser concretizada após a construção dos modelos alométricos apresentados no decorrer do presente estudo.

Na Equação (3.3) encontra-se a formulação matemática para o cálculo da carga de combustível por espécie.

$$CC = [\rho_t \times A_m \times PO] / 100 \quad (3.3)$$

onde:

ρ_t : Densidade aparente da espécie [kg/m³]

A_m : Altura média da espécie [m]

PO : Percentagem de Ocupação da espécie [%]

3.3.1. Modelos Alométricos

Os modelos de estimação de carga de combustível consistem no ajustamento de equações de regressão. Pretende-se que a avaliação da carga seja efetuada para diferentes espécies. Num contexto de regeneração após fogo, e considerando as espécies como sendo pioneiras, os fatores determinantes na avaliação da evolução da carga remetem para a idade

e o grau de crescimento. Na tentativa de interpretar a influência destes fatores, os modelos integram parâmetros de idade do estrato e altura média por espécie por forma a compreender quais os que mais contribuem na dimensão da carga. Na conceção dos modelos são agregados dados de outros estudos fornecidos pela ADAI, com perspetiva de incluir na análise diferentes idades de mantos. Note-se que um maior volume de informação permite obter resultados mais sólidos e mesmo até legitimar a existência de diferentes fases do ciclo de vida das espécies arbustivas.

De acordo com Viana *et al.* (2009), os ajustamentos potenciais seguindo a Equação (3.4) conseguem aproximar fidedignamente e com coeficientes de regressão R^2 aceitáveis.

$$Y = \alpha \cdot X^\beta \quad (3.4)$$

sendo:

Y: Carga combustível [kg/m^2]

X: Idade [Anos]

A variável independente selecionada (Idade) para ajustamento em regressão, visa estabelecer a leitura simplificada entre a dimensão de carga e o tempo desde a última intervenção do fogo no estrato superficial. A compreensão da correlação entre ambos permitirá estabelecer índices indicativos acerca da fase de crescimento em que o manto se encontra. Como tal pretende-se identificar qual o período para o qual se verifica uma maior produtividade, ou seja, aquele onde a dimensão da carga seja máxima correspondente à fase madura do crescimento dos arbustos.

Por forma a prever melhor os fenómenos de degeneração, procede-se à aplicação de ajustamentos do tipo polinomial. Esta nova abordagem adota o conceito de existência de um pico de carga na fase madura da vida dos organismos e permite quantificar a idade para a qual a carga do manto é maximizada. Neste contexto são aplicados ajustamentos polinomiais de terceiro grau do tipo:

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d \quad (3.5)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Alturas médias e Percentagem de Ocupação

Os resultados obtidos relativamente à inventariação de alturas médias por espécie encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Resultados da Inventariação de Alturas médias por espécie

| Referência | Idade Regeneração [Anos] | Altura Média [m] | | |
|----------------|--------------------------|------------------|------|------|
| | | CHT | ERS | CYS |
| Ensaio Gestosa | 1 | 0,42 | 0,35 | x |
| Ensaio Gestosa | 5 | 0,61 | x | x |
| Ensaio Gestosa | 7 | 0,55 | 0,67 | x |
| Ensaio Arouca | 11 | 1,46 | 1,33 | 1,37 |

Da análise de resultados pode-se estabelecer juízos acerca da estrutura destas espécies, nomeadamente que as suas alturas são tipicamente entre 0,50 a 1,50 metros e o valor é dependente da ocupação e idade, podendo ultrapassar os 2 metros. A constituição do estrato aéreo pode condicionar o desenvolvimento em altura dos arbustos, a procura de luz solar em povoamentos com estratos aéreos densos pode levar a que os arbustos assumam alturas maiores. Na Figura 4.1 encontram-se traçadas as variações das alturas médias com as idades dos estratos sob a forma de dispersões sobrepostas. As dispersões são alusivas às espécies Carqueja e Urze.

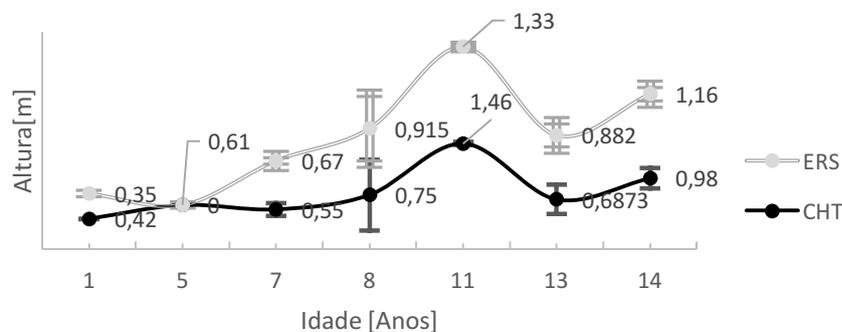


Figura 4.1. Variação da Altura média com a Idade do manto para espécies Carqueja e Urze

Constata-se da análise da Figura 4.1 que as espécies em análise apresentam tamanhos semelhantes. No entanto é sabido que existem espécies de Urze que se distinguem a nível de altura; é exemplo disso a espécie *Erica Australis* que nos ensaios conduzidos em Arouca foram identificados espécimes com alturas até 2,5 metros. Como último reparo desta análise, verifica-se que nos estratos avaliados com idades superiores a 11 anos estas espécies apresentam alturas inferiores, tal fenómeno pode relacionar-se com a degeneração arbustiva já referida no decorrer deste trabalho.

Os resultados na Tabela 4.2 resultam do cálculo direto da PO segundo a Equação (3.1).

