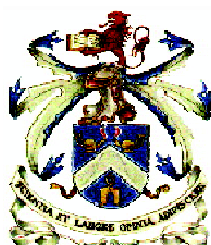


Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**EQUAÇÕES DE BIOMASSA PARA *Pinus pinaster* E
Quercus pyrenaica NA REGIÃO NORTE DE PORTUGAL**

**Dissertação de Mestrado
2º Ciclo em Engenharia Florestal**

Ana Filipa Couto Mendes



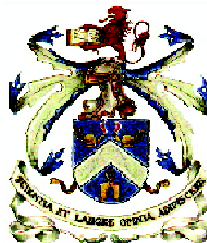
Vila Real, 2011

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**EQUAÇÕES DE BIOMASSA PARA *Pinus pinaster* E
Quercus pyrenaica NA REGIÃO NORTE DE PORTUGAL**

**Dissertação de Mestrado
2º Ciclo em Engenharia Florestal**

Ana Filipa Couto Mendes



Vila Real, 2011

Trabalho expressamente elaborado como dissertação para efeito de obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal, sendo apresentado na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, no âmbito do 2º ciclo de formação em Engenharia Florestal

Orientador: Professor Doutor Domingos Manuel Mendes Lopes

Co-Orientadora: Doutora Ana Paula Soares M. de Carvalho

*“As doutrinas apresentadas no presente trabalho
são da exclusiva responsabilidade do autor”*

“A beleza de uma paisagem está no esplendor da sua ordem, que se manifesta no equilíbrio biológico dos diversos factores que nela actuam e na sua perfeita adequação aos interesses dos Homens que nela vivem. Trabalhando com matéria viva, temos de nos sujeitar às suas leis próprias e servirmo-nos da própria interacção desses factores para conseguir os efeitos que desejamos.”

Caldeira Cabral

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta dissertação não posso deixar de expressar o meu apreço a todos os que contribuíram, de uma forma directa ou indirecta, para a sua concretização; assim, aqui deixo registado o meu caloroso agradecimento:

- Ao meu orientador, Professor Doutor Domingos Lopes, pela excelente oportunidade de realização deste trabalho, pela inteira disponibilidade de acompanhamento, esclarecimento e orientação, bem como pelo fornecimento de documentação e bibliografia, fundamentais para a elaboração desta dissertação;

- À minha co-orientadora, Doutora Paula Soares pela grande disponibilidade, orientação e apoio prestados ao longo do trabalho e pelo fornecimento de documentação e bibliografia indispensáveis à elaboração da dissertação;

- Ao Sr. Armindo pela grande ajuda, paciência e disponibilidade prestada no trabalho de laboratório;

- Ao Carlos Fernandes e ao Sr. Brito, executantes de todo o trabalho de campo, sem o qual não seria possível realizar este trabalho;

- À Leónia Nunes por todo o apoio e ajuda prestados ao longo da realização do trabalho;

- À Professora Doutora Teresa Fonseca, por toda a ajuda prestada e fornecimento de documentação bibliográfica;

- Ao Engenheiro Marco Magalhães, por toda a informação geográfica de base disponibilizada;

- À Sandra Costa, pela grande amizade, disponibilidade e ajuda prestada durante a fase de trabalho de laboratório;

- À Joana Correia e Ana Lúcia Pinto pela grande amizade, apoio e disponibilidade ao longo destes anos e, particularmente, pela ajuda técnica de apoio nesta fase da dissertação;

- Ao Luís Miguel Martins e à Marta Souto pela amizade e por toda a ajuda disponibilizada nesta fase final de elaboração do trabalho;

- Ao Mário Cardoso, por todo o apoio e amizade proporcionados;

- À Susana Cabral, Maria João Silva e Joana Mota, por toda a amizade, preocupação, companheirismo e apoio dedicado ao longo destes anos;

- Ao Ricardo por todo o apoio, carinho, compreensão e muita paciência que sempre demonstrou;

- Aos meus pais, ao meu irmão e aos meus avós por tudo o que aqui não consigo escrever;

- Finalmente, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O ajustamento de equações de biomassa total e por componentes, para as espécies florestais, reveste-se de grande utilidade para diversos estudos. A investigação que lhe está associada pode considerar-se de difícil implementação, pois exige intenso trabalho de campo, custos muito elevados e inclui métodos morosos que pressupõem o tratamento e destruição das amostras, entre outras razões. Após a execução de novas medições das parcelas de amostragem do Inventário Florestal Nacional de 2006 (IFN 2005 - 06) correspondentes a povoamentos puros e mistos de *Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*, foram determinadas as dimensões das árvores médias destas parcelas e abatidas árvores equivalentes, na área circundante à parcela, mas fora da mesma. Consequentemente foram recolhidos os dados necessários para o ajustamento de equações de biomassa, pretendendo-se o ajustamento simultâneo da biomassa total e por componentes. Para exemplificar a importância destes modelos as equações ajustadas foram utilizadas para estimar o carbono fixado nas parcelas do IFN que serviram de base à recolha de dados iniciais.

Palavras-chave: Pinheiro bravo, Carvalho-negral, modelos, fixação de carbono.

ABSTRACT

Biomass equations for components and total biomass estimations of forest species are useful for a wide range of studies and difficult to obtain because of the intense field work and because it is a destructive sampling method, among other reasons. Remeasuring the sampling plots from the Portuguese National Forest Inventory (NFI) from 2006, of mixed and pure stands of *Pinus pinaster* and *Quercus pyrenaica*, average tree dimensions were calculated and trees with these dimensions, located outside the NFI plots, were identified and cut. Data for fitting biomass per components equations was collected. Total biomass and biomass per components were fitted simultaneously.

To illustrate the importance of these models, the fitted equations were used to estimate the fixed carbon in the plots of NFI that supported the collection of baseline data.

Keywords: *Pinus*, *Quercus*, models, carbon sequestration.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Equações de Biomassa	4
2.1.1 Sua função e importância	4
2.1.2 Tipificação de equações de biomassa	5
2.1.2.1 Equações de biomassa disponíveis para as espécies em estudo	9
2.2 As florestas como fixadoras de carbono	21
3 ÁREA DE ESTUDO	25
4 ESPÉCIES EM ESTUDO	32
4.1 <i>Pinus pinaster</i> Ait. – Pinheiro bravo	32
4.2 <i>Quercus pyrenaica</i> L. – Carvalho-negral	34
5 DADOS E MÉTODOS	37
5.1 Ajustamento das equações de biomassa	37
5.1.1 Trabalho de campo	37
5.1.2 Trabalho de laboratório	44
5.1.3 Trabalho de gabinete	52
5.1.4 Caracterização das árvores e dos povoamentos	59
5.2 Quantificação do Carbono Fixado	61
5.2.1 Produtividade Primária Líquida (PPL)	61

5.2.2	Avaliação do carbono fixado pelos povoamentos em análise.....	62
6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	63
7	CONCLUSÕES	77
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização das parcelas permanentes na área de estudo.	26
Figura 2: Mapa de ecologia do Distrito de Vila Real.	27
Figura 3: Mapa de fitogeografia do Distrito de Vila Real.	28
Figura 4: Mapa de precipitação do Distrito de Vila Real.	29
Figura 5: Mapa de solos do Distrito de Vila Real.	30
Figura 6: Mapa da temperatura do Distrito de Vila Real.	31
Figura 7: Distribuição da espécie <i>Pinus pinaster</i>	32
Figura 8: Distribuição da espécie <i>Quercus pyrenaica</i> (Carvalho, 1995).	35
Figura 9: Medição do diâmetro à altura do peito de um pinheiro.	38
Figura 10: Abate de uma das árvores de estudo (pinheiro bravo).	38
Figura 11: Medição da altura total de uma árvore abatida.	39
Figura 12: Esquema da divisão da copa em três terços (fonte: própria).	39
Figura 13: Ramos secos de um dos terços da copa de uma árvore abatida.	40
Figura 14: Ramo médio de um dos terços da copa de uma árvore abatida (pinheiro bravo): A - separação e B – pesagem.	40
Figura 15: Ramo médio de um dos terços da copa de uma árvore abatida (carvalho-negral): A - pesagem e B - ensacamento para laboratório.	40
Figura 16: Esquema de cortes e medições a efectuar ao nível da árvore (assumindo neste caso uma altura total de 11 m) (Soares, 2008).	41
Figura 17: Esquema de cada toro cortado (adaptado de Soares, 2008).	41
Figura 18: Corte de rodela de toros de árvores abatidas (em locais diferentes).	42
Figura 19: Rodela de estudo (A); medição do diâmetro de rodela (B).	42
Figura 20: Pesagem de toros de um tronco: A - de carvalho e B - de pinheiro.	42
Figura 21: Rodelas de pinheiro bravo (A) e carvalho-negral (B).	44
Figura 22: Pesagem de uma rodela.	45

Figura 23: Separação da casca das rodela de pinheiro (A e B) e de carvalho (C e D).....	45
Figura 24: Rodela sem casca (A) e correspondente amostra da casca (B).	46
Figura 25: Rodelas de um pinheiro (A) e respectiva pesagem de uma das rodela (B).	46
Figura 26: Ramo amostra de um terço de copa de uma das árvores abatidas de pinheiro (A) e de carvalho (B).....	47
Figura 27: Separação das agulhas dos ramos de um pinheiro.	47
Figura 28: Separação das folhas dos ramos de um carvalho.	47
Figura 29: Medição dos diâmetros dos ramos para classificação na respectiva classe.	48
Figura 30: Separação de todas as componentes de um ramo amostra de um dos terços da copa da árvore (A – pinheiro; B – carvalho).....	48
Figura 31: Pesagem de alguns componentes.....	49
Figura 32: Pesagem de algumas amostras.	50
Figura 33: Amostras de todos os componentes de cada um dos terços da copa da árvore, preparadas para colocar em estufa.....	50
Figura 34: Amostras de todos os componentes de cada um dos terços da copa da árvore, colocados em estufa.	51
Figura 35: Relação entre a biomassa total e a biomassa por componentes com as variáveis altura total e diâmetro da árvore; valores reais de pinheiro bravo jovem ($h < 3,5$ m). ..	55
Figura 36: Histogramas das espécies <i>Pinus pinaster</i> e <i>Quercus pyrenaica</i>	64
Figura 37: Esquema das biomassa parciais médias para o pinheiro bravo.....	64
Figura 38: Esquema das biomassa parciais médias para o carvalho-negral.	65
Figura 39: Comparação das biomassa estimadas por Faias (2008) com as biomassa reais obtidas neste estudo.	66
Figura 40: Comparação das biomassa estimadas com as equações de Faias (2008) com as biomassa reais obtidas neste estudo para árvores jovens.....	67

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Exemplo de algumas equações para determinação da biomassa.....	5
Quadro 2: Caracterização de 115 árvores usadas para o desenvolvimento de equações de biomassa (Faías, 2008).....	14
Quadro 3: Equações finais seleccionados para cada componente com parâmetros estimados de forma independente e a sua eficiência correspondente (nº de árvores=115) (Faías, 2008).....	16
Quadro 4: Equações seleccionadas para cada componente, com parâmetros simultaneamente estimados, aparentemente não relacionados, através de uma regressão, incluindo o parâmetro da idade (Faías, 2008).	16
Quadro 5: Equações seleccionadas para cada componente, com parâmetros simultaneamente estimados, aparentemente não relacionados, através de uma regressão, sem consideração do parâmetro da idade (Faías, 2008).	17
Quadro 6: Distribuição das parcelas permanentes do IFN 2005-06 por concelho e espécie.....	43
Quadro 7: Equações avaliadas para cada componente de biomassa sem o parâmetro idade (Faías, 2008).....	52
Quadro 8: Equações seleccionadas para cada componente da árvore – <i>Pinus pinaster</i> (jovem).	56
Quadro 9: Equações seleccionadas para cada componente da árvore - <i>Quercus pyrenaica</i>	57
Quadro 10: caracterização dendrométrica das árvores individuais do pinheiro bravo jovem.	59
Quadro 11: caracterização dendrométrica para os povoamentos puros de pinheiro bravo adulto e de carvalho-negral e mistos de ambas as espécies.	60
Quadro 12: Valores médios e extremos de algumas variáveis dendrométricas das árvores abatidas.	63
Quadro 13: Erro Médio para o pinheiro bravo para cada componente da biomassa e para cada árvore, calculado em kg/árvore.	68
Quadro 14: Erro Absoluto Médio para o pinheiro bravo para cada componente da biomassa e para cada árvore, calculado em kg/árvore.....	69

Quadro 15: Pesos seleccionados para cada componente da árvore na correcção da heterocedasticidade dos resíduos – <i>Pinus pinaster</i> (jovem).....	70
Quadro 16: Resíduos PRESS obtidos para os pinheiros jovens.....	70
Quadro 17: Resultados do ajustamento simultâneo para os pinheiros bravos jovens.....	71
Quadro 18: Pesos seleccionados para cada componente da árvore na correcção da heterocedasticidade dos resíduos – <i>Quercus pyrenaica</i>	72
Quadro 19: Resíduos PRESS obtidos para <i>Quercus pyrenaica</i>	72
Quadro 20: Resultados do ajustamento simultâneo para os carvalhos.....	73
Quadro 21: Caracterização das variáveis dendrométricas para o povoamento misto de pinheiro bravo e carvalho-negral.....	75
Quadro 22: Caracterização das variáveis dendrométricas e da PPL para o povoamento puro de pinheiro bravo.	75
Quadro 23: Caracterização das variáveis dendrométricas e da PPL para o povoamento puro de carvalho-negral.	75
Quadro 24: Valores de PPL para o povoamento misto de pinheiro bravo e carvalho negral.....	76

1 INTRODUÇÃO

A importância da floresta e do sector florestal em Portugal é inquestionável, tendo em consideração a grande extensão territorial ocupada e a sua relevância no âmbito das funções económicas, ambientais, sociais e culturais que lhe estão associadas. Com efeito, é de realçar a importância da floresta na indústria transformadora deste sector que, pela sua natureza, tem como base um recurso natural e renovável que assegura a existência de produtos recicláveis e reutilizáveis, gerando emprego e riqueza. Em paralelo, é ainda importante o impacto na economia, decorrente do elevado número de agentes envolvidos na produção, transformação e comercialização de produtos florestais. É neste contexto que actualmente se tem renovado o interesse e atenção crescente para a necessidade de utilização de biomassa lenhosa como matéria-prima para a bioenergia e bioprodutos. Tendo em conta o panorama actual global, com a exploração de matérias-primas combustíveis fósseis em risco, os sistemas de produção de biomassa constituem-se como uma alternativa natural viável, como fonte de energia limpa e renovável, uma vez que não são poluentes, têm impactos ambientais positivos e podem assumir-se como solução de revitalização das economias rurais, ajudando ainda a reduzir a dependência energética nacional.

Portugal Continental é um país com uma grande apetência florestal, o que fica provado, segundo o Inventário Florestal Nacional de 2006 (IFN 2005 - 06), ao confirmar-se que cerca de 38% da área do território continental é floresta (AFN, 2010). Contudo, esta arborização é feita de forma não uniforme, com diferentes taxas de arborização nas várias regiões do país.

Com base na mesma fonte, o pinheiro bravo é a espécie florestal que ocupa maior área em Portugal Continental (sobretudo na região Centro e Norte Litoral do País), com cerca de 885 019 ha de povoamentos puros e mistos dominantes, sendo o principal suporte da indústria de serração e aglomerados. Os carvalhos ocupam uma área de cerca de 150 020 ha.

Focalizando apenas a atenção na Região Norte, zona onde a área de estudo se insere (Distrito de Vila Real), a ocupação de floresta é de 680 659 ha, correspondendo a ocupação do pinheiro bravo a cerca de 259 275 ha (38%) e a de carvalhos a 91 601 ha (13%) (AFN, 2010).

Neste enquadramento torna-se evidente a importância da compatibilização das características naturais do território com os objectivos económicos potencialmente decorrentes da exploração sustentada da vertente florestal. É neste contexto que a determinação da biomassa se assume

como um aspecto essencial nos estudos de quantificação de carbono, nos efeitos da desflorestação e na fixação de carbono relacionada com o balanço global, entre outros.

A determinação da biomassa acumulada pelas árvores, e em termos genéricos pelas áreas florestais, tem sido objecto de pesquisa cuja origem remonta já há mais de um século (por exemplo, Burger, 1929; Kunze, 1873 – *cit. in* Fehrmann & Kleinn, 2006). Entre as abordagens metodológicas, reconhece-se, como padrão base, o uso das relações alométricas. De facto, estas relações começaram por ter aplicação generalizada no estudo e caracterização de animais e de plantas herbáceas (West *et al.*, 2001), facto que levou os investigadores florestais a pesquisar, com metodologia semelhante, regras universais, que permitissem prever a biomassa das árvores em função de variáveis mensuráveis, facilmente observáveis (Enquist & Niklas, 2002). Este tipo de investigação tem sido objecto de interesse crescente e consequente incremento, por face à necessidade de obter informação que sustente a formulação e definição de políticas ambientais, de cariz climático, que exigem estimativas fiáveis, entre outros aspectos, de fixação de carbono em ecossistemas florestais (Brown, 2002; Joosten *et al.*, 2004). As florestas desempenham um papel fulcral no ciclo de carbono, pois capturam-no da atmosfera, através do processo fotossintético, sendo que o crescimento da floresta se traduz no armazenamento de carbono nos tecidos das suas árvores. Devido à grande quantidade de biomassa acumulada nas florestas, estas constituem uma das grandes reservas de carbono do planeta e, em simultâneo, um sistema de enorme relevância na acção da sua captação (Montero *et al.*, 2005).

Com este estudo, e a partir de dados obtidos por amostragem destrutiva de árvores, onde não foi incluído o seu sistema radicular, pretende-se:

- avaliar o desempenho das equações de biomassa, ao nível da árvore, desenvolvidas por Faias (2008), para a espécie *Pinus pinaster*, de forma independente, para árvores jovens e adultas;
- ajustar equações de biomassa anidra aérea, total e por componentes (tronco, ramos e folhas) para a espécie *Quercus pyrenaica* e, se necessário, reajustar para a espécie *Pinus pinaster*;
- aplicar as equações de biomassa em estudos de quantificação da fixação de carbono, em povoamentos puros e mistos de ambas as espécies.

Em termos esquemáticos, o presente estudo vai subdividir-se em sete capítulos onde se procura dar uma visão geral do trabalho, desde a identificação e caracterização do seu objecto, até à apresentação de resultados e conclusões, como se passa a elencar:

- No capítulo 2 será apresentado o objecto do estudo, com realce para a importância específica do ajustamento de equações de biomassa, enfoque na apresentação e caracterização de alguns exemplos que foram temas de estudos científicos para diversas espécies, onde se incluem as espécies em estudo (*Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*);
- O capítulo 3 incluirá a caracterização biofísica da área geográfica que enquadra o estudo;
- No capítulo 4 caracterizar-se-ão as espécies objecto do estudo, ou seja, o pinheiro bravo e o carvalho-negral;
- O capítulo 5 incluirá a descrição dos métodos e processamento de dados, dando enfoque às diferentes fases de trabalho, designadamente o trabalho de campo, com recolha de dados, a fase de laboratório onde foram determinados os pesos anidros, o tratamento de dados em gabinete que permitiu o ajustamento das equações de biomassa;
- No capítulo 6 proceder-se-á à apresentação e apreciação de resultados;
- No capítulo 7 será efectuada uma breve análise final do trabalho, em sede de conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Equações de Biomassa

2.1.1 Sua função e importância

A biomassa é uma das variáveis mais importante da árvore florestal e, conseqüentemente, dos povoamentos florestais. De acordo com Aboal *et al.* (2005), esta variável representa um grande contributo não apenas para a compreensão do conceito teórico das necessidades de energia e fluxo de elementos processados pelos ecossistemas, como também, do ponto de vista mais prático, como um rigoroso indicador do impacto ecológico. Ou seja, a biomassa pode fornecer um meio de monitorização dos possíveis impactos ecológicos nas florestas.