Tabela 4.2. Resultados Percentagem de Ocupação por espécie

| Referência | Idade Regeneração | Ocupação % | | | | Total |
|-----------------------|-------------------|------------|------------|------------|--------|-------|
| | | <i>CHT</i> | <i>ERS</i> | <i>CYS</i> | Outros | |
| Ensaio Gestosa | 1 | 42 | 3,6 | 0 | 54,4 | 100 |
| Ensaio Gestosa | 5 | 49,2 | 0 | 0 | 50,8 | 100 |
| Ensaio Gestosa | 7 | 16,87 | 47,40 | 0 | 35,73 | 100 |
| FuelGest 2010 | 8 | 40,35 | 37,72 | 0 | 21,93 | 100 |
| Ensaio Arouca | 11 | 23 | 46 | 16 | 16 | 100 |
| FuelGest2015 | 13 | 43,3 | 37,1 | 0 | 19,6 | 100 |
| FuelGest 1999 | 14 | 35,85 | 54,18 | 0 | 9,97 | 100 |

Neste ponto é possível estabelecer apreciações acerca da predominância entre espécie arbustivas e a sua representatividade territorial. Verifica-se que *CHT* é a espécie arbustiva mais comum sendo encontrada em ambas as áreas de estudo (Norte e Centro de Portugal continental), assume fixações difundidas mesmo para idades de regeneração de manto inferiores a 5 anos.

Na generalidade das parcelas analisadas, *CHT* apresenta áreas de ocupação superiores a todas as outras espécies catalogadas e revela-se como pioneira na regeneração após fogo. Esta última constatação pode dever-se ao fato de este tipo de planta brotar por toixa, fenómeno no qual o desenvolvimento inicial da planta se processa por emissão de

rebentos desde uma base lenhosa e/ou raiz. Este mecanismo de desenvolvimento apresenta uma resposta rápida em situação após passagem de fogo onde uma estrutura de raiz ainda viva pode contribuir para uma proliferação célere da comunidade de *CHT*.

Também arbustos do tipo *ERS* são conotados como abundantes nos povoamentos florestais nacionais, dos resultados verifica-se uma fixação mais tardia comparativamente a *CHT*, no entanto apresenta ocupações igualmente elevadas.

CYS foi apenas encontrado nas parcelas de Arouca e com ocupação pequena. Verifica-se que não existe continuidade na fixação deste arbusto sendo que os espécimes foram encontrados pontualmente ao longo dos mantos analisados.

De outras espécies encontradas realça-se o feno, com alguma predominância nos territórios de Castanheira de Pêra.

O global das áreas revela que mais de 75% da sua constituição é feita por arbustos e outras espécies de grande porte sendo o restante espaço sem ocupação, ou seja, solo descoberto ou rochas.

4.2. Densidade Aparente

Na Tabela 4.3 são apresentadas as espécies submetidas ao ensaio de determinação de densidade aparente. Os ensaios foram conduzidos em Arouca visto a flora do local apresentar uma maior diversidade de espécies. O manto do local de amostragem tem uma idade correspondente a 11 anos.

Tabela 4.3. Resultados ensaios de Densidade aparente por espécie

| Espécie | Altura [m] | Massa [kg] | Área [m ²] | Massa por unidade de área [kg/m ²] | Densidade aparente [kg/m ³] |
|------------|------------|------------|------------------------|--|---|
| <i>CHT</i> | 0,70 | 0,82 | 0,25 | 3,28 | 4,69 |
| <i>ERA</i> | 1,30 | 1,03 | 0,25 | 4,12 | 3,17 |
| <i>ERU</i> | 0,70 | 0,59 | 0,25 | 2,36 | 3,37 |
| <i>CYS</i> | 2,50 | 2,06 | 0,25 | 8,22 | 3,30 |

Por forma a validar os resultados obtidos é apresentado na Figura 4.2 uma comparação com valores provenientes da base de dados da ADAI.

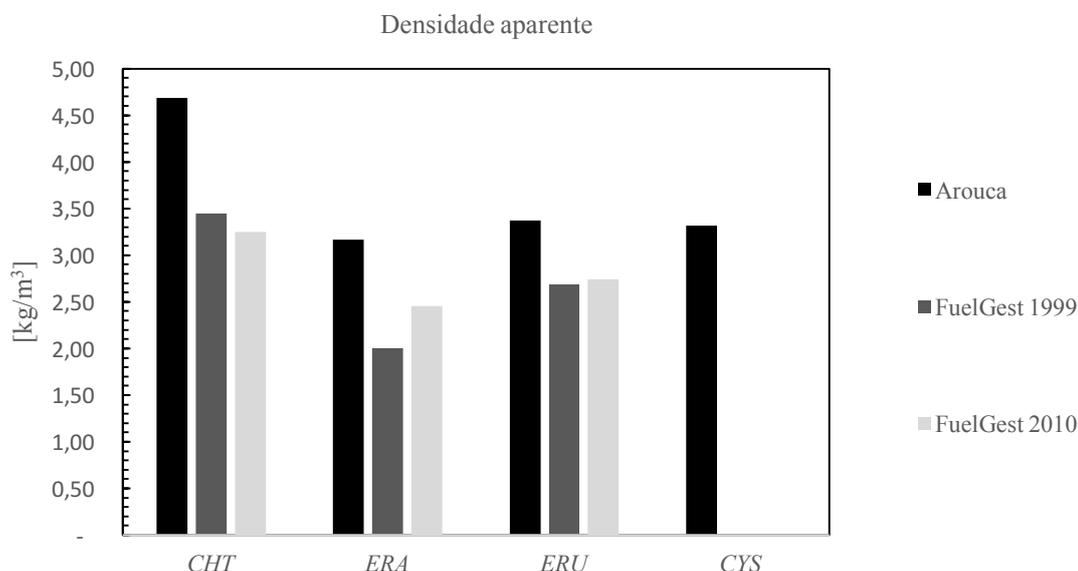


Figura 4.2. Comparação resultados de ensaios de Densidade aparente com dados ADAI

Os resultados obtidos são bastante próximos dos valores tomados como referência e é possível verificar na Figura 4.2 que as variações são análogas entre as diferentes espécies amostradas. Considera-se então que os resultados são aceitáveis e que podem ser tomados como integrantes no cálculo da Carga de Combustível (*CC*).

4.3. Carga de Combustível

Na Tabela 4.4 especificam-se a proveniência dos dados e atribui-se a correspondente idade de regeneração do estrato, importante para a posterior construção dos modelos de regressão.

É realçada a abundância da espécie *CHT* em idades menores, pelo que é legítimo aferir que esta espécie é exibida como fixador pioneiro. Vejamos que após 1 ano de regeneração após fogo esta já apresenta fixação dispersa, comprovada pela Tabela 4.2 onde é possível verificar *PO* acima dos 40% para idades inferiores a 5 anos.

Tabela 4.4. Resultados do cálculo da Carga de Combustível

| Referência | Idade Regeneração | Carga Combustível [kg/m ²] | | | |
|----------------|-------------------|--|------|------|-------|
| | | CHT | ERS | CYS | Total |
| Ensaio Gestosa | 1 | 0,82 | 0,04 | 0 | 0,86 |
| Ensaio Gestosa | 5 | 1,41 | 0 | 0 | 1,41 |
| Ensaio Gestosa | 7 | 2,59 | 4,38 | 0 | 6,97 |
| FuelGest 2010 | 8 | 4,69 | 7,62 | 0 | 12,31 |
| Ensaio Arouca | 11 | 3,14 | 5,66 | 3,04 | 11,84 |
| FuelGest 2015 | 13 | 2,37 | 4,21 | 0 | 6,58 |
| FuelGest 1999 | 14 | 1,21 | 1,53 | 0 | 2,74 |

4.3.1. Modelos Alométricos

Os ajustamentos potenciais são consistentes apenas nas fases preliminares de vida das espécies. A Figura 4.3 corrobora esta afirmação, nesta encontra-se delineado ajustamento potencial para espécie *Chamaespartium Tridentatum* onde se visualiza a evolução da CC [kg/m²] com a idade do manto.

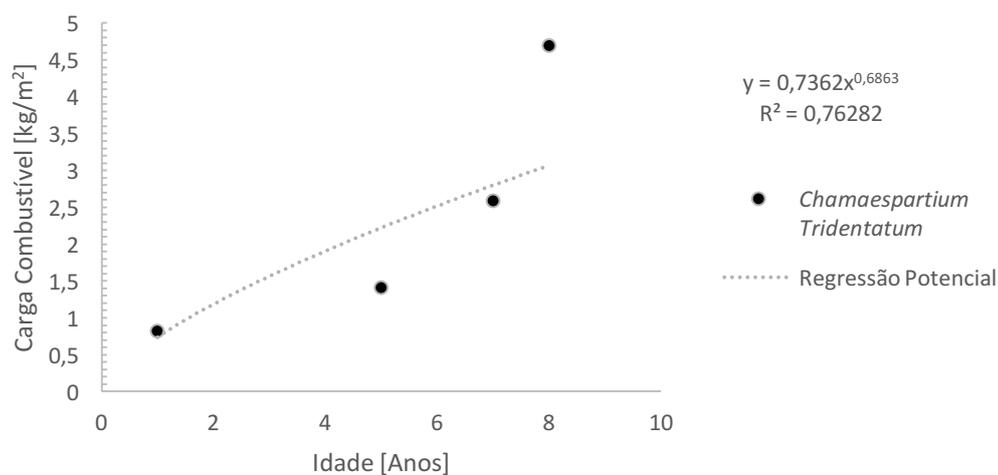


Figura 4.3. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja para Idades de manto até 8 anos e ajustada por regressão potencial

O valor do coeficiente de regressão R^2 é admitido como aceitável para o ajustamento, e no sentido de predição de carga esta abordagem mostra-se aparentemente correta, no entanto a aplicação de regressões do tipo potencial para idades superiores a 8 anos revela coeficientes de regressão dispares, uma vez apresentando variação crescente ao longo do tempo não contabiliza a depreciação de carga provocada pela degeneração vegetativa característica dos arbustos. Por outras palavras as funções do tipo potencial não apresentam pontos de inflexão e como tal a sua evolução será sempre ou positiva ou negativa, deste modo ajustamentos deste tipo traduzem que o valor da carga de combustível aumenta sempre com a idade.

Na Figura 4.4 estão aplicadas de regressões potenciais para idades até 14 anos e constata-se que o valor do coeficiente de regressão R^2 está abaixo dos 0,35.