Uma das formas mais expeditas de determinar a biomassa de um povoamento florestal é pela aplicação de equações de predição de biomassa. Senelwa & Sims (1998) referem que o desenvolvimento de equações para estimar a produção de povoamentos florestais é considerado um primeiro passo necessário para avaliar a correcta gestão dos regimes florestais a seguir. No caso particular das espécies de curta rotação, mas podendo-se generalizar para todos os povoamentos florestais, a sua *performance*, em termos de produtividade, deve ser expressa em função da produção de biomassa e correspondente acumulação. As equações devem permitir estimar a produção de biomassa, os efeitos de comprimentos de rotação a ser explorados, bem como simular a interacção de outras actividades silvícolas a implementar e seus impactos. De facto, retomando o objecto principal, refere-se que a biomassa pode ser estimada através de métodos directos ou indirectos. O primeiro consiste no processo destrutivo que pressupõe o abate e pesagem das árvores amostra. Tem como inconvenientes o facto de ser um método muito demorado e exigir custos elevados devido às grandes quantidades e dimensões de biomassa que é necessário processar para obter resultados (Onyekwelu, 2004; Nath *et al.*, 2009). Com o método indirecto (processo não destrutivo), pretende-se o estabelecimento de relações através da análise de regressão, entre a biomassa e alguns parâmetros mensuráveis das árvores, de que são exemplo o diâmetro medido a 1,30 m de altura (d, diâmetro à altura do peito), e a altura total (h). O método indirecto é muito menos dispendioso do que o método directo.

2.1.2 Tipificação de equações de biomassa

A estimativa da biomassa pelo método indirecto implica a utilização de alguns tipos de equações de regressão, como sejam, o linear, o logarítmico, a alométrica, o hiperbólico e o exponencial (Onyekwelu, 2004; Saint-André *et al.*, 2005).

Vários investigadores têm desenvolvido equações de biomassa para árvores de diversas espécies, nas quais a maioria utiliza como variáveis independentes apenas o d ou o d e h ; contudo, são mais usuais equações que utilizam apenas o d . Esta opção deve-se ao facto de ser mais fácil medir, no campo, esta variável e, da altura, normalmente, ter uma contribuição pequena para a melhoria da estimativa das biomassas (Onyekwelu, 2004).

No quadro 1, apresentam-se alguns exemplos de equações para predição de biomassa, as variáveis utilizadas, bem como os respectivos autores.

Quadro 1: Exemplo de algumas equações para determinação da biomassa

Referência	Tipo Equação	Variável independente	Expressão matemática	Espécie
Onyekwelu (2004)	Logarítmica	d d^2h	$\ln(w) = a + b \ln(d)$ $\ln(w) = a + b \ln(d^2h)$	<i>Gmelina arborea</i>
Wang (2006)	Logarítmica	d d e h	$\log w = a + b (\log d)$ $\log w = a + b (\log d) + c (\log h)$	10 espécies florestais*
Montero <i>et al.</i> (2004)	Logarítmica	d	$\log (w) = a + b \log (d)$	<i>Pinus sylvestris</i>
Faias (2008)	Alométrica	d d e h	$w = k d^a$ $w = k d^a h^b$	<i>Pinus pinaster</i>
Montero <i>et al.</i> (2004)	Logarítmica	d	$\log (w) = a + b \log (d)$	<i>Quercus pyrenaica</i>
Montero <i>et al.</i> (2005)	Alométrica Logarítmica	d	$w = a.d^b$ $\ln w = a + b.\ln d$	<i>Pinus pinaster</i> e <i>Quercus pyrenaica</i>

**Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc., *Larix gmelinii* Rupr., *Quercus mongolica* Fisch., *Betula platyphylla* Suk., *Phellodendron amurense* Rupr., *Juglans mandshurica* Maxim., *Fraxinus mandshurica* Rupr., *Tilia amurensis* Rupr., *Acer mono* Maxim., *Populus davidiana* Dode.

Segundo Parresol (1999), a análise de estudos de biomassa demonstra que, em geral, as equações de predição têm sido desenvolvidas utilizando uma das três expressões seguintes:

(a) Linear (erro aditivo): $W = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \varepsilon$

(b) Não linear (erro aditivo): $W = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} + \varepsilon$

(c) Não linear (erro multiplicativo): $W = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} \varepsilon$

Onde W corresponde à biomassa total ou por componente, X_i à variável independente, β_j aos parâmetros de regressão e ε ao erro.

Segundo este autor, como variáveis mais utilizadas são usuais o diâmetro à altura do peito (d), o seu quadrado (d^2), a altura total (h), o produto entre as duas últimas ($d^2 h$), a idade e a altura da copa viva (lcl).

O modelo (a) gera regressões lineares múltiplas, que podem ser ajustadas pelo método de estimativa padrão dos mínimos quadrados. O modelo (b) define equações de regressão não-linear que requerem o uso de procedimentos iterativos para a estimativa dos parâmetros. As equações de regressão não-linear no modelo (c) são normalmente transformadas em equações de regressão linear (erro aditivo), calculando o logaritmo de ambos os lados da equação. Nesta forma, os parâmetros da equação podem ser facilmente estimados pelo método de estimativa padrão dos mínimos quadrados.

Utilizando estes princípios que servem de modelo geral às equações de predição de biomassa, diversos autores têm desenvolvido estudos com o objectivo de ajustar equações a bases de dados decorrentes de observações e trabalhos de campo, dos quais se referem alguns exemplos.

Senelwa & Sims (1998) ajustaram equações para o género *Eucalyptus*, a partir de uma base de dados de 458 árvores. Uma série de equações foram desenvolvidas a partir das variáveis d e altura total e analisada a contribuição na expressão da biomassa. A equação seleccionada expressa a biomassa total da árvore (w (kg)) em função do diâmetro (d (mm)) e da altura total (h (m)):

$$w = 1,22d^2h \times 10^{-4}$$

Na tentativa de avaliar as potencialidades do género *Populus* spp, no sequestro de carbono, Zabek & Prescott (2006) procederam ao ajustamento de equações total e por componentes de biomassa. Utilizaram modelos exponenciais, hiperbólicos e parabólicos, testando as seguintes variáveis de predição: d, 1/d, d², h, 1/h, dh², h², dh, d²h, e d²h².

Em estudos desenvolvidos em povoamentos mistos na zona temperada da China, Wang (2006) desenvolveu equações alométricas utilizando como variáveis preditivas apenas o d e o d e h, para 10 espécies florestais. Estas equações alométricas foram ajustadas na sua forma logarítmica:

$$\log w = a + b (\log d)$$

$$\log w = a + b (\log d) + c (\log h)$$

Onde w é a biomassa da componente (g); d é o diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm); h é a altura total (m); a, b e c são parâmetros da equação.

Onyekwelu (2004) abateu 120 árvores de *Gmelina arborea*, para desenvolver duas equações de biomassa, uma apenas com o d como variável independente e outra com o d e h como variáveis independentes. A expressão matemática seleccionada foi a seguinte:

$$w = a + bX$$

Sendo w a variável dependente (biomassa), X a variável independente e a e b os parâmetros da equação.

Várias variantes da equação foram ainda testadas. A melhor expressão da biomassa obteve-se através da equação logarítmica, quer quando a variável independente foi o d , quer quando foi o d^2h . Assim, foram adoptadas as seguintes equações de biomassa:

$$\ln(w) = a + b \ln(d)$$

$$\ln(w) = a + b \ln(d^2h)$$

Em que \ln é o logaritmo natural, w são as componentes de biomassa da árvore (kg), d é o diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm), h é a altura total da árvore (m) e a e b são parâmetros da equação.

Como resumo, Ketterings *et al.* (2001) referem que o protocolo para avaliação da biomassa florestal com base na utilização de relações de regressão ao nível da árvore deve envolver quatro etapas: escolha da equação considerando a sua adequabilidade funcional; escolha dos valores adequados para todos os parâmetros da equação; obtenção das variáveis independentes da equação através de medições no campo, como por exemplo, diâmetro da árvore; e utilização da equação para cálculo da biomassa por árvore e o somatório das biomassas das árvores do povoamento reportado ao hectare.

2.1.2.1 Equações de biomassa disponíveis para as espécies em estudo

Para as espécies de estudo, principalmente para a *Quercus pyrenaica*, existe pouca informação publicada, sobre equações de biomassa. Assim sendo, justifica-se a apresentação de uma abordagem resumida de enfoque desta matéria.

Quercus pyrenaica

Carvalho & Parresol (2003) ajustaram equações de biomassa para a espécie *Quercus pyrenaica* assentes na propriedade de aditividade, ou seja, o princípio que define que a biomassa total da árvore deve ser igual à soma das biomassas das suas componentes. Neste trabalho foram desenvolvidas equações para o tronco e para a copa, com base num sistema de equações simultâneas.

Foram utilizados dados de 166 árvores, abatidas em 83 parcelas, correspondentes a povoamentos de carvalho-negral em Portugal. As amostras dos povoamentos foram escolhidas tendo em consideração diferentes idades e características, por forma a abranger uma ampla gama de dimensões das árvores.

Como resultado final e para a biomassa do tronco foi seleccionada uma função não linear, alométrica:

$$\ln w_{\text{tronco } 2,5} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln d^2h + \ln \varepsilon$$

Onde o $w_{\text{tronco } 2,5}$ corresponde à biomassa do tronco (kg) cortado até ao ponto mínimo, em que o diâmetro do topo assume o valor de 2,5 cm; d é o diâmetro à altura do peito (cm); h é a altura total da árvore (m); \ln é o logaritmo natural; os β 's são parâmetros da equação e ε corresponde ao erro residual. A variável d^2h , geralmente usada em equações de biomassa, é, neste estudo, a que garantiu as melhores estimativas.

Para a biomassa da copa, a melhor estimativa foi obtida através de uma equação que inclui as variáveis d^2h e $lcl.h$. Constatou-se que a biomassa da árvore é altamente correlacionada com d^2h , como também foi demonstrado noutros estudos, sendo que $lcl.h$ representa uma variável que identifica a dimensão relativa da copa. A equação utilizada foi:

$$\ln w_{\text{copa } 2,5} = \beta_0 + \beta_1 \ln d^2 h + \beta_2 \ln h + \ln \varepsilon$$

Onde $w_{\text{copa } 2,5}$ é a biomassa da copa (kg) considerada até ao ponto em que as extremidades dos seus elementos assumem um diâmetro de 2,5 cm, d é o diâmetro à altura do peito (cm); h é a altura total da árvore (m); \ln é o logaritmo natural; os β 's são parâmetros da equação e ε corresponde ao erro residual.

A biomassa da árvore ($w_{\text{árvore } 2,5}$) corresponde à soma da biomassa do tronco ($w_{\text{tronco } 2,5}$) com a biomassa da copa ($w_{\text{copa } 2,5}$). É objectivo que no processo de estimativa da biomassa da árvore para $w_{\text{árvore } 2,5}$, seja verificado o princípio da aditividade dos componentes da biomassa. Neste estudo, esta aditividade ($w_{\text{tronco } 2,5} + w_{\text{copa } 2,5} = w_{\text{árvore } 2,5}$) é garantida pelo recurso ao método dos mínimos quadrados generalizados designado por “nonlinear seemingly unrelated regressions” (NSUR) aplicado a um sistema de equações.

Segundo Allue & San Miguel (1991), foram ajustadas equações de biomassa para o carvalho-negral, tanto para árvore individual, como para o povoamento, sendo que os respectivos dados, que a seguir se apresentam, derivaram de duas bases de dados:

a) 433 árvores individuais abatidas em povoamentos representativos do “Sistema Central” Espanhol. Dados recolhidos:

- Peso total para classes de diâmetro dos elementos das árvores: raminhos (0 – 2 cm), ramos finos (2 – 7 cm) e ramos grossos (> 7 cm);
- Diâmetro da base medido a 1,30 m de altura;
- Altura total;
- Percentagem do peso da casca em cada uma das fracções diamétricas;
- Percentagem de matéria seca nas três fracções diamétricas.

b) 218 parcelas com as seguintes características:

- Superfície: 100 m² (10 x 10 mxm);
- Idade: superior a 10 anos;
- Talhadia simples ou regular (não padronizado);
- Dados recolhidos:
 - ♦ Número de árvores por classes de diâmetro de 1 cm;

- ♦ Altura dominante (média das 5 árvores mais altas da parcela);
- ♦ Biomassa total das distintas fracções diamétricas. Segundo estes autores, e de forma surpreendente dado a enormidade de trabalho em causa, foi pesada a biomassa total em 152 parcelas e para as restantes foi aquela estimada, por meio de equações de biomassa das árvores individuais;
- ♦ Diâmetro médio das árvores dominantes (5 mais altas por parcela).

Para as árvores individuais:

Com os dados provenientes das 433 árvores abatidas foram elaboradas equações preditivas de biomassa para árvores individuais. As equações testadas foram do tipo linear, polinómica e alométrica com uma e duas variáveis independentes. Os melhores resultados foram conseguidos com a seguinte equação:

$$w = 0,01393 d^2h$$

Onde:

w é a biomassa total (Kg de matéria seca); d é o diâmetro à altura do peito (cm) e h é a altura total (m).

Para o povoamento:

Para a elaboração das equações preditivas de biomassa dos carvalhos foram utilizados dados de 152 parcelas. Comprovou-se que a biomassa total (matéria seca) estava fortemente correlacionada com a área basal e com a altura dominante da parcela. Foram ensaiadas diferentes tipos de equações, com uma ou duas variáveis independentes. Os melhores resultados obtiveram-se com as seguintes equações:

$$W = 1907,903 (G \times Hd)^{0,66726}$$

$$W = 2772,652 G$$

Onde:

W é a biomassa total (Kg de matéria seca/ha), Hd é a altura dominante (m) e G é a área basal por hectare (m²/ha).

Os resultados demonstram que se podem obter estimativas muito precisas de biomassa de carvalho a partir de variáveis directa ou indirectamente mensuráveis no campo, principalmente a área basal e a altura dominante. O aperfeiçoamento de métodos que permitam medir com precisão a área basal de massas compostas por um grande número de árvores de pequeno diâmetro pode supor, por conseguinte, um avanço muito importante face à gestão dos carvalhos e outros arbustos de características semelhantes. A área basal é facilmente obtida ou a partir dos diâmetros individuais das árvores da parcela ou pela prova de numeração angular; a altura dominante é uma das variáveis mais calculadas, com base nos valores de altura total das árvores dominantes, já que, quando em conjunto com a idade, é um indicador da qualidade dos povoamentos florestais.

Montero *et al.* (2004) desenvolveram equações de biomassa para as espécies *Quercus pyrenaica* e *Pinus sylvestris*. Para o carvalho-negral foram utilizados dados de pesagem de 132 árvores, amostragem realizada em Rascafría pelo Departamento de Silvicultura do CIFOR-INIA, em 1995, bem como dados de um estudo realizado em La Rioja, em que se pesaram, em verde, as várias fracções de biomassa das amostras das árvores abatidas. As fracções de biomassa consideradas foram: madeira grossa (diâmetro > 7 cm, incluindo o tronco), ramos finos (2 < diâmetro < 7 cm) e raminhos (diâmetro < 2 cm, incluindo as folhas).

Estes autores realizaram um ajustamento estatístico dos valores das amostras para cada fracção de biomassa das duas espécies, mediante equações que relacionam a biomassa (seca) com o d. Estas equações apresentaram um coeficiente de correlação alto pelo que se optou por não introduzir a altura da árvore como variável independente (para além do d). Foram testados diferentes modelos, sendo escolhido o que garantiu melhores resultados:

$$\log (w) = a + b \log (d)$$

Sendo:

w, a biomassa de cada componente, em kg de matéria seca; d, o diâmetro medido a 1,30 m de altura, em cm; a e b, parâmetros da equação. Corrigindo o enviesamento associado à transformação logarítmica obtém-se a seguinte equação:

$$w = e^{a^2/2} e^b d^c$$

componente	a	b	c
aérea total	0,247318	-2,59695	2,53453
madeira grossa (incluí o fuste)	0,595291	-4,22110	2,95974
ramos finos	0,497009	-1,97519	1,77301
raminhos (incluí as folhas)	0,562992	-4,85139	2,38766

Quanto aos resultados deste modelo de regressão, verificou-se a sua maior adequação ao cálculo de biomassa dos ramos finos e raminhos e pior desempenho para a madeira grossa, sendo este facto muito comum em estudos de biomassa. A fracção que apresentou maior variabilidade foi a madeira grossa (que, neste caso, inclui o tronco).

Pinus pinaster

Faias (2008) realizou um estudo com o objectivo de quantificar a biomassa e a consequente quantificação da fixação de carbono para a espécie florestal pinheiro bravo. Foi ajustado simultaneamente um sistema de equações que permitiu estimar, ao nível da árvore, a biomassa aérea total e a biomassa por componentes (lenho, casca, ramos e folhas) daquela espécie, objectivando conseguir uma ferramenta para estimar a respectiva biomassa com aplicação generalizável a Portugal.

De acordo com Faias (2008), os dados de biomassa usados para o desenvolvimento do sistema de equações foram obtidos pelo método destrutivo em diversos locais de Portugal, em áreas mais representativas do pinheiro bravo, como se elenca:

- Num estudo desenvolvido por Lopes (2005), foram utilizadas 30 árvores de povoamentos localizados no Norte de Portugal, na região de Vila Real, com o objectivo de aprofundar o conhecimento relativo à Produtividade Primária Líquida do pinheiro bravo;

- Pascoa *et al.* (2004) usaram 26 árvores oriundas da Mata Nacional de Leiria;
- Foi utilizada uma amostra igual (26 árvores) com origem no mesmo local, enquadrada no projecto AGRO – Medida 8.1, Desenvolvimento Experimental e Demonstração no âmbito do projecto nº 511 (Demonstração da Monitorização de indicadores de sustentabilidade na Mata Nacional de Leiria);
- Foram utilizadas 22 árvores com origem no centro de Portugal (Viseu, Lousã, Covilhã), para materialização do projecto FMERS II, Forest monitoring in Europe with remote sensing (1998-1999) – UE contract nº 14154-1998-07 F1ED ISP SE;
- Por fim, tendo por base o projecto AGRO – Medida 8.1, Desenvolvimento Experimental e Demonstração no âmbito do projecto nº 543 (O sequestro de carbono e a gestão florestal sustentável no Sul de Portugal), foram abatidas 11 árvores na região Sul de Portugal, em Alcácer.