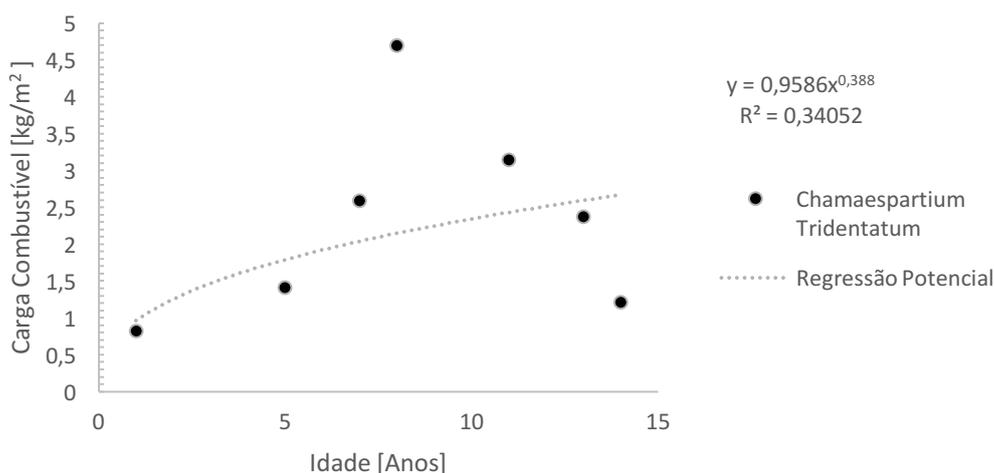


Figura 4.4. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja com a Idade do manto ajustada por regressão potencial

Abaixo encontram-se apresentados os gráficos correspondentes às regressões polinomiais de terceiro grau relativos às espécies *CHT* e *ERS*, na Figura 4.5 e Figura 4.6, respetivamente.

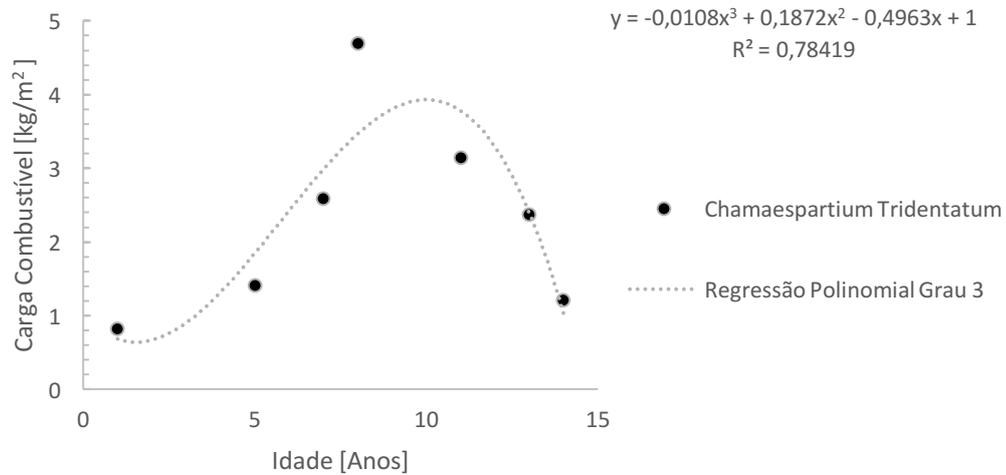


Figura 4.5. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie carqueja com a Idade do manto ajustada por regressão polinomial de terceiro grau

Da interpretação do gráfico correspondente à espécie *CHT* sucede a indicação de que a fase madura do arbusto está situada para idades entre 7 e 10 anos, sendo que após este período o perfil de carga decresce gradualmente. A Equação (4.1) corresponde ao ajustamento.

$$Y_{CHT} = -0,0108x^3 + 0,1872x^2 - 0,4963x + 1 \quad (4.1)$$

Por forma a quantificar o pico da carga, procede-se ao cálculo da derivada da função ajustada e respetiva determinação de raízes.

$$\frac{dy}{dx} = -0,0324x^2 + 0,3744x - 0,4973 \quad (4.2)$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow -0,0324x^2 + 0,3744x - 0,4973 = 0 \Leftrightarrow x = 1,53 \vee x = 10,02 \text{ (Anos)} \quad (4.3)$$

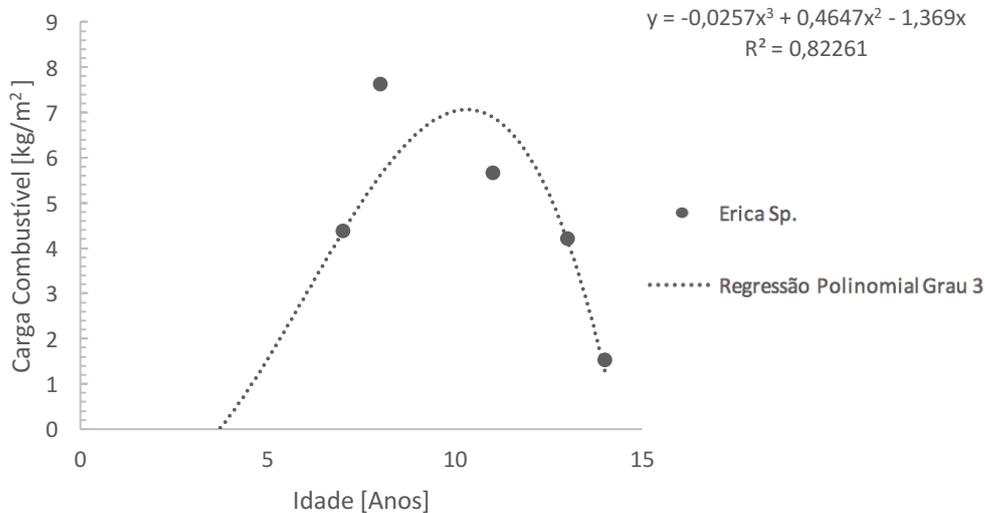


Figura 4.6. Evolução da Carga de Combustível florestal da espécie urze com a Idade do manto ajustada por regressão polinomial de terceiro grau

A equação de ajustamento para *ERS*:

$$Y_{ERS} = -0,0257x^3 + 0,4647x^2 - 1,369x \quad (4.4)$$

Aplicando a mesma metodologia para determinação do máximo:

$$\frac{dy}{dx} = -0,0771x^2 + 0,9294x - 1,369 \quad (4.5)$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow -0,0771x^2 + 0,9294x - 1,369 = 0 \Leftrightarrow x = 1,71 \vee x = 10,34 \text{ Anos} \quad (4.6)$$

Os modelos ajustados a equações de 3º grau exibem a carga como sendo crescente na fase inicial de vida saturando para idades entre 9 e 11 anos, após esta idade a carga de combustível decresce. A tendência de depreciação de carga deverá atingir um limite, no entanto os dados disponíveis não permitem estabelecer com precisão e solidez que dimensão este deverá tomar.