Em conclusão, foram utilizados dados de 115 árvores abatidas em diversos locais representativos desta espécie, conforme indicado no quadro 2.

Quadro 2: Caracterização de 115 árvores usadas para o desenvolvimento de equações de biomassa (Faias, 2008)

Local	Número árvores		d (cm)	h (m)
Alcácer	11	Mínimo	9,1	11,7
		Média	29,2	17,8
		Máximo	45,4	23,8
Covilhã	3	Mínimo	5,5	8,1
		Média	9,8	11,5
		Máximo	20,4	14,3
Leiria	52	Mínimo	3,9	4,7
		Média	26,2	16,4
		Máximo	67,5	32,5
Lousã	7	Mínimo	5,5	7,8
		Média	12,3	10,5
		Máximo	22,6	13,4
Viseu	12	Mínimo	9,6	13,0
		Média	18,1	18,6
		Máximo	31,5	22,3
Vale do Tâmega	30	Mínimo	7,5	3,5
		Média	20,3	11,8
		Máximo	35,7	22,2

Onde d é o diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm), h é a altura total (m).

Os dados de biomassa das árvores recolhidos nos estudos referidos, incluem os seguintes componentes: tronco sem casca (w_w), casca (w_b), ramos (w_{br}), agulhas (w_l) e biomassa aérea (w_a); referência para o facto de no estudo de Lopes (2005), a casca não ter sido separada do tronco, pelo que não existe a separação entre w_w e w_b . Em todos os estudos foram recolhidos, no campo, os pesos verdes de todas as componentes. A determinação da razão peso verde/seco implicou, na maioria dos casos, a estratificação. O tronco foi torado e foi retirado uma rodela de cada toro e a copa foi dividida em três camadas.

Por fim, a biomassa aérea da cada árvore foi obtida como resultado da soma das biomassa de cada componente, a saber: tronco sem casca, casca, ramos e agulhas.

Os modelos alométricos considerados neste trabalho para cada componente de biomassa foram:

$$w = k d^a$$

$$w = k d^a x^b$$

Onde k , a e b são parâmetros de regressão, w é a biomassa total acima do solo ou de cada uma das componentes da árvore e d e x são, respectivamente, o diâmetro medido a 1,30 m de altura e a altura total ou uma variável relacionada com a copa da árvore.

As equações propostas para estimar a biomassa das árvores foram obtidas utilizando os seguintes procedimentos:

- (a) Selecção de um modelo alométrico para cada componente da árvore;
- (b) Ajustamento do modelo alométrico para cada componente expressando as constantes alométricas como função das variáveis do povoamento;
- (c) Ajustamento simultâneo do sistema de equações de cada componente da árvore tendo por princípio que a biomassa total acima do solo resulta da soma da biomassa das componentes;
- (d) Avaliação do sistema de equações, tendo em conta a consideração ou não da variável idade do povoamento.

Para a fase de ajustamento de cada componente, obtiveram-se as seguintes equações de biomassa (quadro 3), incluindo ou não a variável idade do povoamento:

Quadro 3: Equações finais seleccionados para cada componente com parâmetros estimados de forma independente e a sua eficiência correspondente (nº de árvores=115) (Faias, 2008).

Componentes das árvores	Equações	Ef.
Tronco sem casca (ww)	$ww = (0,0066 t^{0,6314}) d^{1,8444} h^{0,5968}$	0,9422
	$ww = 0,0120 d^{1,9771} h^{1,0923}$	0,8978
Casca (wb)	$wb = (0,0090 t^{0,4979}) d^{1,8631}$	0,8353
	$wb = 0,0144 d^{2,2929}$	0,8012
Tronco com casca (ws)	$ws = (0,0089 t^{0,5843}) d^{1,8813} h^{0,5621}$	0,9256
	$ws = 0,0134 d^{2,0020} h^{1,0698}$	0,8760
Ramos (wbr)	$wbr = 0,00384 d^{2,7820}$	0,8642
Agulhas (wl)	$wl = 0,0637 d^{1,5950} (h/d)^{-0,6758}$	0,7881
Biomassa Aérea (wa)	$wa = (0,0125 t^{0,4209}) d^{2,1261} h^{0,4759}$	0,9381
	$wa = 0,0228 d^{2,1509} h^{0,8117}$	0,9216

Onde w^* é a biomassa seca total aérea ou por componente da árvore (kg); d é o diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm); h é a altura total (m); t é a idade da árvore (anos). Ef. é a eficiência de modelação.

Após o ajustamento simultâneo, resultaram as seguintes equações (quadro 4):

Quadro 4: Equações seleccionadas para cada componente, com parâmetros simultaneamente estimados, aparentemente não relacionados, através de uma regressão, incluindo o parâmetro da idade (Faias, 2008).

Componentes das árvores	Equações	Ef. ($R^2_{aj.}$)
Tronco sem casca (ww)	$ww = (0,006249 t^{0,408223}) d^{1,805945} h^{0,945397}$	0,9332
Casca (wb)	$wb = (0,008 t^{0,358303}) d^{2,081983}$	0,7813
Ramos (wbr)	$wbr = 0,003372 d^{2,807565}$	0,8846
Agulhas (wl)	$wl = 0,061843 d^{1,618916} (h/d)^{-0,57473}$	0,7888
Tronco com casca (ws)	$ws = ww + wb$	0,9234
Biomassa Aérea (wa)	$wa = ww + wb + wbr + wl$	0,9344

Para o mesmo modelo, após o ajustamento simultâneo, sem consideração da variável idade do povoamento, obtiveram-se as seguintes equações de biomassa (quadro 5):

Quadro 5: Equações seleccionadas para cada componente, com parâmetros simultaneamente estimados, aparentemente não relacionados, através de uma regressão, sem consideração do parâmetro da idade (Faias, 2008).

Componentes das árvores	Equações	Ef. (R²aj.)
Tronco sem casca (ww)	ww = 0,011565 d ^{1,868252} h ^{1,216072}	0,9159
Casca (wb)	wb = 0,015953 d ^{2,274024}	0,8032
Ramos (wbr)	wbr = 0,003971 d ^{2,763628}	0,8869
Agulhas (wl)	wl = 0,065631 d ^{1,612475} (h/d) ^{-0,547370}	0,7908
Tronco com casca (ws)	ws = ww + wb	0,9077
Biomassa Aérea (wa)	wa = ww + wb + wbr + wl	0,9171

Com este estudo, desenvolveu-se uma ferramenta de trabalho fiável para predição da biomassa da árvore e suas componentes para o pinheiro bravo. Como variáveis foram utilizadas o d, a altura total e a idade do povoamento, tendo-se conseguido um conjunto de equações compatíveis. Contudo, sabendo que o conhecimento da idade do povoamento é frequentemente inexistente, foi testado um segundo sistema de equações excluindo esta variável que garante, igualmente, bons resultados no que respeita à estimativa de biomassa.

Num estudo de Arnaldo *et al.* (2010), foram desenvolvidas e utilizadas equações de biomassa para povoamentos de pinheiro bravo, com uma idade máxima de 13 anos, localizados no Nordeste de Portugal, para analisar os efeitos da processionária no acréscimo de biomassa, em consequência da desfolhação.

Para o ajustamento destas equações foram amostradas 30 árvores, pelo método destrutivo. Foram ajustados modelos não-lineares, usando como variáveis independentes o diâmetro a uma altura do chão de 10 cm ($d_{0,10}$), a altura total (h), ambas as variáveis ($d_{0,10} + h$) e $d_{0,10}^2 h$. Foram efectuadas medições das variáveis $d_{0,10}$, d, h e calculado o volume total (v) (com base no diâmetro e comprimento dos toros) das árvores e posteriormente calculada a correlação de Pearson entre a biomassa total (soma da biomassa das componentes tronco, folhas, ramos e pinhas) e as biomassas parciais (folhas e tronco), a fim de identificar as variáveis

independentes mais adequadas. Os resultados deste trabalho demonstraram que a variável/combinção de variáveis mais interessante foi $(d_{0,10} + h)$.

As árvores foram distribuídas aleatoriamente em dois grupos: 24 foram seleccionadas para a fase de ajustamento das equações e 6 para a fase de validação.

A revisão bibliográfica realizada permitiu ainda encontrar mais modelos de biomassa para outras espécies de *Pinus*, ainda que não especificamente o pinheiro bravo.

Montero *et al.* (2004) referem um estudo que decorreu em três pontos diferentes, todos no Sistema Central, La Morcuera, na província de Madrid e, El Raso e Valsaín, na província de Segóvia. Os dados resultantes das pesagens em La Morcuera e El Raso foram abatidas 134 árvores. O estudo em El Raso envolveu 149 árvores, nas classes de diâmetro de 15 a 30 cm. A amostra de Valsaín incluiu o abate de 33 árvores, envolvendo todas as classes de diâmetro. Nas árvores abatidas nos três locais foram medidas as variáveis d , a altura total e a altura do fuste até 7 cm. Uma vez desramadas, procedeu-se à separação em fracções de biomassa: ramos com diâmetro > 7 cm, ramos com diâmetros entre 2 e 7 cm e ramos com diâmetro < 2 cm (onde as agulhas também estão incluídas). Foram cubados os troncos e pesadas em verde as diferentes fracções.

O modelo utilizado para a estimativa da biomassa seca das diferentes fracções de biomassa de pinheiro silvestre foi da forma:

$$\log(w) = a + b \log(d),$$

Onde: w é a biomassa de cada fracção (kg de matéria seca); d (cm) é o diâmetro medido a 1,30 m de altura da árvore; a , b são parâmetros da regressão.

Montero *et al.* (2005), ajustaram equações de biomassa para diversas espécies florestais no território Espanhol, as quais incluíram o pinheiro bravo e o carvalho-negral.

Neste estudo foi utilizada uma equação alométrica, relacionando a biomassa seca total ou dos componentes das árvores, com o seu diâmetro médio a 1,30 m de altura (d), sendo a equação do tipo:

$$w = \alpha \cdot d^\beta$$

Onde: w corresponde à biomassa seca total ou dos componentes das árvores (kg), d ao diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm) e α e β aos parâmetros de regressão da equação.

Mikšys *et al.* (2007), apresentam um estudo em pinheiro silvestre (*Pinus sylvestris* L.) na Lituânia, onde é processado o potencial biomassa decorrente da remoção em acções de desbastes. Foram escolhidos povoamentos de idades de 10, 20, 40, 50 e 65 anos para o estudo de biomassa, sendo amostradas 5 árvores de pinheiro silvestre por parcela (no total 25 árvores) que foram agrupadas de acordo com a área basal. Os componentes de cada árvore foram amostrados para as medições de biomassa acima do solo, envolvendo: (a) cinco discos do tronco, (b) um ramo com agulhas de cada verticilo e (c) um ramo seco por árvore. As biomassas observadas de cada componente acima do solo foram examinadas, utilizando um modelo de regressão não-linear, assumindo como variáveis independentes o diâmetro do tronco (d), a altura da árvore (h), d^2h e d e h juntos. A equação considerada foi a seguinte:

$$w = a_0 \cdot P_1^{a_1} \cdot P_2^{a_2} \cdot \dots,$$

Onde w representa a biomassa (biomassa das agulhas, biomassa dos ramos, etc.); a_0 , a_1 , a_2 , ... são os coeficientes; e P_1 , P_2 , ... são os parâmetros das árvores (d, h, d^2h).

Foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2) para avaliar a adequação dos modelos. Aos modelos mais adequados foram aplicados os dados de biomassa relativos às 25 árvores da amostra com o objectivo de conseguir equações de relação entre os componentes de biomassa da árvore e os parâmetros morfométricos d e h.

Para a biomassa do tronco, a melhor aproximação decorreu da variável d^2h , o que já não se verificou para a biomassa da copa pois esta variável não reflecte os efeitos opostos, intrínsecos

ao diâmetro e altura, no cálculo da biomassa da copa, sendo que, o confirmado aumento de biomassa total com a idade é resultante do crescimento do tronco.

Os dados obtidos em povoamentos de pinheiro silvestre de diferentes idades revelou que, em geral, a biomassa da copa da árvore aumentou com o aumento da variável diâmetro à altura do peito (d), mas tem uma diminuição relativa com o aumento da variável altura (h) para o mesmo diâmetro (d), devido ao efeito negativo de h no comprimento da copa. Consequentemente, d e h foram utilizadas como variáveis independentes, com parâmetros ajustados em separado nas equações para os diferentes componentes da biomassa da copa. Por outro lado, a biomassa do tronco aumentou com o crescimento de d e h.

2.2 As florestas como fixadoras de carbono

A influência Humana sobre o clima no planeta está a tornar-se cada vez mais evidente, sendo que as respectivas observações científicas provam a existência de uma tendência de aquecimento global (Lindner *et al.*, 2010).

Com o aquecimento do planeta, causado pelo aumento de gases com efeito de estufa, a estimativa da remoção de carbono da atmosfera pela vegetação, nomeadamente pelas florestas, ganhou uma relevância nunca prevista ou estimada em estudos anteriores (Barreto, 2010).

A actividade humana sobre o planeta Terra, seja através da pressão industrial, seja no sector primário (de que é exemplo a desflorestação em grande escala), seja pelo crescimento galopante das necessidades de transportes, seja ainda pela expansão e peso das actividades urbanas e imobiliária associada, está a provocar emissões de quantidades crescentes de gases, na atmosfera, em especial o dióxido de carbono (CO₂) (Houghton, 2004).

O nível de CO₂ na atmosfera está directamente relacionado com os ecossistemas terrestres, através do ciclo global de carbono. As plantas verdes absorvem o CO₂ atmosférico e convertem-no em celulose e outros compostos orgânicos; muitos destes, de que são exemplo a madeira e alguns compostos orgânicos do solo, são relativamente estáveis e retêm o carbono durante muitos anos, até que este seja novamente libertado na forma gasosa, seja devido à respiração biológica, seja por efeito de combustão (Sampson & Sedjo, 1997).

Todos os anos as emissões de gases adicionam carbono, ao já presente no dióxido de carbono atmosférico, em mais de sete mil milhões de toneladas, sendo que, muito deste gás será susceptível de permanecer na atmosfera por um período superior a cem anos (Houghton, 2004). Como o CO₂ é um bom absorvente da radiação de calor proveniente da superfície da Terra, o aumento daquele funciona como uma cobertura sobre a superfície, mantendo-a forçadamente mais quente, processo com tendência crescente. Com este aumento da temperatura a quantidade de vapor de água na atmosfera também aumenta, contribuindo para uma maior inertização e para uma subida da média da temperatura na superfície terrestre (Houghton, 2004).

Embora este efeito possa parecer, em primeira análise, atraente para as regiões condicionadas por climas frios, a verdade é que um aumento da temperatura global vai provocar alterações climáticas globais, de consequências preocupantes. Caso as alterações venham a ser pequenas, ocorrendo de forma suficientemente lenta, o Homem terá a capacidade de se adaptar a esta mudança. No entanto, com a rápida expansão da indústria mundial e consequentes efeitos, em curso, é improvável que a mudança seja “pequena ou lenta”; com efeito, a ausência de esforços para limitar o aumento das emissões de dióxido de carbono, a temperatura média global aumentará cerca de um terço de um grau Célsius em cada dez anos, ou seja, cerca de três graus no período de um século (Houghton, 2004). Refere a mesma fonte que apesar de poder parecer um aumento pouco significativo, especialmente quando comparado com as amplitudes térmicas diárias, ou variações normais de temperatura entre dias consecutivos, deverá entender-se que não se trata da temperatura de um lugar específico, mas a temperatura média à escala de todo o globo. Com efeito, a taxa prevista de aumento de três graus num século é, provavelmente, superior às taxas de crescimento da temperatura média global, verificada em qualquer momento, nos últimos dez mil anos; ora, como se constata existir uma diferença na temperatura média global de apenas cinco ou seis graus entre o momento mais frio de uma idade do gelo e os períodos mais quentes, entre eras glaciais, podemos concluir que alguns graus nessa média global podem representar uma grande mudança climática. É por esta mudança e, especialmente, por força do ritmo muito acelerado da sua implementação que muitos ecossistemas e comunidades humanas (especialmente as dependentes de países em desenvolvimento) passarão dificuldades sérias de adaptação.

Neste contexto, os ecossistemas florestais têm um impacto significativo na contribuição para o ciclo global do carbono, para além do especial realce na sua função de mitigação dos efeitos das alterações climáticas. Ao invés, constata-se que as mudanças climáticas globais afectam negativamente os ecossistemas florestais, reduzindo a produtividade e alterando a composição e estrutura das florestas, em muitas regiões do globo (Genet *et al.*, 2011).

No entanto, segundo Houghton (2004), nem todas as mudanças climáticas devem ser consideradas adversas. De facto, enquanto certos locais do globo passam por secas mais frequentes e graves, inundações ou significativa subida do nível das águas do mar, noutras regiões os rendimentos das culturas podem aumentar devido ao efeito de fertilização decorrente do dióxido de carbono, ou mesmo, serem melhoradas as condições de habitabilidade em determinadas áreas, de que será exemplo o sub-ártico. Porém, a mudança

será claramente desequilibrada, sendo esperados problemas graves, de que são exemplos: danos estruturais significativos em edifícios das áreas ribeirinhas sujeitas à subida dos níveis freáticos (nas regiões mais sujeitas ao degelo); as árvores das florestas vão precisar de um longo período de tempo para se adaptarem aos regimes do novo clima, em especial as das regiões do sub-ártico.

Será também em função destas crescentes preocupações que a floresta assume uma função insubstituível cuja importância não pode ser subestimada. Assim sendo, realce-se que as florestas constituem o “maior reservatório” de carbono de todos os ecossistemas terrestres, graças ao potencial de sequestro de carbono (Razakamanarivo *et al.*, 2011).

A conexão directa entre os níveis atmosféricos de CO₂ e os ecossistemas terrestres incentiva os governos e entidades privadas a investir no aumento da área de florestas como uma forma de potenciar a conversão do CO₂ atmosférico existente, em *stock* de carbono terrestre sequestrado. Os mesmos efeitos, para os mesmos objectivos, são conseguidos através da diminuição da taxa de libertação de carbono para a atmosfera, por força do esforço de conservação das florestas existentes e pela conversão destas em produtos de formas estáveis (Sampson & Sedjo, 1997).

As políticas públicas e as decisões de investimento privado sobre os programas de gestão de carbono, estão dependentes de análises económicas que permitam uma criteriosa comparação entre as diversas opções disponíveis. Os estudos em causa revestem-se de um elevado grau de complexidade, pelo facto de estarmos perante um objectivo global – maximização do sequestro e armazenamento de carbono em sistemas terrestres – que, basicamente, se prende com um benefício público, sem fronteiras. Neste contexto, será obrigatório que a comunidade internacional consiga o acordo e estabelecimento de valores de referência que definam a estruturação de regras do respectivo “mercado”. Neste enquadramento são de realçar as variáveis de incerteza adicional, como sejam o desconhecimento das futuras taxas efectivas de crescimento florestal, a variabilidade das condições climáticas, a probabilidade de distúrbios naturais, de que são exemplos as epidemias de insectos, doenças que afectam a floresta em crescimento, ou o risco de incêndios florestais que podem deitar tudo a perder. Têm ainda influência fundamental as decisões que envolvem as práticas de gestão florestal e que podem afectar muito a dinâmica do carbono da floresta, dependente de factores como a selecção de

práticas correctas durante o período de colheita e de reflorestação, ou como o destino final de utilização da biomassa, após a colheita (Sampson & Sedjo, 1997).