Na Tabela 4.5 encontram-se assinaladas as equações de regressão com correspondência às espécies e respetivos coeficientes de regressão.

Tabela 4.5. Equações polinomiais de 3º grau ajustadas

| Espécie | Equação | Coefficiente Regressão | Idade Carga Máxima [Anos] |
|------------|--|------------------------|---------------------------|
| <i>CHT</i> | $Y_{CHT} = -0,0108x^3 + 0,1872x^2 - 0,4963x + 1$ | 0,78 | 10,02 |
| <i>ERS</i> | $Y_{ERS} = -0,0257x^3 + 0,4647x^2 - 1,369x$ | 0,82 | 10,34 |

Como resumo dos ajustamentos realizados verifica-se que a correspondência ao pico de carga de espécies arbustivas do tipo *CHT* e *ERS* é de idades próximas dos 10 anos, sendo que após este patamar máximo ocorre degeneração na estrutura do arbusto com efeito na diminuição da carga representada pelo mesmo.

Os ajustamentos polinomiais de terceiro grau apresentam coeficientes de regressão razoáveis e permitem identificar as diferentes fases de crescimento das espécies em estudo com correspondência à idade de pico máximo de carga. De acordo com os resultados verifica-se também uma semelhança entre os ciclos de vida das espécies *CHT* e *ERS*.

5. CONCLUSÕES

Em suma o estudo aqui conduzido permitiu identificar as espécies pioneiras em territórios florestais do Norte e Centro de Portugal continental. Realçam-se as espécies de Urze e Carqueja devido à sua abundância e presença nos diversos locais amostrados.

O estudo de aproveitamento de biomassa florestal indica elevado potencial produtivo relativamente a estas espécies de arbustos devido à sua elevada carga de combustível, comprovada pelos resultados onde foram identificados territórios com cargas de aproximadamente 12 kg/m^2 (120 t.ha^{-1}). Neste sentido comprova-se o potencial que este recurso traduz para integração em sistemas de produção energética.

A produtividade pode ser melhorada com a identificação das fases de crescimento dos mantos, sendo que a fase madura correspondente à carga máxima está situada tipicamente nos 10 anos de idade. Como tal é possível conduzir ciclos de recolha por forma a garantir uma continuidade na exploração, garantindo limpeza continuada das matas e florestas. A exploração continuada deste recurso além permitir um controlo carga de combustível, reduz a dependência na importação de outros, tais como o carvão, e confere valor acrescido, incentivando produtores e proprietários.

A fase degenerativa do ciclo de vida dos arbustos é reconhecida como aquela que maior risco de incêndio traduz, pois é característico do processo de degeneração o surgimento de frações mortas, as quais apresentam teores de humidade inferiores aos das partes vivas, sendo que neste caso existe um risco de ignição superior. A reduzido teor de humidade contribui também para uma propagação mais rápida das chamas em situação de fogo, resultado da inflamabilidade acrescida característica de combustíveis com baixo teor de humidade.

Como trabalhos futuros sugere-se dar continuidade aos estudos das propriedades calorimétricas de combustíveis florestais do tipo arbustivo, por forma a proceder a uma caracterização completa dos mesmos.

Propõe-se também alargar a caracterização de combustíveis arbustivos na forma de subprodutos dos quais são exemplo os pellets (granulado compactado constituído por

resíduos de biomassa), onde a entidade Centro da Biomassa para a Energia (CBE) é já pioneira na certificação deste tipo de biocombustível sólido.

De modo a gerar modelos de predição de carga generalizados propõe-se futuramente alargar as bases de dados, procedendo à inventariação de uma maior variabilidade de espécies e subespécies, e também abranger maior número de áreas com localizações distintas com vista a consolidar a modelação.