Refere ainda esta fonte merecer especial relevo o facto de ser necessário adicionar às incertezas biológicas e ambientais as variáveis económicas, políticas, jurídicas e culturais que podem rivalizar ou mesmo ultrapassar as do mundo natural.

Os sumidouros de carbono (processos ou actividades que removem da atmosfera os gases com efeito de estufa) são considerados um dos meios de redução de gases com efeito de estufa, conforme acordado no Protocolo de Quioto – Protocolo da Convenção das Nações Unidas sobre alterações Climáticas (Zabek & Prescott, 2006).

O Protocolo de Quioto define como objectivos, na relação com o Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, a redução da libertação de carbono armazenado na vegetação, o que se traduz na redução da desflorestação e da degradação florestal e a produção de sumidouros de carbono, compostos por vegetação, directamente decorrentes de florestação e reflorestação. Estes serão dois métodos eleitos, entre os vários definidos para reduzir as emissões líquidas de CO₂ na atmosfera. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) do Protocolo de Quioto vai incentivar projectos de florestação e reflorestação a estabelecer e financiar nos países em desenvolvimento, como contrapartida de equilíbrio das emissões de carbono dos países industrializados, por forma a que sejam alcançadas as metas de redução de emissões. Neste sentido, confirma-se o enorme interesse na prossecução de estudos científicos que permitam rigorosas estimativas da biomassa de florestas e plantações, o que implica a necessidade de explorar exaustivamente o conhecimento de todos os componentes da biomassa (Razakamanarivo *et al.*, 2011).

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a todo o Distrito de Vila Real, onde se encontram parcelas permanentes de povoamento puros, quer de pinheiro bravo, quer de carvalho-negral, e mistos de ambas as espécies (figura 1). Estas parcelas foram instaladas no âmbito do Inventário Florestal Nacional de 2006 (IFN 2005 - 06).

Este estudo enquadra-se no âmbito de um projecto de povoamentos mistos – o projecto PTDC/AGR-CFL/68186/2006: “Florestal Mistos, Modelação, Dinâmica e Distribuição Geográfica da Produtividade e da Fixação de Carbono nos ecossistemas Florestais Mistos em Portugal”.

O trabalho prático no âmbito deste estudo iniciou-se com o abate de árvores na área circundante das parcelas permanentes, recaindo a escolha em árvores com dimensões equivalentes às das árvores médias das parcelas consideradas.

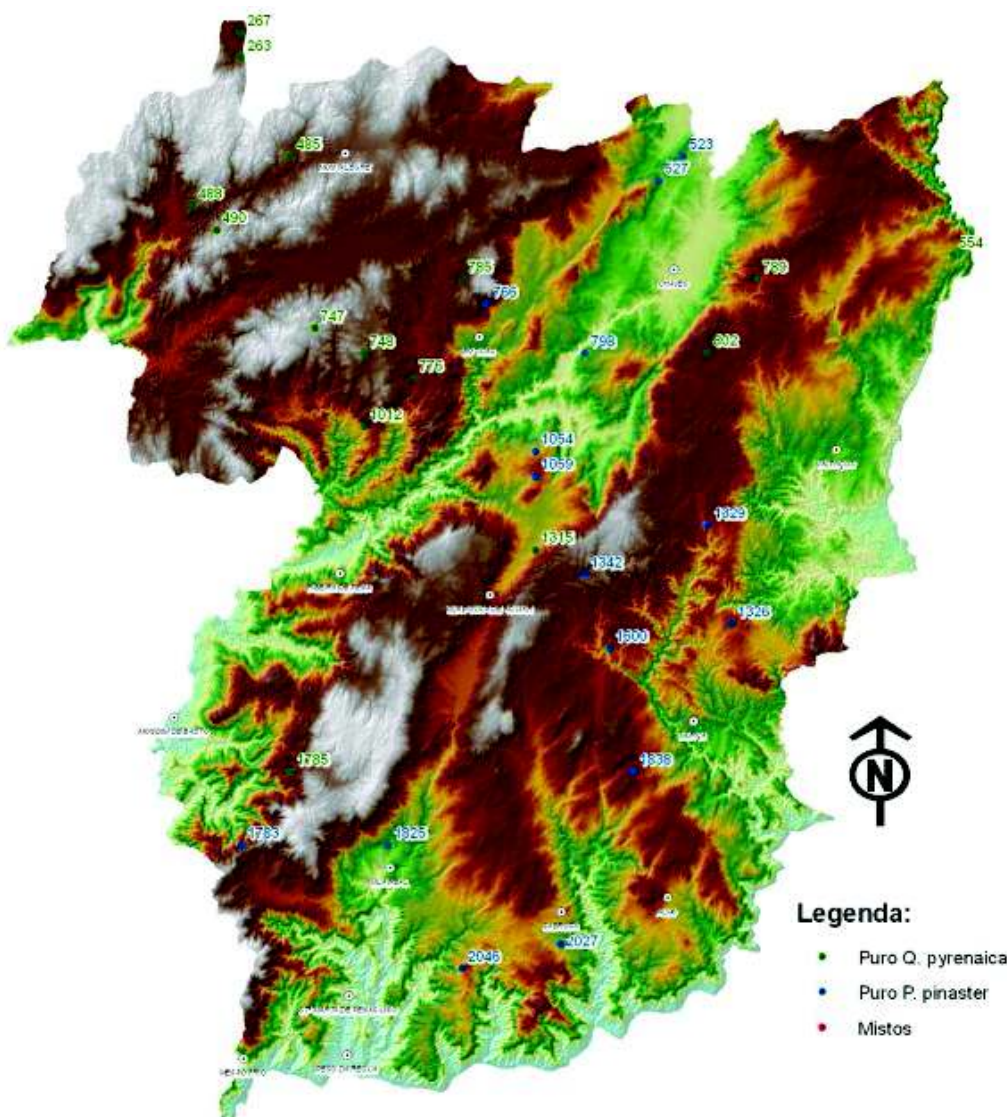


Figura 1: Localização das parcelas permanentes na área de estudo (fonte: própria).

As figuras 2 a 6, pretendem caracterizar o Distrito de Vila Real, a nível de Ecologia, Fitogeografia, Precipitação, Solos e Temperatura, respectivamente.

Relativamente à ecologia da área de estudo (figura 2), verifica-se que existe uma significativa variação Fitoclimática, considerando a existência de manchas desde a Zona Basal (inferior a 400 m) até à Zona Erminiano (superior a 1300 m). Apesar desta variação, as Zonas Ecológicas predominantes são a Montano (700 a 1000 m), com cerca de 35%, Submontano (400 a 700 m), com cerca de 30% de ocupação cada uma e a Zona Ecológica Fitoclimática Altimontano (1000 a 1300 m), com cerca de 15% de ocupação.

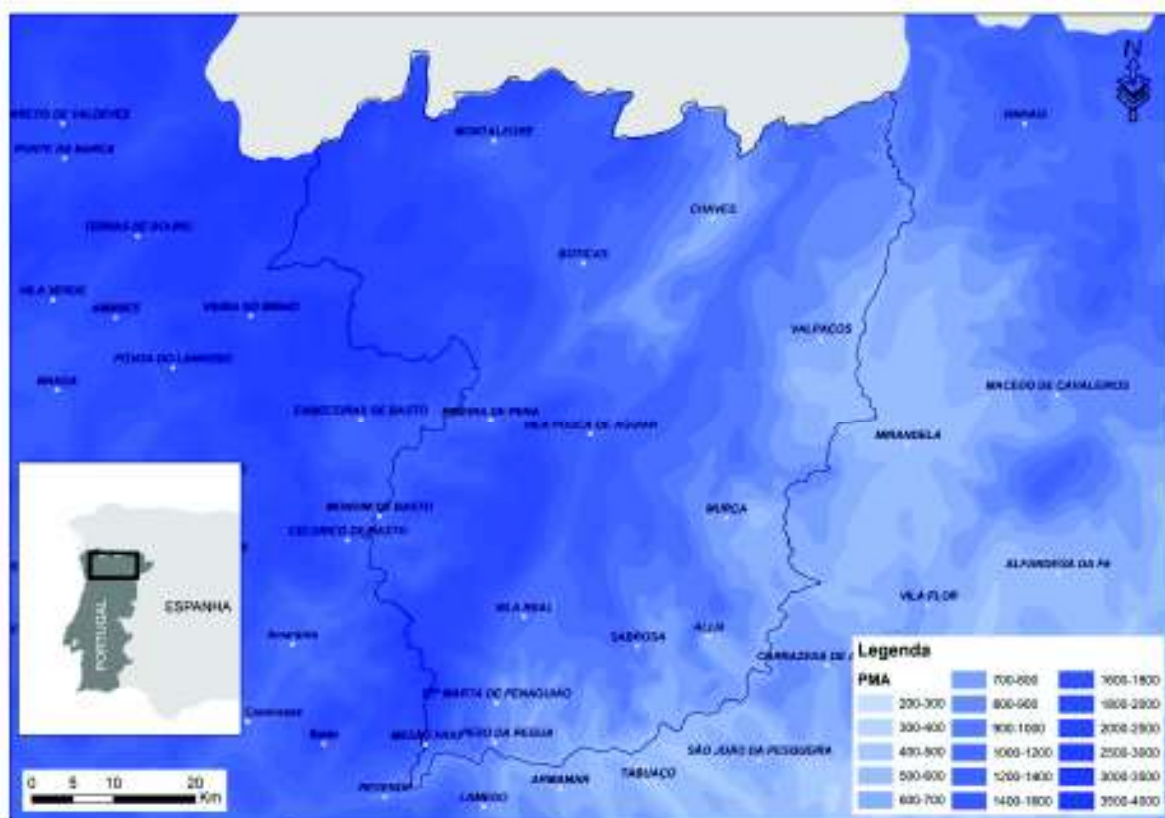


Figura 4: Mapa de precipitação do Distrito de Vila Real (fonte: própria).

O solo do Distrito de Vila Real (figura 5) caracteriza-se por ser maioritariamente do tipo Cambissolos e, dentro destes, sobressaem os Cambissolos Húmicos. Embora de forma mais residual, são também detectáveis manchas de Litossolos e de Rankers, localizando-se aqueles na faixa Nascente do Distrito.

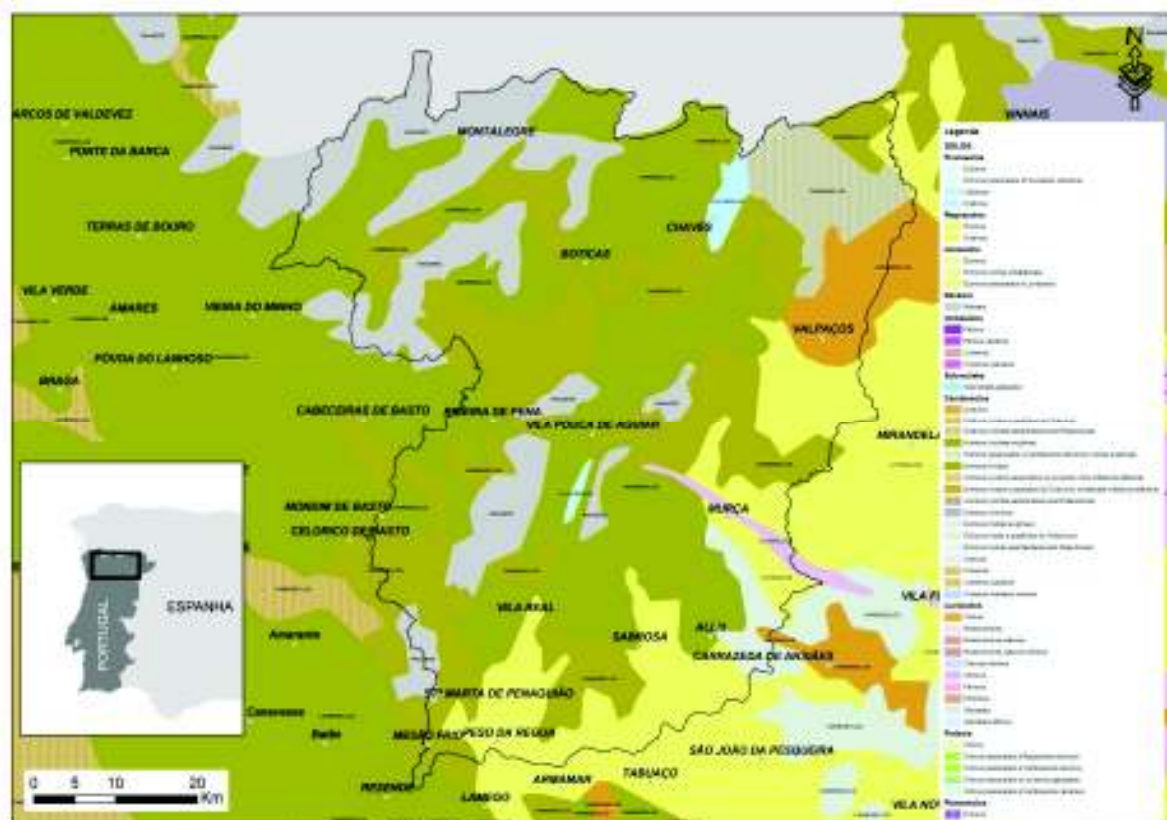


Figura 5: Mapa de solos do Distrito de Vila Real (fonte: própria).

A temperatura média do ar na área de estudo caracteriza-se pela sua quase homogeneidade (figura 6). De facto, a variação é curta com mínimo de 7,5°C e máximo de 16°C, coincidindo as zonas mais frias com as de maior altitude e vice-versa.

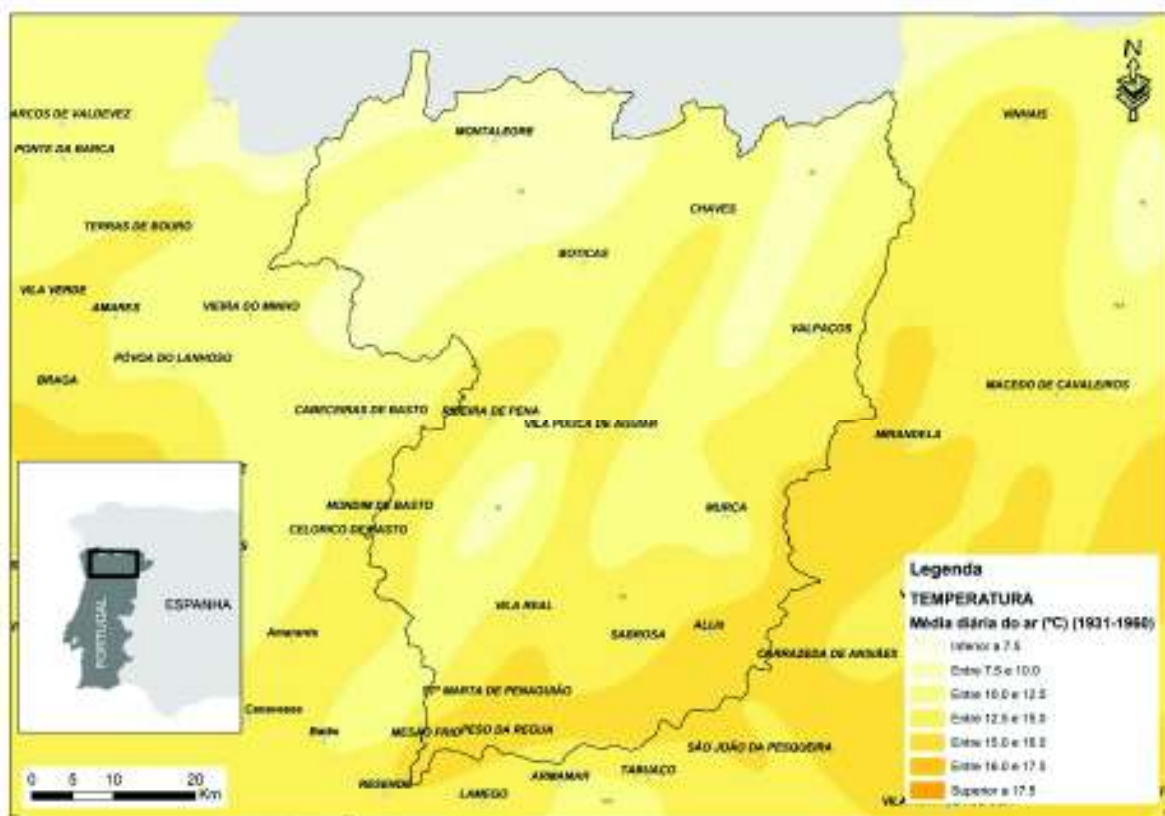


Figura 6: Mapa da temperatura do Distrito de Vila Real (fonte: própria).

4 ESPÉCIES EM ESTUDO

4.1 *Pinus pinaster* Ait. – Pinheiro bravo

O pinheiro bravo é uma espécie predominante no mediterrâneo centro-ocidental, que se encontra desde a Península Italiana e Tunísia até à costa atlântica de África, englobando Marrocos, Península Ibérica e França (figura 7). Suporta maiores altitudes à medida que decresce a latitude e, por isso, em Marrocos é detectável aos 2000 metros de altitude, enquanto que, na zona Norte de Portugal, acima de 800 m começa a vegetar com dificuldade (Loureiro, 1989).

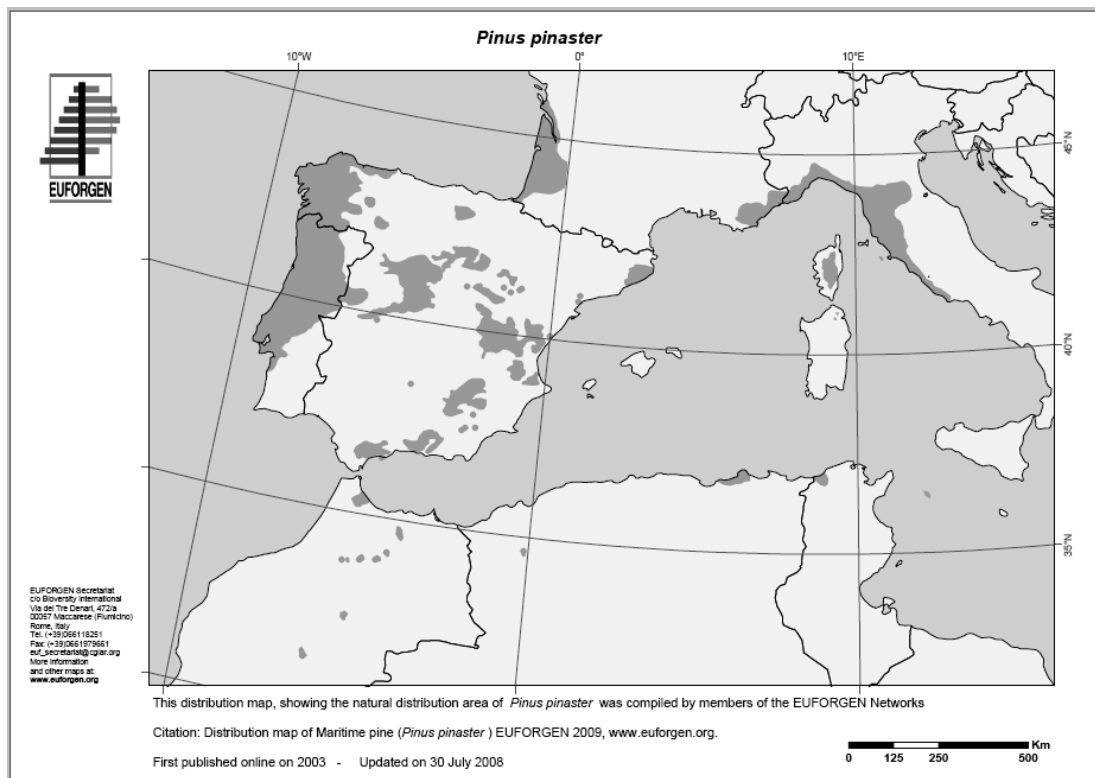


Figura 7: Distribuição da espécie *Pinus pinaster*.

(Link consultado: http://www.euforgen.org/distribution_maps.html, dia 5 de Janeiro de 2011)

O pinheiro bravo é a resinosa autóctone mais representada em Portugal Continental, ocupando, segundo o Inventário Florestal Nacional de 2006 (AFN, 2010), uma área de 885 019 ha (povoamentos puros e mistos dominantes), de um total de 3.175.348 ha arborizados.

Dentro do género *Pinus* é uma espécie intolerante ao ensombramento, utilizada na arborização de terrenos muito pouco férteis e nas cadeias montanhosas do norte e centro (Correia & Oliveira, 2003).

Quanto às exigências edafoclimáticas, e relativamente à temperatura, o pinheiro bravo estende-se pela zona do *Lauretum* e pela parte inferior da zona do *Castanetum*, isto é, na subzona quente, sobretudo onde se verifique influência atlântica (Loureiro, 1989). Caracteriza-se por ser uma espécie que se desenvolve bem em zonas com temperatura média anual no intervalo 13°C a 15°C. Admite temperatura média do mês mais quente igual ou inferior a 20°C e temperatura média do mês mais frio entre 8°C e 10°C. As temperaturas muito baixas, rondando os -15°C, podem causar a morte das árvores após exposição por alguns dias neste nível de temperaturas. Em termos de altitude, o pinheiro bravo encontra o seu ponto óptimo na zona basal (até 400 m), sofrendo sérias limitações ao crescimento a partir da cota dos 800 m, como já foi referido (Correia & Oliveira, 2003).

Esta espécie prefere zonas com precipitação média anual não inferior a 800 mm, com pelo menos 100 mm durante a estação seca, ou acesso à toalha freática. No entanto, é ainda razoável o seu desenvolvimento em situações cuja queda pluviométrica, no trimestre seco ou mesmo nos quatro ou cinco meses secos, não ultrapassa os 50 mm (Loureiro, 1989; Correia & Oliveira, 2003).

Resiste bem à neve em pó (pouco densa), mas mal à neve húmida, partindo ou dobrando sob o seu peso. As geadas de Primavera (Abril/Maio) podem danificar as suas agulhas novas (Correia & Oliveira, 2003).

No que respeita às propriedades físicas do solo, o pinheiro bravo mostra uma nítida preferência pelos solos permeáveis de textura ligeira, onde o sistema radical se desenvolve melhor, mostrando grande susceptibilidade a solos compactados. É uma espécie que tolera solos pouco profundos, apresentando crescimento normal mesmo para profundidades entre os 30 e 60 cm. As raízes profundantes conseguem atravessar horizontes duros e compactos, se houver fissuras, para busca de um lençol freático ou de alguma humidade. Quanto às propriedades químicas, revela-se uma espécie pouco exigente na nutrição mineral, aceitando uma grande variedade de solos (arenosos, derivados de arenito, de xistos argilosos, de calcários margosos, tendo preferência por terrenos siliciosos ou silico-argilosos), exceptuando os que têm calcário

solúvel e os solos hidromórficos com horizontes de drenagem deficiente. Tolerância baixos níveis de salinidade e de calcário, embora para teores de calcário solúvel elevados apresente cloroses (Loureiro, 1989; Correia & Oliveira, 2003).

A produtividade média, em Portugal, enquadra-se no intervalo 5-10 m³/ha/ano a norte do Tejo e não ultrapassa os 4 m³/ha/ano a sul do Tejo. Nas regiões montanas e submontanas do norte e centro de Portugal as produtividades máximas poderão atingir de 8 a 13 m³/ha/ano (Correia & Oliveira, 2003).

Relativamente à caracterização física da espécie, o pinheiro bravo pode atingir, quando adulto, 30 a 40 m de altura. Na fase jovem a árvore contém ramos muito espaçados em amplos verticilos. O tronco nas árvores adultas não apresenta ramos em grande parte da sua extensão, pelo facto dos inferiores irem caindo à medida que vão morrendo, o que contribui para que as árvores apresentem largas copas achatadas, abobadadas ou ainda irregulares. A espécie dispõe de ritidoma espesso, profundamente fendido, castanho/vermelho e escuro. As folhas são aciculares de 10 a 25 cm de comprimento, agrupadas em pares e as estruturas reprodutivas são pinhas de 8–22 por 5–8 cm, simétricas (ou quase simétricas) na base, com apófises romboidais, carenadas e com umbigo proeminente. A semente (penisco) é alada (com asas) de 7-8 mm até 30 mm (Humphries *et al.*, 2005; Bingre *et al.*, 2007).

4.2 *Quercus pyrenaica* L. – Carvalho-negral

Esta espécie é vulgarmente designada por carvalho-negral, carvalho-pardo ou carvalho-das-beiras, por “rebollo” em Espanha e “chêne tauzin” em França e Marrocos (Carvalho, 1995). A área natural desta espécie é relativamente limitada, circunscrevendo-se sobretudo à Península Ibérica, estendendo-se, ainda, ao Norte de África, a Marrocos, e à parte ocidental de França (figura 8). É uma espécie autóctone em Portugal, encontrando-se em todo o país, com excepção das regiões do Baixo Alentejo e Algarve (figura 8).

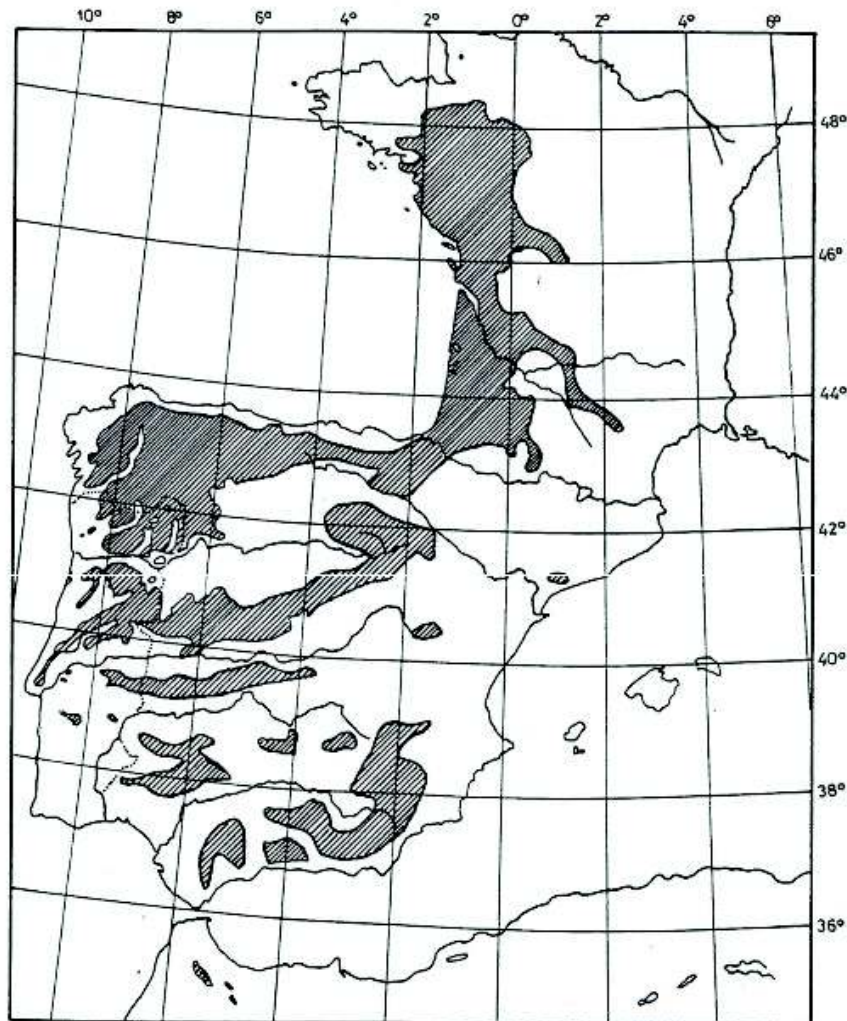


Figura 8: Distribuição da espécie *Quercus pyrenaica* (Carvalho, 1995).

O carvalho-negral é uma espécie de meia-luz, embora a tolerância à sombra esteja dependente das condições do meio e varie com a idade, sendo a luz um factor importante para o crescimento e frutificação; pode atingir uma longevidade entre 150 e 300 anos (Carvalho, 1995; Correia & Oliveira, 2003).

Quanto às características climáticas que condicionam o seu crescimento, refere-se que a temperatura média anual na sua área de ocorrência natural em Portugal Continental varia entre 5 e 16°C, embora seja uma espécie que suporta bem o frio. A precipitação média anual é, em geral, superior a 500 mm, ultrapassando, por vezes, os 2000 mm. O carvalho-negral é uma espécie resistente aos ventos e à neve (Correia & Oliveira, 2003).

No que respeito às características dos terrenos que lhe servem de base, é de realçar que se trata de uma espécie que se desenvolve em todo o tipo de solos, excepto os derivados de serpentinitos ou anfibolitos, ou com calcário activo. Esta espécie demonstra preferência por solos siliciosos, puros ou com argila, graníticos, gneissicos e sílico-arenosos (Alves, 1988).

A produtividade do carvalho-negral é cerca de 2 m³/ha/ano (Correia & Oliveira, 2003).

Relativamente à caracterização física da espécie, refere-se que pode atingir, no estado adulto e em condições favoráveis, 25 m de altura, sendo que, em condições edafo-climáticas desfavoráveis, apresenta frequentemente porte arbustivo. Na fase jovem a árvore desenvolve copa ovóide com ramos ascendentes tornando-se, com a idade, mais ampla, arredondada e irregular. Possui tendência frequente a apresentar troncos rectos e esbeltos. O tronco e os ramos mais grossos possuem ritidoma castanho-cinzento-anegrado, espesso e fendido em pequenas placas em linhas longitudinais e os ramos mais finos são ligeiramente tortuosos e tomentosos (Carvalho, 1995).

As folhas são lobadas a partidas (atingindo dois terços da largura da aba da folha), com lobos arredondados no ápice. A folha apresenta-se muito tomentosa (com pêlos densos e acamados), sobretudo na página inferior, de cor cinzenta, exibindo tons violáceos ou rosa nas folhas jovens com um pecíolo comprido (0,5-2 cm). As estruturas reprodutivas são amentos pilosos e têm a bolota como fruto de 1,5-4,5 cm com a cúpula de escamas imbricadas e pilosas (Bingre *et al.*, 2007).

Quanto ao sistema radicular, para além de uma raiz principal apumada apresenta numerosas raízes secundárias com grande capacidade de alongamento e de emissão de rebentos de raiz, o que constitui uma frequente forma de propagação vegetativa da espécie. Este tipo de sistema radicular torna-a bastante resistente aos fortes vendavais. A abundância de raízes secundárias é mais baixa em árvores provenientes de semente do que em árvores provenientes de rebentos de raiz ou de toija (Carvalho, 1995).

5 DADOS E MÉTODOS

5.1 Ajustamento das equações de biomassa

5.1.1 Trabalho de campo

O trabalho de campo associado ao Inventário Florestal de 2005-06 decorreu essencialmente no ano de 2006. Após a realização de novas medições, em 2008, nas parcelas de inventário do IFN 2005-06 seleccionadas para este trabalho e correspondentes a povoamentos puros e mistos de *Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*, foram determinadas as dimensões das árvores médias destas parcelas. Posteriormente, na área circundante a cada parcela (por se se tratarem de parcelas permanentes há que evitar qualquer tipo de interferência) foram localizadas árvores da mesma espécie para abate com dimensão semelhante à da árvore média de cada parcela, para o que foram avaliadas por observação os seus diâmetro e altura.

O protocolo de campo para a determinação da biomassa foi baseado no descrito por Soares (2008).

♦ De forma sumária, com a árvore em pé procedeu-se às seguintes medições (figura 9):

- Diâmetro a 1,30 m de altura da árvore;
- Diâmetro da base (a 15 cm de altura da árvore);
- Altura total;
- Raios de copa, nos sentidos Norte, Sul, Este e Oeste;
- Distância da árvore às árvores circundantes, que interferem com o crescimento da árvore considerada;
- Características das árvores circundantes que interferem no crescimento da árvore a abater, designadamente o d, a altura total, os raios de copa nos sentidos Norte, Sul, Este e Oeste e o azimute.



Figura 9: Medição do diâmetro à altura do peito de um pinheiro.

- ♦ A operação seguinte consistiu no abate da árvore, após o que foram feitas as respectivas medições (figuras 10 e 11):
 - Altura total;
 - Altura da base da copa;
 - Comprimento da copa viva;
 - Altura do cepo.



Figura 10: Abate de uma das árvores de estudo (pinheiro bravo).



Figura 11: Medição da altura total de uma árvore abatida.

- ◆ Sendo a copa dividida em três terços (figura 12), procedeu-se às pesagens dos ramos secos (figura 13) e da copa viva em cada uma destas partes. Em cada um dos terços anteriormente identificados foi recolhido um ramo amostra (figuras 14 e 15), que representasse um ramo médio de cada um destes terços. Esse ramo foi pesado e trazido para laboratório para ser posteriormente tratado.

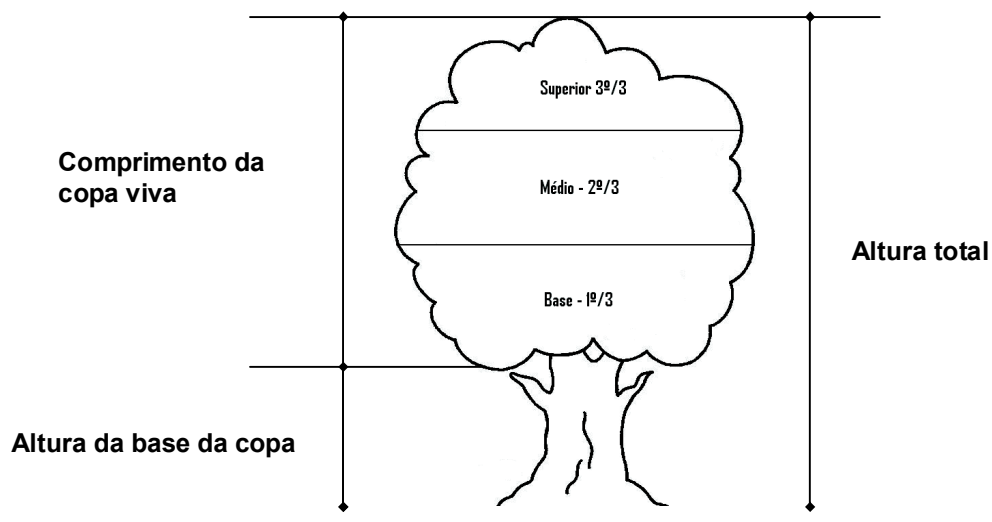


Figura 12: Esquema da divisão da copa em três terços (fonte: própria).



Figura 13: Ramos secos de um dos terços da copa de uma árvore abatida.



Figura 14: Ramo médio de um dos terços da copa de uma árvore abatida (pinheiro bravo): A - separação e B - pesagem.

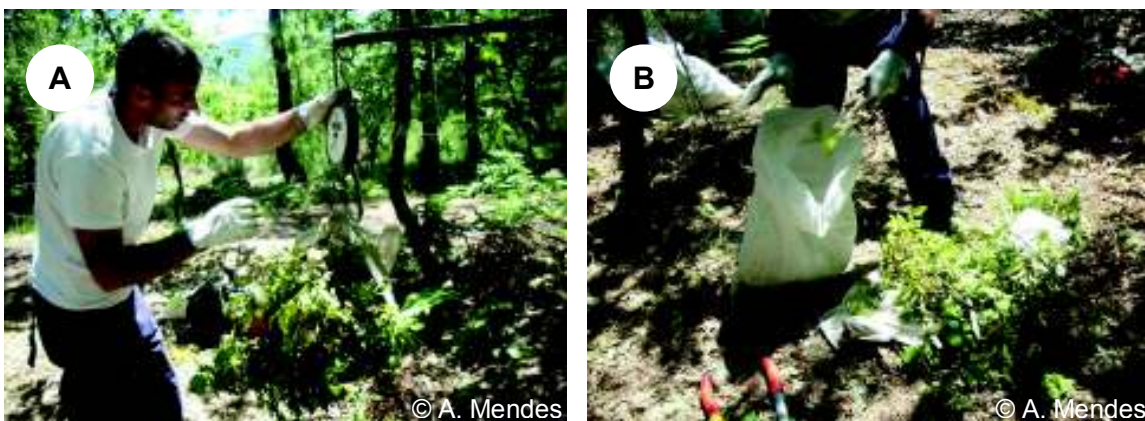


Figura 15: Ramo médio de um dos terços da copa de uma árvore abatida (carvalho-negral): A - pesagem e B - ensacamento para laboratório.

- ♦ Relativamente ao tronco, foram marcadas as alturas e medidos os respectivos diâmetros a essas alturas, desde a base até 1,30 m e a partir daqui de aproximadamente 2,0 em 2,0 m até à bicada (ponto em que o diâmetro do tronco com casca – tem 7,0 cm) (figuras 16 e 17). É importante referir que na definição da secção de corte teve-se o cuidado da não coincidência com pontos de inserção de ramos, pelo que, nem todos os toros, tinham exactamente 2,0 m. Na base de cada toro foi cortada uma rodela com espessura média de 5,0 cm, sendo esta posteriormente pesada e medido o seu diâmetro com casca (figuras 18 a 20). Paralelamente, cada toro foi pesado na totalidade (incluindo a rodela posteriormente trazida para laboratório).