Estudos nas vertentes de soluções mecanizadas de recolha de biomassa são importantes para garantir que o avanço tecnológico abarca todos os processos inerentes à exploração deste recurso. Também são incentivados estudos inovadores onde se possa integrar aplicação de materiais naturais na forma de produtos de valor acrescentado tais como materiais compósitos reforçados com fibras, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assembleia da República, Comissão de Agricultura e Mar. (2013). “Relatório Grupo de trabalho da biomassa.”
- Baeza, M. J., Raventós, J., Escarré, A., & Vallejo, V. R. (2006). “Fire risk and vegetation structural dynamics in Mediterranean shrubland.” *Plant Ecology*, 187(2), 189–201..
- Canfield, R. H. (1941). “Application of the line interception method in sampling range vegetation.” *Journal of Forestry*.
- Cohen, M., Cuiñas, P., Diez, C., Fernandes, P., Guijarro, M., & Moro, C. (2001). “FIRE STAR: a decision support system for fuel management and fire hazard reduction in Mediterranean wildland - urban interfaces Deliverable D4-02 Fire Star Impacts Model of Wildland Fire Compilation of People Tenability and Material Properties Data.”
- Doat, J., Valette Ch., J., Askri, D., Caumartin, L., Bettachini, M., & Moro, M. (1981). “Le pouvoir calorifique supérieur d’espèces forestières méditerranéennes.” *For. Sci.*, 38(4), 469–486
- Gillon, D., Hernando, C., Valette, J. C., & Joffre, R. (1997). “Fast estimation of the calorific values of forest fuels by near infrared-reflectance spectroscopy.” *Canadian Journal of Forest Research*, 27(5), 760–765.
- Gimingham, R. J.; Hobbs, C. H. (2016). “Studies on Fire in Scottish Heathland Communities II.” *British Ecological Society*, 72(2), 585–610.
- Mabee, W., & Saddler, J. (2007). “Forests and energy.” (No. 154). *Forests and Energy: key issues*.
- Miranda, A. I., Martins, V., Cascão, P., Amorim, J. H., Valente, J., Tavares, R., ... Pita, L. P. (2010). “Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal”. *Environment International*, 36(7), 736–745.
- Presidência do Conselho de Ministros. (2010). Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010: Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), 2020(N.º 73), 1289–1296.
- República Portuguesa. (2010). Resolução Conselho de Ministros n.º 20/2013. “Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE.” *Resumo Da Política Nacional de Energias Renováveis*, (iii), 6394–6397.
- Reva, V.; Pita, L. P.; Lousada, J. L.; Viegas, D. X. (2010). “Small-scale bioenergy production as an incentive for forest fire prevention.” *Em Proceedings VI International. ADAI*.
- Ribeiro, J. S., Viegas, D. X., & Marques, A. T. (2016). “Forest products valorisation as a tool to reduce fire risk: forest biomass management and characterization for bioenergy production.” *Em Conferência Engenharia Mecânica 2016, Porto*.

- Viana, H.; Fernandes, P.; Rocha, R.; Lopes, D.; Aranha, J. (2009). “Alometria, Dinâmicas da Biomassa e do Carbono Fixado em Algumas Espécies Arbustivas de Portugal.” *6º Congresso Florestal Nacional*, 244–252.
- Viana, H., Vega-Nieva, D. J., Ortiz Torres, L., Lousada, J., & Aranha, J. (2012). “*Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain.*” *Fuel*, 102, 737–745.
- Viegas, D. X., Rossa, C., Ribeiro, L. M. (2011) “Incêndios Florestais.”

ANEXO A – DADOS COMPLETOS DOS ENSAIOS EM AROUCA

| Arouca | Ano Fogo | Idade Regeneração [Anos] | Parcelas |
|--------|----------|--------------------------|----------|
| | 2005 | 11 | 1,2 |

| Parcela | Percentagem de Ocupação [%] | | | | | | Total |
|----------|-----------------------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|--------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | <i>Solo</i> | |
| 1 | 25,60 | 8,60 | 50,20 | 0,00 | 0,00 | 15,60 | 100,00 |
| 2 | 20,40 | 0,00 | 32,40 | 31,20 | 16,00 | 0,00 | 100,00 |

| Parcela | Altura média [m] | | | | | |
|----------|------------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | <i>Solo</i> |
| 1 | 1,43 | 1,03 | 1,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 1,49 | 0,00 | 2,63 | 2,73 | 1,20 | 0,00 |

| Parcela | Carga de Combustível [kg/m ²] | | | | | |
|----------|---|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | <i>Total</i> |
| 1 | 1,72 | 0,30 | 2,66 | 0,00 | 0,00 | 4,68 |
| 2 | 1,42 | 0,00 | 2,70 | 3,04 | 0,00 | 7,16 |

ANEXO B – DADOS COMPLETOS DOS ENSAIOS EM CASTANHEIRA DE PÊRA

| | Ano Fogo | Idade Regeneração | Parcelas |
|---------------------|----------|-------------------|----------|
| Castanheira de Pêra | 2009 | 7 | 1,2,3 |
| | 2011 | 5 | 4 |
| | 2015 | 1 | 5 |

| Parcela | Percentagem de Ocupação [%] | | | | | | Total |
|---------|-----------------------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|--------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | <i>Solo</i> | |
| 1 | 12,00 | 47,60 | 9,20 | 0,00 | 31,20 | 0,00 | 100,00 |
| 2 | 15,60 | 58,60 | 1,00 | 0,00 | 17,40 | 7,40 | 100,00 |
| 3 | 23,00 | 15,80 | 10,00 | 0,00 | 40,80 | 10,40 | 100,00 |
| 4 | 49,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 38,40 | 12,40 | 100,00 |
| 5 | 42,00 | 3,60 | 0,00 | 0,00 | 38,40 | 16,00 | 100,00 |

| Parcela | Altura média [m] | | | | | | <i>Solo</i> |
|---------|------------------|------------|------------|------------|---------------|------|-------------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | | |
| 1 | 0,40 | 0,53 | 0,91 | x | 1,30 | 0,00 | |
| 2 | 0,48 | 0,55 | 0,60 | x | 0,39 | 0,00 | |
| 3 | 0,78 | 0,45 | 1,01 | x | 0,54 | 0,00 | |
| 4 | 0,61 | x | x | x | 0,99 | 0,00 | |
| 5 | 0,42 | 0,35 | x | x | 0,48 | 0,00 | |

| Parcela | Carga de Combustível [kg/m ²] | | | | | | Total |
|---------|---|------------|------------|------------|---------------|------|-------|
| | <i>CHT</i> | <i>ERU</i> | <i>ERA</i> | <i>CYS</i> | <i>Outros</i> | | |
| 1 | 1,87 | 1,79 | 2,89 | x | x | 6,55 | |
| 2 | 2,25 | 1,86 | 1,90 | x | x | 6,01 | |
| 3 | 3,64 | 1,51 | 3,19 | x | x | 8,34 | |
| 4 | 1,41 | x | x | x | x | 1,41 | |
| 5 | 0,82 | 0,04 | x | x | x | 0,86 | |

APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO EM CONFERÊNCIA DE ENGENHARIA MECÂNICA, PORTO 2016

CEM 2016 – Mechanical Engineering Conference
Porto, Portugal, 1-3 June 2016
LAETA - Associated Laboratory for Energy, Transports and Aeronautics

FOREST PRODUCTS VALORISATION AS A TOOL TO REDUCE FIRE RISK: FOREST BIOMASS MANAGEMENT AND CHARACTERIZATION FOR BIOENERGY PRODUCTION

Ribeiro, Jorge¹; Viegas, Domingos¹, Marques, A. T.²

¹ADAL, LAETA, University of Coimbra, Department of Mechanical Engineering, Portugal,
mrjorgesribeiro@gmail.com, xavier.viegas@dem.uc.pt

² Faculty of Engineering of the University of Porto, Department of Mechanical Engineering, Portugal,
marques@fe.up.pt

KEYWORDS: *Forest biomass, Shrub species, Fuel Load & Properties*

ABSTRACT: Forest fuel management is a study topic of great importance for forest fire risk reduction. The sustainable exploitation of Portugal natural resources is essential to the country energy independence [1]. The energy strategy [2] implies policies to increase energy efficiency encouraging the use of renewable endogenous energy sources (forest biomass) for bioenergy production. Therefore, there is an effort to improve forest biomass exploitation regarding its economic valorisation and contributing to the fire risk and hazard prevention. Forest biomass can be composed by shrub species and this study approaches the shrub fuel characterization and load determination techniques (Line Interception Method [3]). By prospecting some of the more representative Portuguese shrub species it is possible to establish a growth pattern and categorise the predominant species as well as its representation in a fuel management and fire risk situation. The fuel properties are important to evaluate the potential for its use in thermoelectric power plants. The biomass energy content can be expressed according to its calorimetric parameters [4][5]. In this study, it is presented a brief analysis of the calorific properties of each shrub species from other studies references [4]-[7].

1 INTRODUCTION

1.1 Motivation

Forest Biomass is a fuel used in bioenergy production systems and EDP (Energias de Portugal) is operating several thermoelectric power plants supplied by biomass (Mortágua, Ródão, Figueira Foz, Constância, among others). As a natural renewable resource it contributes to the Greenhouse Gases (GHG) emissions reduction. The use of endogenous energy sources is, nowadays, a commitment which improves Portugal energy independence and diversification of resources to ensure an efficient exploitation contributing to the promotion of forest fuel management and fire risk reduction [2]. Promoting the sustainable maintenance of forest is an ambition of the national policies. In order to reduce the exploitation costs of forest biomass, it is

necessary to quantify fuel availability in a context of optimized production. Shrub species are characterized by having high growth rate and to generate fuel loads that can traduce extreme fire hazard conditions. By evaluating the shrub species growth it is possible to predict the forest fire risk conditions and to establish harvesting periods relying on the fire risk reduction.

1.2 Objectives

This paper focuses on the characterization of the shrub fuel, in terms of its availability as a resource and of its chemical properties as a fuel used for energy production. The study emphasises an estimation method to understand the availability of shrub biomass for integration in bioenergy production systems such as thermo-electric power plants. Field

Ribeiro, Jorge; Viegas, Domingos, Marques, A. T.

experiments were conducted in order to evaluate the dominant shrub species and vegetation cover percentage following the Linear Interception Method (LIM) proposed by Canfield 1941 [3]. The fuel is characterised according to its moisture content and a series of tests following the oven-drying technique were conducted. In the study the calorific properties for each specie are also analysed using data collected from other authors.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Fuel and study area description

This study focuses on several different shrub species that are representative of the Portuguese forest like *Chamaespartium Tridentatum* (CT), *Erica Umbellata* (EU), *Erica Australis* (EA) and *Cytisus Striatus* (CS). The study areas are situated in North (Espiuunca/Arouca) and Centre (Castanheira de Pêra) regions of continental Portugal. They are located in a Wildland-Urban Interface where there is great effort to reduce fire hazard in order to secure the natural and material patrimony.



Figure 1 Study areas

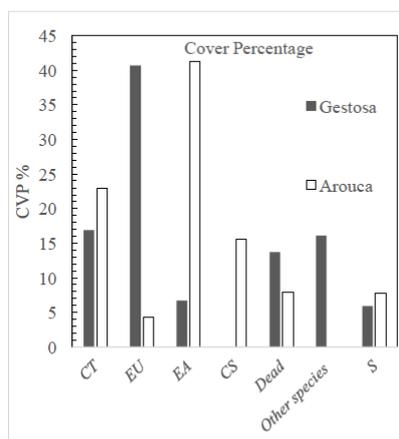
2.2 Data collection and analysis

The field experiments consisted in fuel load (FL) and fuel cover percentage (CVP) determination. Tests for fuel sampling to determine bulk density according to ISO 17828:2015 (Solid biofuels - Determination of bulk density) and moisture content expressed in weight percentage according to ISO 18134:2015 (Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method) were conducted. The tests for CVP determination followed the Linear Intersect Method (LIM). The procedure consists in measuring the height of the species along a transect line located in selected plots of the study area. The FL is calculated per species and it derives from the integration of data of fuel bulk density (FBD) and CVP.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Cover Percentage and Average Height

The average values of Cover Percentage (Graphic 1), Height (Graphic 2) and Fuel Load (Graphic 3) were determined for the two regions of Espiuunca/Arouca and Gestosa.