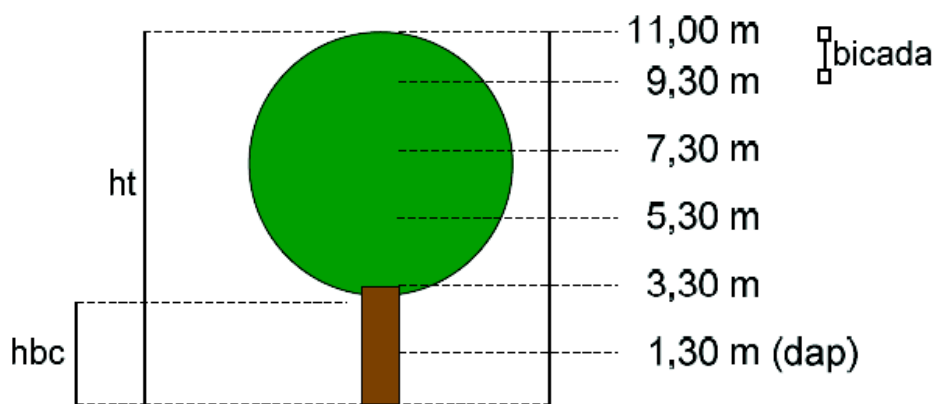


Figura 16: Esquema de cortes e medições a efectuar ao nível da árvore (assumindo neste caso uma altura total de 11 m) (Soares, 2008).

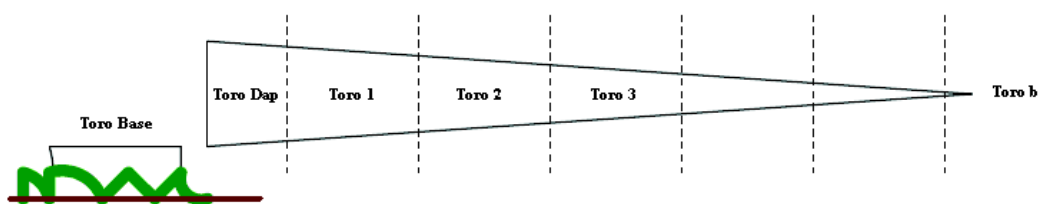


Figura 17: Esquema de cada toro cortado (adaptado de Soares, 2008).



Figura 18: Corte de rodela de toros de árvores abatidas (em locais diferentes).



Figura 19: Rodela de estudo (A); medição do diâmetro de rodela (B).

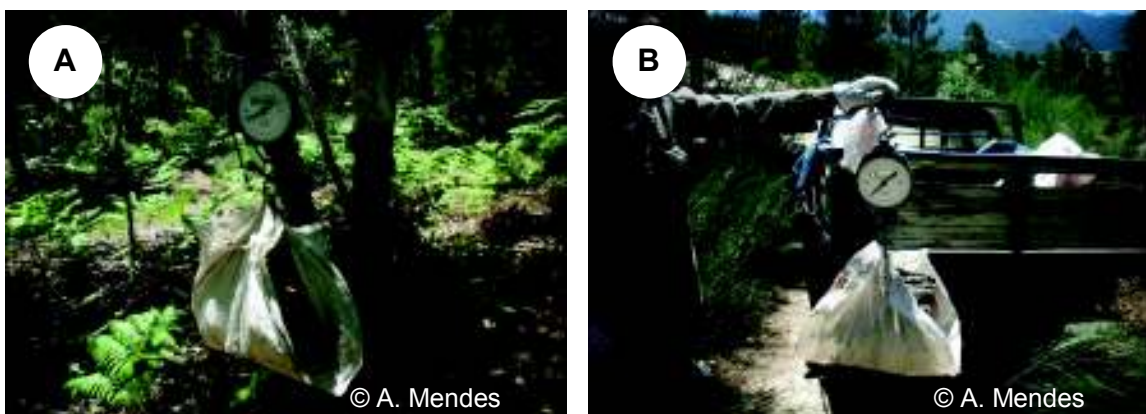


Figura 20: Pesagem de toros de um tronco: A - de carvalho e B - de pinheiro.

- ♦ Todos os registos foram anotados numa ficha de campo (ver Anexo 1).

No quadro 6 identificam-se as parcelas do IFN 2005-06, na periferia das quais foram abatidas as árvores para o presente estudo, bem como o concelho em que se localizam e as espécies respectivas. No total foram abatidas 36 árvores, das quais 21 pinheiros e 15 carvalhos.

Quadro 6: Distribuição das parcelas permanentes do IFN 2005-06 por concelho e espécie.

Concelho	Parcelas de Pinheiro bravo (IFN 2005-06)	Parcelas de Carvalho-negral (IFN 2005-06)
	761	761
	767	767
Boticas	766	748
	771	771
		776
	1059	
	1054	
Vila Pouca de Aguiar	798	
	1342	
	1600	
	1339	1339
Alijó	1838	
	1329	
Valpaços	554	554
Murça	1326	
	1825	
Vila Real	1783	
	2046	
	523	802
Chaves	527	
	1074	1074
M. Basto	1530	1530
		747
		267
Montalegre		488
		490
		485

5.1.2 Trabalho de laboratório

Após o trabalho de campo, todas as amostras recolhidas, quer do tronco quer da copa, foram levadas para laboratório, para preparação e análise.

- ◆ Relativamente às rodela provenientes do campo estas foram sujeitas a (figuras 21 a 25):
 - Pesagem;
 - Separação da casca da rodela;
 - Pesagem da casca e da rodela sem casca;
 - Separação da amostra da casca e sua pesagem.

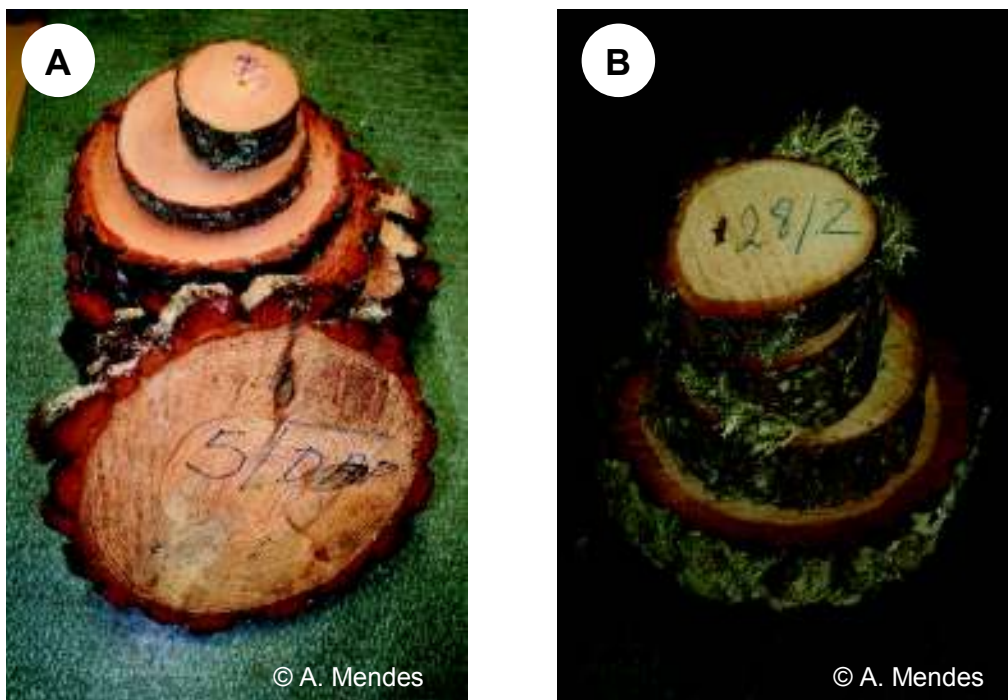


Figura 21: Rodelas de pinheiro bravo (A) e carvalho-negral (B).



© L. Nunes

Figura 22: Pesagem de uma rodela.



© A. Mendes

Figura 23: Separação da casca das rodela de pinheiro (A e B) e de carvalho (C e D).

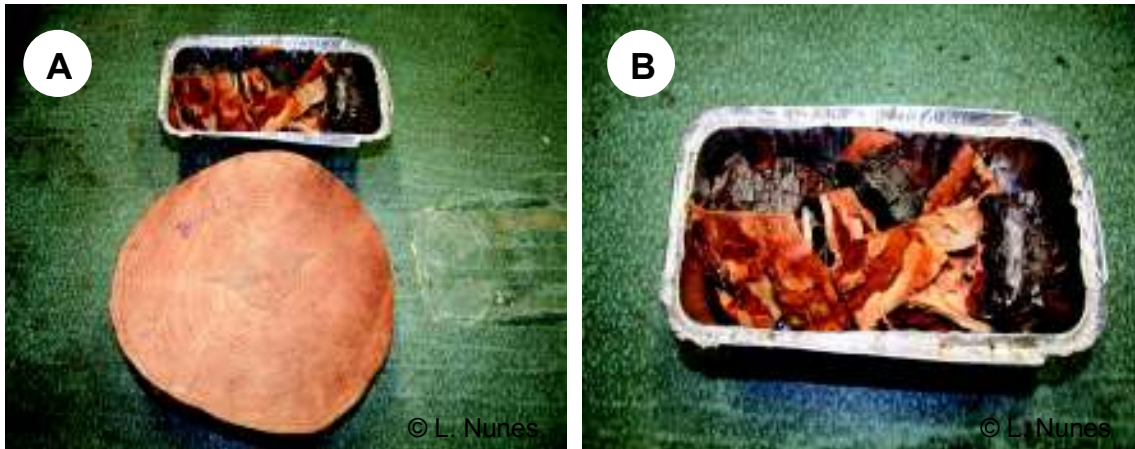


Figura 24: Rodela sem casca (A) e correspondente amostra da casca (B).

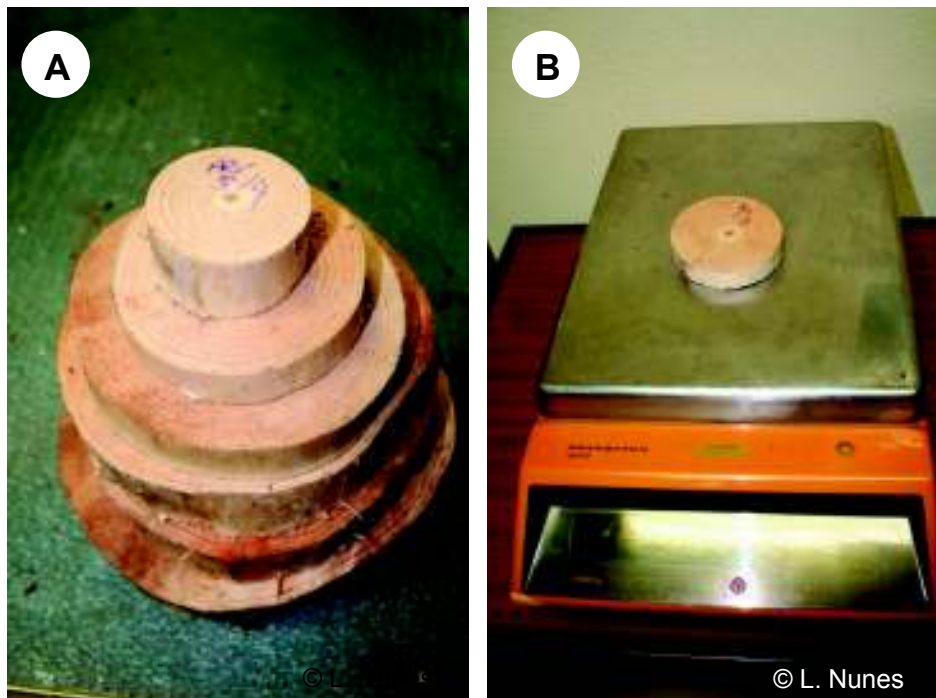


Figura 25: Rodelas de um pinheiro (A) e respectiva pesagem de uma das rodelas (B).

♦ Quanto à copa, para cada amostra correspondente a cada um dos três terços, procedeu-se da seguinte forma (figuras 26 a 33):

- Foram separadas as folhas, ramos (em três classes de diâmetro: < 2,5 cm, 2,5 – 7,5 cm, e > 7,5 cm) e frutos e efectuada a respectiva pesagem em verde;
- Foram feitas amostras de cada componente e igualmente pesadas separadamente;



Figura 26: Ramo amostra de um terço de copa de uma das árvores abatidas de pinheiro (A) e de carvalho (B).

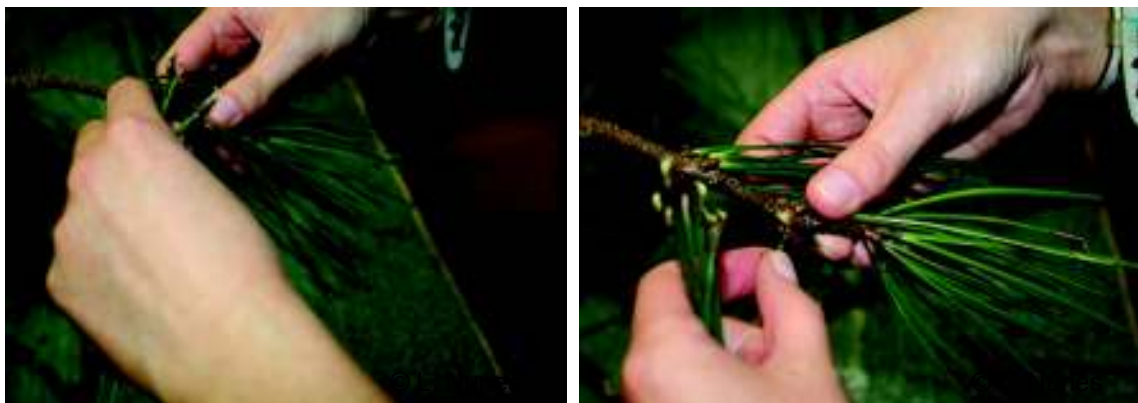


Figura 27: Separação das agulhas dos ramos de um pinheiro.



Figura 28: Separação das folhas dos ramos de um carvalho.



Figura 29: Medição dos diâmetros dos ramos para classificação na respectiva classe.



Figura 30: Separação de todas as componentes de um ramo amostra de um dos terços da copa da árvore (A – pinheiro; B – carvalho).



Figura 31: Pesagem de alguns componentes.

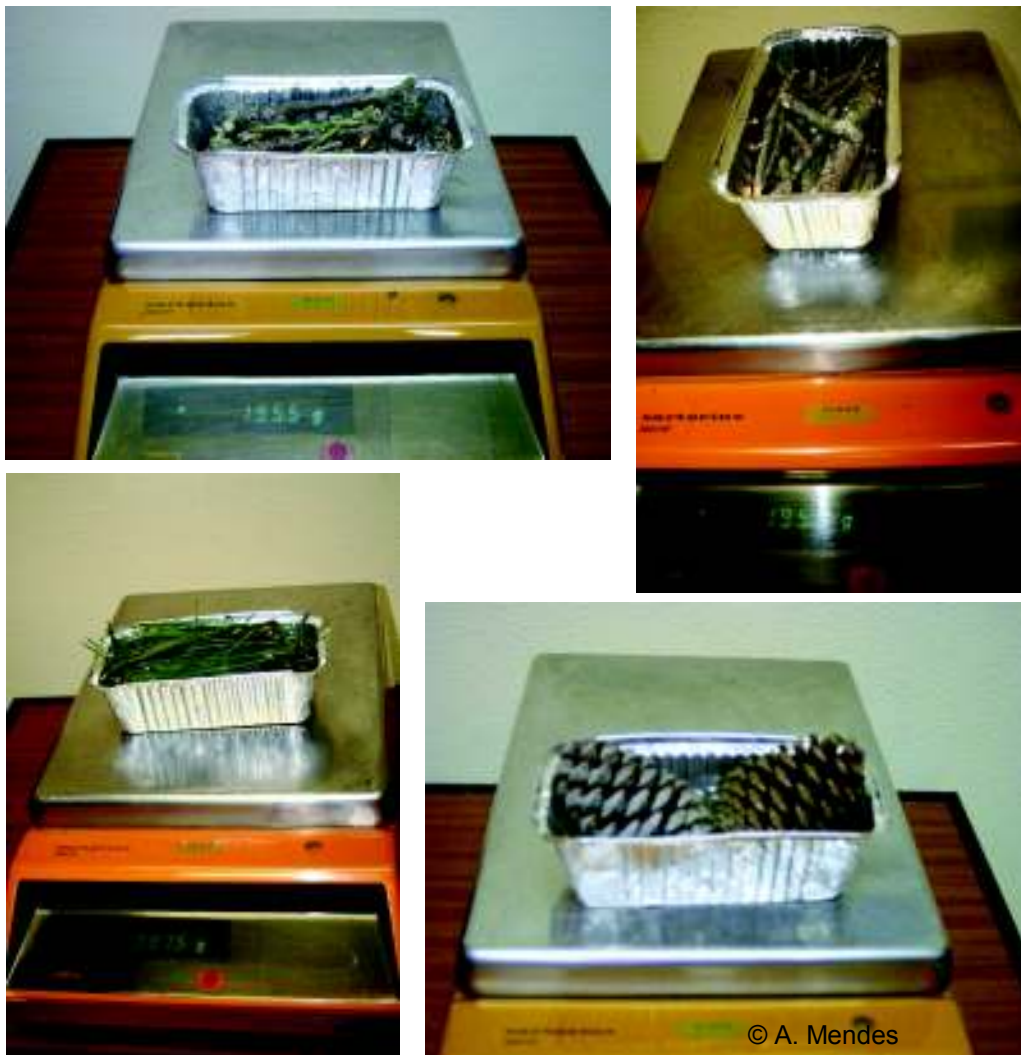


Figura 32: Pesagem de algumas amostras.

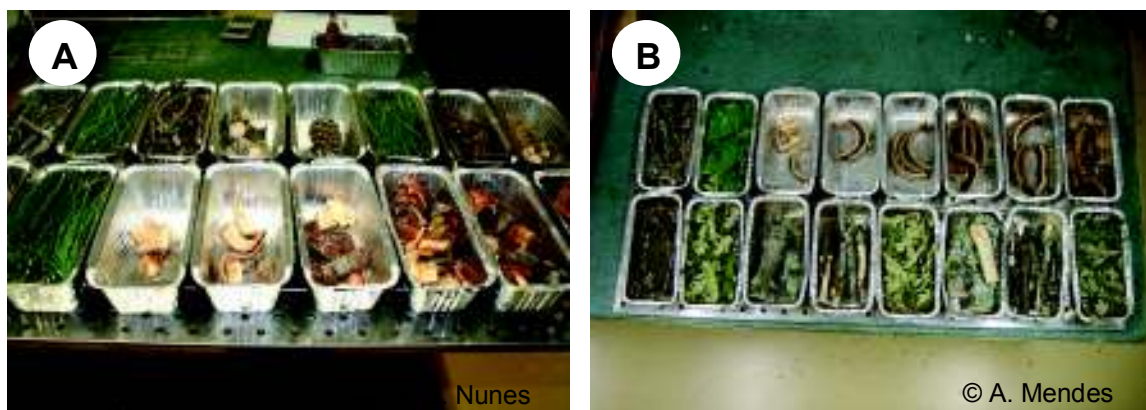


Figura 33: Amostras de todos os componentes de cada um dos terços da copa da árvore, preparadas para colocar em estufa.

♦ Todas as amostras foram completamente desidratadas, por secagem em estufa a 75° C (figura 34), até se obter um peso anidro constante, após o que se efectuou a pesagem final de cada uma das amostras, do tronco e da copa viva, para que assim se obtivessem os respectivos pesos secos.



Figura 34: Amostras de todos os componentes de cada um dos terços da copa da árvore, colocados em estufa.

♦ Todos os registos foram anotados conforme Anexo 2.

5.1.3 Trabalho de gabinete

Após o trabalho de laboratório, a etapa seguinte consistiu na selecção das variáveis dendrométricas a utilizar como variáveis de predição nas equações a ajustar, bem como no desenvolvimento de sistema de equações para determinação das biomassas total e por componentes.

Não obstante, é fundamental referir que toda a metodologia que à frente se expõe, se reporta ao trabalho necessário para o ajustamento de equações, relativas às árvores jovens de pinheiro bravo (base de dados elaborada por Arnaldo *et al.* (2010) - tratamento de árvores jovens de pinheiro bravo, com diâmetro inferior a 10 cm) e às árvores de carvalho-negral (base de dados elaborada neste estudo). Já no que respeita às árvores adultas de pinheiro bravo, procedeu-se numa primeira fase à validação das equações ajustadas em Faias (2008) (quadro 7) para verificar se as equações apresentavam um bom despenho para os dados recolhidos em campo, sob risco de se ter de ajustar novo modelo para este grupo. Contudo, como se verificará nos resultados, a sua utilização revelou um bom ajustamento concluído dos resultados da aplicação das equações à base de dados, indiciando a precisão deste modelo preditivo e justificando não ser necessário o ajustamento de novas equações.

Quadro 7: Equações avaliadas para cada componente de biomassa sem o parâmetro idade (Faias, 2008).

Componentes da árvore	Equações
Tronco sem casca (ww)	$ww = 0,011565 d^{1,868252} h^{1,216072}$
Casca (wb)	$wb = 0,015953 d^{2,274024}$
Ramos (wbr)	$wbr = 0,003971 d^{2,763628}$
Agulhas (wl)	$wl = 0,065631 d^{1,612475} (h/d)^{-0,547370}$
Tronco com casca (ws)	$ws = ww + wb$
Biomassa Aérea (wa)	$wa = ww + wb + wbr + wl$

Para se verificar a precisão e o enviesamento dos valores foram calculados, para cada componente, o Erro Médio e o Erro Absoluto Médio (Quadro 13 e 14 dos resultados), a partir das equações seguintes:

$$ErroMédio = \frac{\sum_{i=1}^n (Observado_i - Estimado_i)}{n}$$

$$\text{ErroAbsolutoMédio} = \frac{\sum_{i=1}^n | \text{Observado}_i - \text{Estimado}_i |}{n}$$

Onde: observado - representa o valor da biomassa observado em campo, para cada árvore; estimado - o valor da biomassa estimado pelas equações, para cada árvore; n - o número de árvores utilizadas para ajustar as equações.

No que respeita ao ajustamento de equações relativas às árvores jovens de pinheiro bravo e às árvores de carvalho-negral, utilizou-se a metodologia que a seguir se descreve, e que se baseia nas metodologias descritas por Myers (1986), Parresol (1999), Parresol (2001), Correia *et al.* (2008) e Cortiçada *et al.* (2005).

A biomassa das várias componentes da árvore – tronco, ramos e folhas – bem como a biomassa total acima do solo (definida como a soma das biomassas das componentes) foram estimadas com base na relação alométrica, tendo sido testadas como variáveis independentes o diâmetro à altura do peito e a altura total ou combinações destas.

Foram testadas também como variáveis independentes, em substituição da altura total da árvore, a profundidade da copa e a proporção de copa.

Para cada componente, o ajustamento das várias equações foi feito recorrendo ao procedimento NLIN do módulo SAS STAT v9.2 (SAS Institute, 1999-2001), utilizando o algoritmo de Gauss-Newton, que através de um processo iterativo gera estimativas optimizadas para os vários parâmetros, minimizando em simultâneo a soma dos quadrados dos resíduos.

Seleccionou-se o modelo que, para cada componente, apresentasse um maior valor de R^2_{ajustado} e menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), sendo condição que todas as estimativas dos parâmetros diferissem significativamente de zero.

É importante referir que, pelo facto das árvores abatidas não fazerem parte de uma parcela previamente medida, não estavam disponíveis parâmetros do povoamento tais como a idade (t), a altura dominante (hdom), o número de árvores do povoamento (N) e área basal (G), pelo que não puderam ser testados na expressão dos coeficientes das equações.

Para a espécie *Pinus pinaster* – jovem

Foram ajustadas equações de biomassa ao nível da árvore para o tronco (conjunto lenho+casca), para os ramos e para as folhas. A biomassa total acima do solo ao nível da árvore foi definida como a soma das biomassas das componentes, como referido anteriormente. Como já se indicou, o ajustamento de cada componente foi feito recorrendo ao procedimento NLIN do módulo SAS STAT v9.2 (SAS Institute, 1999-2001).

Partiu-se da relação alométrica para seleccionar as melhores equações de biomassa para cada componente. Inicialmente pensou-se usar o modelo alométrico do tipo $w = a_0 h t^{a_1}$ mas, com base nos resultados obtidos pela figura 35, a relação das biomassas de folhas e de ramos com a altura total da árvore era pouco evidente. Essa relação era mais nítida com a variável diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura. No entanto, e porque se trata de árvores jovens (em que o diâmetro pode não ser uma variável possível de ser medida), o modelo alométrico escolhido foi do tipo:

$$w = a_0 (d + 1)^{a_1} h t^{a_2}$$

Adicionou-se uma unidade ao diâmetro para ultrapassar as situações em que o diâmetro era nulo; w é a biomassa (kg) das várias componentes da árvore (tronco, ramos ou folhas); d é o diâmetro (cm) da árvore medido a 1,30 m de altura; h é a altura total (m) da árvore e a_0 , a_1 e a_2 são os parâmetros da equação.

É necessário apresentar resultados parciais na fase da descrição da metodologia para que se percebam opções metodológicas seguidas. Contudo, tenta-se que esta apresentação seja a mais reduzida possível, remetendo para os resultados a apresentação maciça dos mesmos.

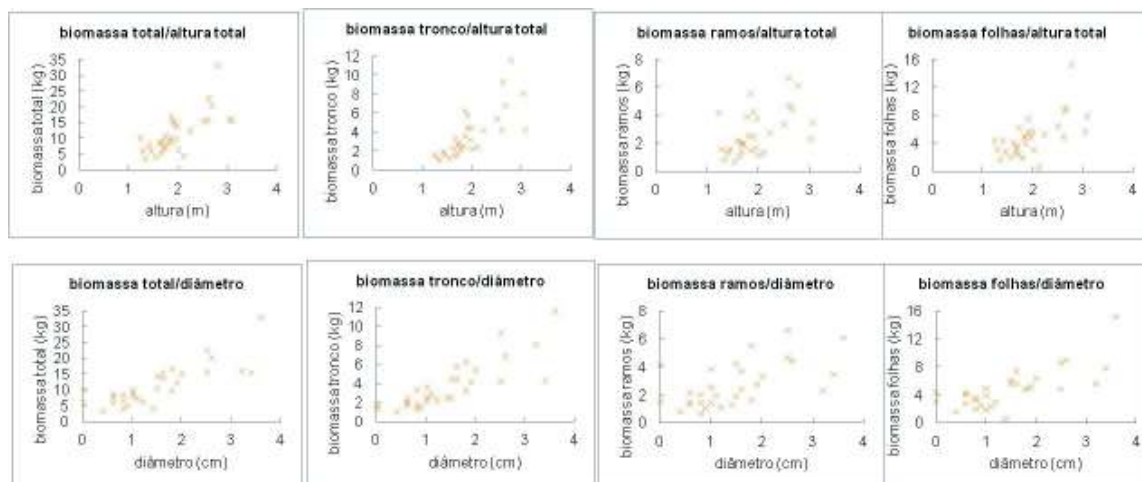


Figura 35: Relação entre a biomassa total e a biomassa por componentes com as variáveis altura total e diâmetro da árvore; valores reais de pinheiro bravo jovem ($h < 3,5$ m).

Numa primeira fase foram seleccionadas as fórmulas gerais para cada componente (em que a biomassa podia ser função de d e ht ; só de d ou só de ht) tendo-se seleccionado aquela cujas estimativas dos parâmetros foram significativamente diferentes de zero e que se associou a um maior valor de R^2_{ajustado} e a uma menor soma do quadrado dos resíduos (SQR).

De seguida analisou-se a homocedasticidade dos resíduos, por observação dos gráficos dos resíduos studentizados em função dos respectivos valores estimados. No caso de não se verificar homocedasticidade definiu-se uma equação para ponderação dos referidos resíduos efectuando-se posteriormente o reajustamento das equações de biomassa por regressão não linear ponderada com pesos determinados, de acordo com a metodologia apresentada por Parresol (1999).

Foi também analisada a normalidade dos resíduos studentizados (através do gráfico de probabilidades normal). A não normalidade destes resíduos foi ultrapassada efectuando o reajustamento das equações por regressão robusta baseada no método do estimador de Huber (Myers, 1986).

Tendo sido seleccionada e ajustada a equação para cada uma das componentes de biomassa (quadro 8), procedeu-se ao ajustamento simultâneo das equações. Para tal, seguiu-se o procedimento referido por Parresol (2001) - método dos mínimos quadrados generalizados designado por "Nonlinear Seemingly Unrelated Regressions (NSUR) – o qual foi aplicado recorrendo à opção ITSUR do procedimento MODEL do SAS (SAS Institute, 1999-2001).

Quadro 8: Equações seleccionadas para cada componente da árvore – *Pinus pinaster* (jovem).

Componente	Equação
Tronco	$w = a_0 (d + 1)^{a1}$
Folhas	$w = a_0 (d + 1)^{a1} ht^{a2}$
Ramos	$w = a_0 (d + 1)^{a1}$
Total acima do solo	$w = a_0 (d + 1)^{a1} ht^{a2}$

No ajustamento simultâneo, a biomassa de cada componente foi calculada pelas equações anteriormente definidas e a biomassa total como o somatório das biomassas das componentes. Cada regressão foi ajustada utilizando os pesos específicos determinados no ajustamento independente.

Para a espécie *Quercus pyrenaica*

Foram ajustadas equações de biomassa ao nível da árvore para o tronco (conjunto lenho+casca), para os ramos e para as folhas. A biomassa total acima do solo ao nível da árvore foi definida como a soma das biomassas das componentes. À semelhança do efectuado para a espécie *Pinus pinaster*, o ajustamento de cada componente foi feito recorrendo ao procedimento NLIN do módulo SAS STAT v9.2 (SAS Institute, 1999-2001), utilizando o algoritmo de Gauss-Newton, que através de um processo iterativo gera estimativas optimizadas para os vários parâmetros, minimizando em simultâneo a soma dos quadrados dos resíduos.

Partiu-se da relação alométrica para seleccionar as melhores equações de biomassa para cada componente. Inicialmente ponderou-se usar o modelo alométrico do tipo:

$$w = a_0 d^{a1} ht^{a2}$$

No entanto, foram obtidos resultados mais satisfatórios com o perímetro da árvore pelo que o modelo alométrico seleccionado foi:

$$w = a_0 (\pi d)^{a1} ht^{a2}$$

Em que w é a biomassa (kg) das várias componentes da árvore (tronco, ramos e folhas); d é o diâmetro (cm) da árvore medido a 1,30 m de altura; h é a altura total (m) da árvore e a_0 , a_1 e a_2 são os parâmetros da equação.

Em primeiro lugar foram seleccionados os modelos específicos para cada componente (em que a biomassa podia ser função de πd e ht ; só de πd ou só de ht) tendo-se seleccionado aquele cujas estimativas dos parâmetros foram significativamente diferentes de zero e que se associou a um maior valor de R^2_{ajustado} e a uma menor soma do quadrado dos resíduos (SQR).

De seguida analisou-se a homocedasticidade dos resíduos por observação dos gráficos dos resíduos studentizados em função dos respectivos valores estimados. No caso de não se verificar homocedasticidade definiu-se uma equação para ponderação dos referidos resíduos efectuando-se posteriormente o reajustamento das equações de biomassa por regressão não linear ponderada com pesos determinados de acordo com a metodologia apresentada por Parresol (1999).

Foi também analisada a normalidade dos resíduos studentizados (através do gráfico de probabilidades normal). A não normalidade destes resíduos foi ultrapassada efectuando o reajustamento das equações por regressão robusta baseada no método do estimador de Huber (Myers, 1986).

Tendo sido seleccionada e ajustada a equação para cada uma das componentes de biomassa (quadro 9), procedeu-se ao ajustamento simultâneo das equações. Para tal, seguiu-se o procedimento referido por Parresol (2001) - método dos mínimos quadrados generalizados designado por "Nonlinear Seemingly Unrelated Regressions (NSUR) – o qual foi aplicado recorrendo à opção ITSUR do procedimento MODEL do SAS (SAS Institute, 1999-2001).

Quadro 9: Equações seleccionadas para cada componente da árvore - *Quercus pyrenaica*.

Componente	Equação
Tronco	$w = a_0 (\pi d)^{a_1} h t^{a_2}$
Folhas	$w = a_0 (\pi d)^{a_1}$
Ramos	$w = a_0 (\pi d)^{a_1} h t^{a_2}$
Total acima do solo	$w = a_0 (\pi d)^{a_1} h t^{a_2}$

No ajustamento simultâneo, a biomassa de cada componente foi calculada pelas equações anteriormente definidas e a biomassa total como o somatório das biomassas das componentes. Cada regressão foi ajustada utilizando os pesos específicos determinados no ajustamento independente.

Para ambas as espécies, foram usadas as seguintes estatísticas na avaliação das equações seleccionadas (Myers, 1986):

- Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj});

$$R^2_{ajust.} = 1 - \frac{\frac{SQE}{n-1}}{\frac{SQT}{n-1}} = 1 - \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2)$$

Onde: y , variável dependente observada; \hat{y} , estimativa da variável dependente; SQE, soma dos quadrados dos resíduos; SQT, soma total dos quadrados; n , número total de observações; p , número de parâmetros do modelo; R^2 , coeficiente de determinação.

- Valores médios dos resíduos PRESS e dos resíduos PRESS absolutos;

$$PRESS = e_{i,-i} = (y_i - \hat{y}_{i,-i}) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Onde: n , número total de observações; $e_{i,-i}$, a diferença entre o valor observado e o valor estimado pela regressão, ajustada com o conjunto total de observações, excluindo a observação i ; o número total de resíduos PRESS calculados é igual ao número total de observações;

5.1.4 Caracterização das árvores e dos povoamentos

Neste ponto procede-se à caracterização dendrométrica das árvores e dos povoamentos em estudo. O quadro 10 reporta-se à caracterização das 30 árvores individuais do pinheiro bravo jovem; para este grupo apenas são apresentados valores para as variáveis das árvores individuais, pois a informação recolhida não permitiu a sua associação por parcelas, não sendo, assim, possível o cálculo das variáveis dendrométricas de povoamento.

No quadro 11 é apresentada a caracterização para os povoamentos puros e mistos de pinheiro bravo adulto e carvalho-negral.

Quadro 10: caracterização dendrométrica das árvores individuais do pinheiro bravo jovem.

Parâmetro Estatístico	$d_{0,10}$ (cm)	d (cm)	h (m)
Média	4,3	1,5	2,0
Máximo	7,3	3,6	3,1
Mínimo	2,7	0,0	1,2
Desvio Padrão	1,2	0,9	0,5

Em termos médios o $d_{0,10}$ assume o valor de 4,3 cm. Para árvores desta dimensão o d não faz muito sentido referir dada a dimensão das mesmas. Nestas situações o diâmetro à base é a abordagem mais adequada. A verificação da coluna de alturas confirma que em termos médios a altura das árvores não ultrapassa os 2 m.

Quadro 11: caracterização dendrométrica para os povoamentos puros de pinheiro bravo adulto e de carvalho-negral e mistos de ambas as espécies.

Povoamentos Puros								
Parâmetro Estatístico	<i>Pinus pinaster</i> (Pb)				<i>Quercus pyrenaica</i> (Qp)			
	dg (cm)	hg (m)	N (arv/ha)	G (m ² /ha)	dg (cm)	hg (m)	N (arv/ha)	G (m ² /ha)
Máximo	37,4	19,0	2040,0	37,9	35,3	17,3	1420,0	19,9
Média	24,2	13,8	545,0	21,0	22,1	10,9	388,0	10,6
Mínimo	11,6	7,0	80,0	4,3	13,3	7,9	80,0	3,2
Des Pad	6,8	3,4	471,4	10,1	7,4	2,6	394,2	5,8

Povoamentos Mistos								
Parâmetro Estatístico	<i>Pinus pinaster</i> (Pb)				<i>Quercus pyrenaica</i> (Qp)			
	dg (cm)	hg (m)	N (arv/ha)	G (m ² /ha)	dg (cm)	hg (m)	N (arv/ha)	G (m ² /ha)
Máximo	49,6	21,0	280,0	23,2	39,0	13,5	500,0	16,3
Média	27,9	13,8	176,0	11,8	20,4	10,1	291,0	8,1
Mínimo	11,9	8,4	60,0	0,7	11,3	7,1	40,0	1,9
Des Pad	11,7	3,6	74,0	7,5	9,3	2,1	183,3	5,8

Para os povoamentos puros (quadro 11), verifica-se existir uma proximidade nas variáveis médias dg e hg, para ambas as espécies, assumindo o diâmetro valores médios de 24,2 cm para o Pb e 22,1 cm para o Qp, sendo as alturas médias respectivamente 13,8 m e 10,9 m. Já no que respeita ao número de árvores/ha, constata-se que o pinheiro bravo com 545 árvores/ha apresenta uma densidade (N) cerca de 30% superior à do carvalho-negral (388 árvores/ha). Esta diferença reflecte-se, obviamente, na área basal dos povoamentos, sendo a do pinheiro cerca do dobro da do carvalho (Pb: 21,0 m²/ha e Qp: 10,6 m²/ha).

No que respeita aos povoamentos mistos (quadro 11), apesar das variáveis dg e hg continuarem em patamares semelhantes, verifica-se que a densidade média dos carvalhos (291,0 árvores/ha) é cerca de 40% superior à do pinheiro (176,0 árvores/ha). Não obstante, a área basal obtida para o carvalho-negral continua inferior à do pinheiro bravo (Pb: 11,8 m²/ha e Qp: 8,1 m²/ha), o que se deve, necessariamente, às diferenças verificadas para os diâmetros médios (Pb: 27,9 cm e Qp: 20,4 cm).

5.2 Quantificação do Carbono Fixado

5.2.1 Produtividade Primária Líquida (PPL)

A reflorestação e florestação desempenham um papel importante na mitigação das alterações climáticas provocadas pelo potencial aumento de concentrações atmosféricas de CO₂. Assim, a aposta no incremento de acções de reflorestação tem sido assumida como opção paralela possível, no âmbito do estabelecimento de metas de limitação de emissão de gases de efeito estufa, tendo como base o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas (Schulze *et al.*, 2000). Neste contexto, a Produtividade Primária Líquida (PPL) e a biomassa assumem-se como dois índices fundamentais, amplamente utilizados na avaliação dos padrões, processos e dinâmica do ciclo de carbono em ecossistemas florestais em escalas local, regional e global. A PPL é geralmente definida como o equilíbrio entre a energia da luz, fixada através da fotossíntese (produtividade primária bruta) e a perda por meio da respiração e mortalidade, representando a captação líquida de carbono da atmosfera, transformada em vegetação (Zhao & Zhou, 2005).