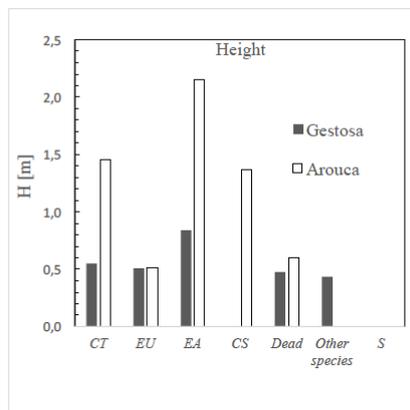


Graphic 1 Average values of Fuel Cover Percentage

Ribeiro, Jorge; Viegas, Domingos, Marques, A. T.

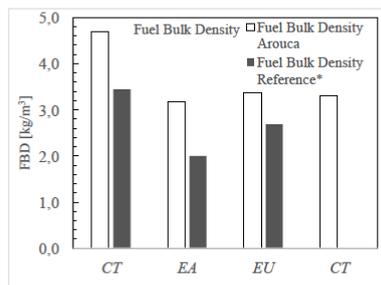
It is important to notice that the vegetation age in the two sites is distinct. The plots in Gestosa and Espiunça/Arouca had different ages since last fire disturbance, a period of respectively 7 and 11 years. Due to the different regions geomorphology and soil type, the vegetation dynamics varies and it is possible to observe (Graphic 1 and 2) the dispersion in the fuel distribution and growth within the two locations.

Based on the present data in Graphic 3 it is possible to assume that the FBD can differ from species and region. The values of FBD from Gestosa refers to tests performed in plots where the vegetation composition and growth stage differs, nevertheless FBD variation between species is similar.



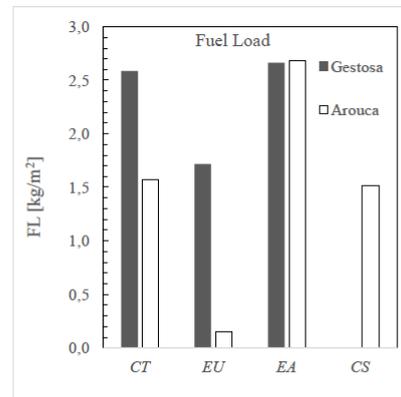
Graphic 2 Average values of species Height

The FBD tests were performed in Espiunça/Arouca, and determined for each species.



Graphic 3 Fuel Bulk Density

*FBD values reported in reference [4]



Graphic 4 Fuel Load

The FL is higher for the species *Chamaespartium Tridentatum* and *Erica Australis* due to its predominance, from the CVP analysis it is possible to ascertain that these two species have a wider occupation of the territory and also that EA has characteristically higher FL than the other species while CT has denser ramification on structure.

4 CONCLUSION

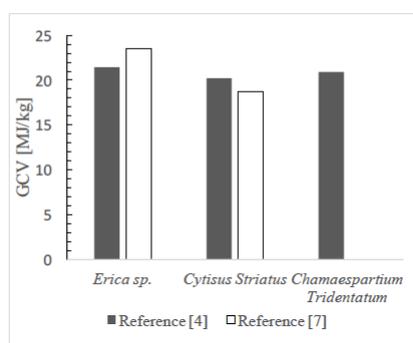
The studies of fuel load quantification are important to understand the availability of forest biomass. Estimating biomass potential for exploitation is the key to accomplish an efficient forest fuel management. The prevention of fire risk and hazard is conditioned by the vegetation dynamics of the shrub species. They have high growth rate and their

Ribeiro, Jorge; Viegas, Domingos, Marques, A. T.

occupation in the territory is wide and encloses almost the total area of study regions. There is great potential to introduce this natural resource into high valued products. This relies in the fact that calorific properties of the shrub species have greater values of Gross Calorific Values compared with other forest non shrub species. In Graphic 5 data collected from other studies references is presented. The high values of GCV indicate that these species are suitable for bioenergy production.

Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, Earthscan, UK.

- [6] Reva, V., Valente, S., Costa, J. J., & Vaz, D. (2013). Pre-Treatment of Forest Residual Biomass for Use in Small-Scale Bioenergy Production Systems.
- [7] Helder Viana; Paulo Fernandes; Rui Rocha; Domingos Lopes; José Aranha. (2009). Alometria, Dinâmicas da Biomassa e do Carbono Fixado em Algumas Espécies Arbustivas de Portugal . 6º Congresso Florestal Nacional.



Graphic 5 Gross Calorific Value [MJ/kg]

*GCV values reported in reference [4] and [7]

5 REFERENCES

- [1] Superior, C., Re., G. N., Aeron, A., Nacional, A., Nacional, A., Nacional, C., & Tribut, A. (2015). Assembleia da República, 2020(Ene 2020), 4411–4412.
- [2] Manuela, M., Ferreira, D., & Luís, L. (2002). 5153 Presidência Do Conselho De Ministros, (iii), 5153–5157.
- [3] Canfield, R. H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. Journal of Forestry.
- [4] Adai, V. R., Universidade, L., & Douro, A. (2010). Reva, V., Pita L. P., Lousada, J. L., Viegas, D. X., Small-scale bioenergy production as an incentive for forest fire prevention . Proceedings VI International.
- [5] Van Loo, S., et al., Eds. (2008). The

APÊNDICE B – FOLHA ESCALONADA PARA REGISTO ALTURAS E COMPRIMENTOS UNITÁRIOS