Compreende-se assim que a contabilização da quantidade de carbono que os ecossistemas florestais conseguem fixar é conseguida através da avaliação da Produtividade Primária Líquida (PPL) do povoamento florestal (Rodrigues, 2009). Basicamente, esta variável representa a quantidade líquida de carbono fixado por plantas durante a fotossíntese, em cada ano, permitindo a sua monitorização (Melillo *et al.*, 1993; Cao & Woodward, 1998 *cit. in* Lopes, 2005).

Em termos de dinâmicas de biomassa, a PPL pode ser definida como:

- sequestro de carbono ou
- incremento absoluto de biomassa.

Estas duas apreciações estão relacionadas como sendo, a primeira, aproximadamente equivalente a metade da segunda, ou seja, o sequestro de carbono corresponde a cerca de metade do incremento absoluto de biomassa, uma vez que, cerca de 50% da biomassa seca é carbono (Lopes, 2005).

Em termos de biomassa total, Waring *et al.* (1998) definem PPL como:

$$\text{PPL} = \Delta B + \text{perdas}$$

Onde ΔB quantifica a diferença da biomassa das plantas num intervalo de tempo específico e as perdas representam a matéria produzida e perdida durante esse intervalo (exemplo: folhas caídas e os ramos mortos).

Neste trabalho foi utilizada a equação supracitada, excluindo a componente perdas, pela dificuldade que se tem em obter este valor para momentos passados, por reconstrução do crescimento das árvores a partir de dois inventários consecutivos. De qualquer forma será sempre possível rectificar os valores obtidos se se vier a considerar que as perdas são um valor percentual fixo do crescimento do estrato arbóreo. Também não foi incluída na fórmula o valor do crescimento dos matos. Assim sendo, este trabalho apenas quantifica a fixação de carbono associado ao estrato arbóreo, excluindo perdas. De acordo com dados obtidos por Lopes (2005), a componente arbórea de um pinhal bravo na região Norte de Portugal, excluindo as perdas e os matos, representa apenas 30% da produção primária líquida total, mas representa uma das componentes mais interessantes para quantificar já que é aqui que o carbono fixado apresenta os mais longos períodos de retenção.

5.2.2 Avaliação do carbono fixado pelos povoamentos em análise

Depois das equações ajustadas estas foram utilizadas para quantificação do carbono fixado em parcelas do inventário florestal nacional que tinham sido seleccionadas pelo projecto FCT/AGR-CFL/68186/2006. Este projecto tinha seleccionado 13 parcelas puras de *Pinus pinaster*, 14 parcelas puras de *Quercus pyrenaica* e 10 parcelas mistas das duas espécies. Durante o trabalho de campo do referido projecto foram remeidas as parcelas do IFN em 2008 e 2009. Nesta dissertação recuperam-se essas medições nos 2 anos consecutivos para aplicar as equações de biomassa e verificar que acréscimo das biomassas por componentes da árvore e para o seu total se verificou. O objectivo hipotético desta parte do trabalho seria, de forma muito despreocupada e breve, verificar se os povoamentos puros têm um crescimento líquido superior ou inferior ao dos mistos e, portanto, ritmos diferentes de fixação de carbono. Desta forma demonstra-se a importância de possuir equações de biomassa para cada espécie.

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No quadro 12 sumarizam-se os valores de biomassa (seca) total, bem como os valores dendrométricos recolhidos nas 36 árvores abatidas. Consegue-se desta forma perceber o universo das árvores amostra e a amplitude de dimensões em causa, fundamental para inferir da possibilidade, ou não, de expansão da aplicação das equações que a partir dele se ajustam.

Como primeira constatação a retirar dos dados obtidos, verifica-se que a biomassa seca total média por árvore para o pinheiro é de 210,1 Kg e para o carvalho é de 186,0 Kg. Não obstante, constata-se uma enorme amplitude dos valores de biomassa seca total para o *Pinus pinaster*, com as árvores de maior e menor biomassa seca avaliadas a apresentarem, respectivamente, 553,1 Kg e 30,3 Kg; já para a espécie *Quercus pyrenaica*, esta amplitude é menor, variando entre 45,5 Kg e 508,6 Kg.

No que respeita à altura total das árvores, as diferenças entre as duas espécies são aqui pouco significativas. Com efeito, a altura do pinheiro varia entre 6,9 m e 19,5 m, enquanto que o carvalho apresenta alturas compreendidas entre 8,6 m e 17,4 m.

Quadro 12: Valores médios e extremos de algumas variáveis dendrométricas das árvores abatidas.

Variáveis Dendrométricas	<i>Pinus pinaster</i>				<i>Quercus pyrenaica</i>			
	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão
d (cm)	37,3	24,9	12,1	± 6,8	37,7	18,9	12,3	± 7,4
Altura total (m)	19,5	13,6	6,9	± 3,5	17,4	12,1	8,6	± 2,8
Biomassa seca total (Kg)	553,1	210,1	30,3	± 141,0	508,6	186,0	45,5	± 160,5

A análise do histograma da figura 36 permite observar como se distribuem as árvores amostradas pelas diferentes classes de d. Para a espécie *Pinus pinaster* a variação do d é de $24,9 \pm 6,8$ cm enquanto que para a *Quercus pyrenaica* o d se enquadra em $18,9 \pm 7,4$ cm. Constata-se que, para as árvores amostradas, os pinheiros são maiores do que os carvalhos embora, para ambas as espécies, tenham sido encontradas classes de diâmetro de 35 e 40 cm. Se a metodologia seguida não estivesse enquadrada num estudo mais vasto e fosse apenas delineada com o objectivo de encontrar informação para o ajustamento de equações de biomassa, o critério inicial teria sido distribuir de forma equitativa as árvores abatidas, por todas

as classes de d. Como já referido anteriormente, neste estudo, procedeu-se ao abate de árvores com dimensões próximas das médias das parcelas de amostragem em causa.

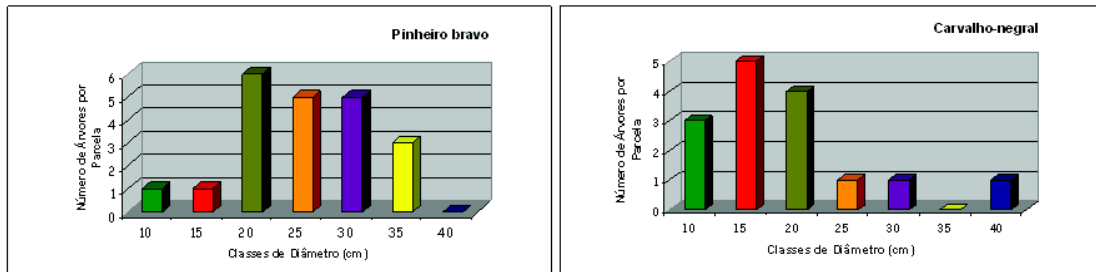


Figura 36: Histogramas das espécies *Pinus pinaster* e *Quercus pyrenaica*.

Apenas como mero valor indicativo para as tendências médias, e tendo consciência da simplificação da abordagem, as figuras 37 e 38 pomenorizam as biomassas parciais médias das árvores abatidas especificamente para este estudo em ambas as espécies e permitem perceber a tendência para a distribuição parcial da biomassa pelas diferentes componentes da árvore (aqui não estão incluídas as bases de dados para o pinheiro bravo jovem nem os de Faias (2008)).

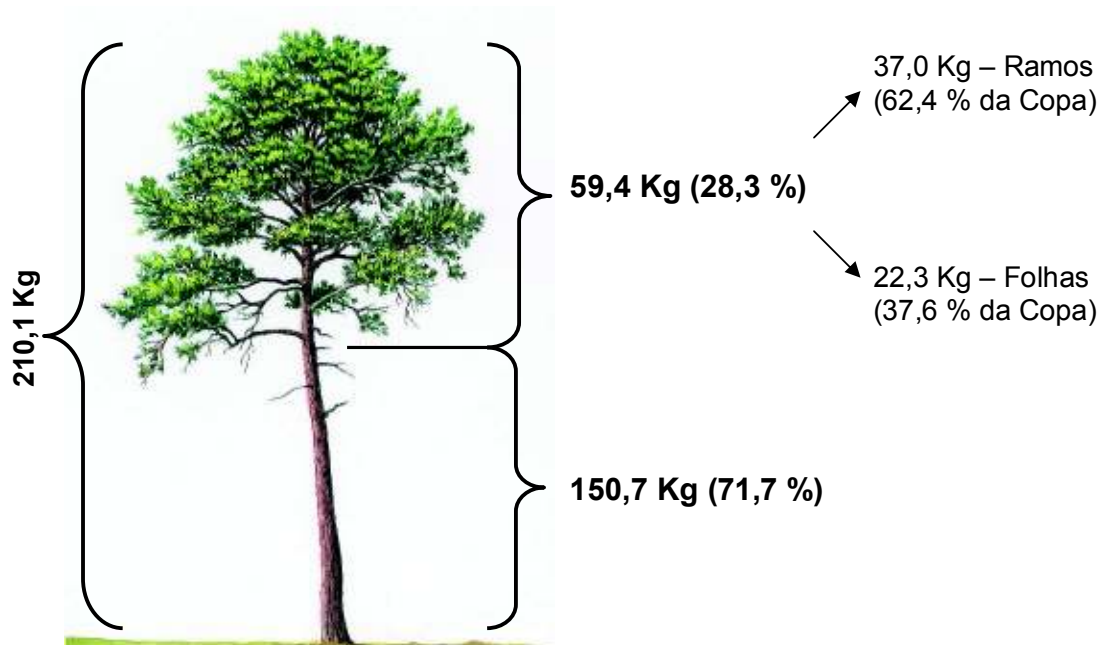


Figura 37: Esquema das biomassas parciais médias para o pinheiro bravo.

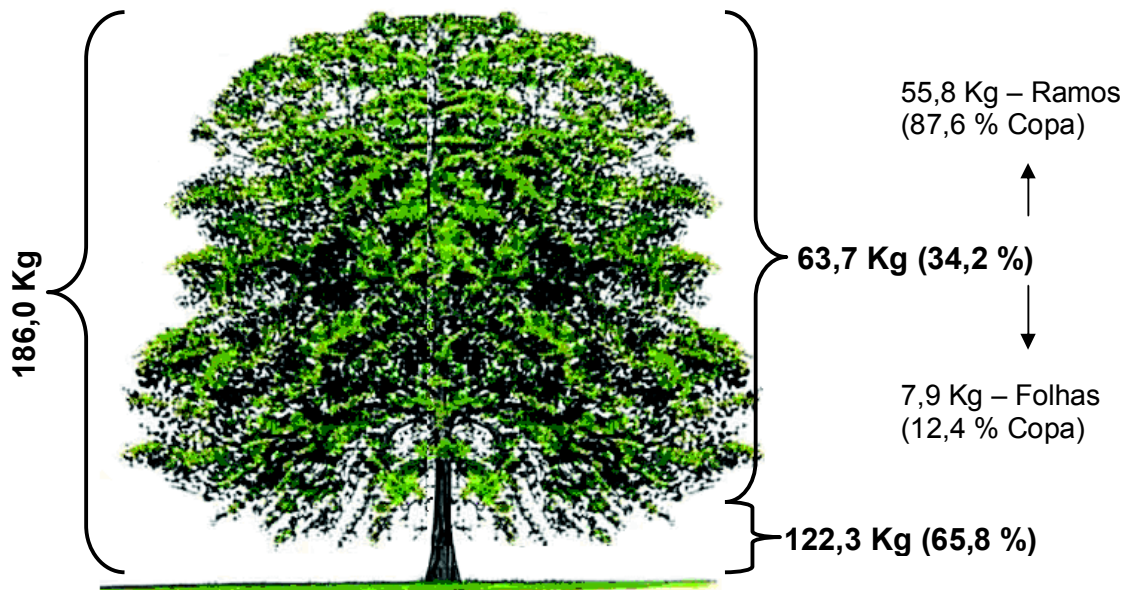


Figura 38: Esquema das biomassas parciais médias para o carvalho-negral.

As etapas subsequentes deste estudo visam identificar quais as variáveis dendrométricas que devem ser seleccionadas como variáveis de predição nas equações a ajustar bem como, finalmente, ajustar as equações preditivas da biomassa, total e parciais.

***Pinus pinaster* Ait.**

No que respeita ao pinheiro bravo, para além dos dados recolhidos especificamente para o presente estudo, foram também utilizados dados de outros trabalhos em especial a base de dados utilizada por Arnaldo *et al.* (2010) (composta por árvores jovens de pinheiro bravo, com diâmetro inferior a 10 cm). Como foi referido anteriormente, foram ainda testadas equações ajustadas por Faias (2008).

Assim, numa primeira etapa procedeu-se à validação das equações ajustadas por Faias (2008) com o objectivo de verificar se os dados recolhidos durante este estudo específico justificavam o ajustamento de novas equações. Da avaliação do desempenho destas equações, para a base de dados disponível para este estudo, obtiveram-se os resultados apresentados na figura 39. Da sua análise pode constatar-se que as equações de Faias (2008) apresentam um comportamento muito bom para estes dados específicos (erro médio de 0,1 kg/árvore, sendo o

erro definido pela diferença entre o valor real e o valor estimado com as equações de Faias (2008)), o que pode indicar que estas equações podem ser utilizadas para esta zona do País. Da análise da figura 39 consegue verificar-se que percebendo a heterogeneidade de situações observadas, a dispersão de valores se aproxima muito da linha 1:1, em termos genéricos.

Como se pode verificar na figura 39, as equações têm excelente comportamento em termos de biomassa de tronco e de biomassa total acima do solo, uma vez que os valores observados praticamente coincidem com os valores estimados; e um comportamento menos bom em termos de biomassa de folhas e de biomassa de ramos. Contudo, olhando com mais detalhe para a figura 39 é possível verificar que quanto à biomassa de folhas, a equação de Faias (2008) subestima os valores relativamente aos valores reais. Isto deve-se ao facto de a espécie em causa apresentar tipicamente uma forte heterogeneidade de copa, com situações em que o mesmo d apresenta copas com diferentes profundidades. Idêntico comportamento se verifica para a biomassa de ramos embora com diferenças menos acentuadas.

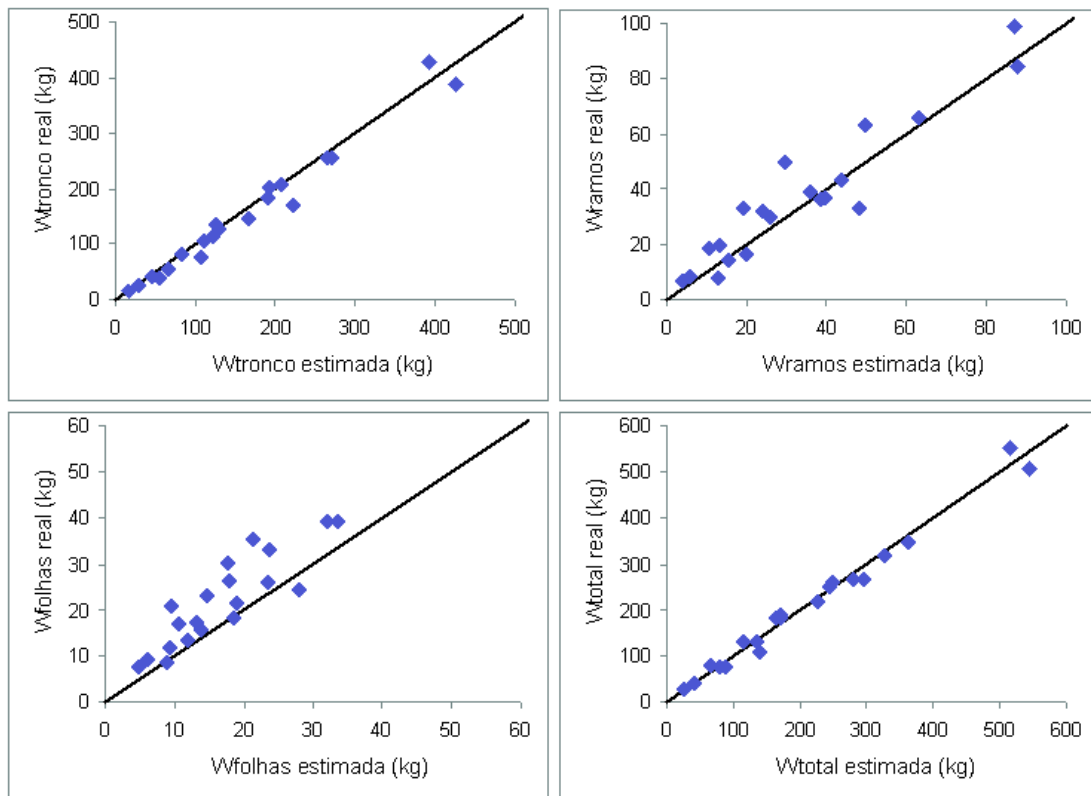


Figura 39: Comparação das biomassas estimadas por Faias (2008) com as biomassas reais obtidas neste estudo.

Contudo, durante a mesma fase de validação foi possível observar que o bom desempenho para as árvores adultas não se verificava com as jovens. Assim, e para as árvores jovens, foi ajustado um sistema compatível de equações, uma vez que aquelas não poderiam ser aplicadas, como facilmente se comprova da observação do gráfico na figura 40. Para estas árvores será, assim, necessário desenvolver novas equações.

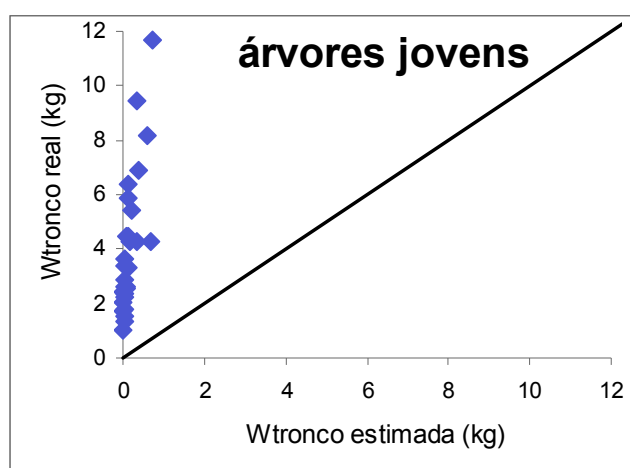


Figura 40: Comparação das biomassas estimadas com as equações de Faias (2008) com as biomassas reais obtidas neste estudo para árvores jovens.

Quando se verificou a precisão e o enviesamento dos valores para cada componente, obtiveram-se os valores do Erro Médio (Quadro 13) e do Erro Absoluto Médio (Quadro 14) a seguir descritos.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 13: Erro Médio para o pinheiro bravo para cada componente da biomassa e para cada árvore, calculado em kg/árvore.

	EM_tronco	EM_folhas	EM_ramos	EM_total
	36,1	5,7	-3,2	38,6
	-7,8	12,4	2,9	7,4
	10,5	1,9	7,9	20,3
	-9,0	9,6	5,9	6,4
	-1,4	2,5	-14,7	-13,6
	-10,0	2,5	-5,0	-12,6
	-1,1	3,9	14,2	17,0
	-2,1	2,9	3,2	4,0
	10,5	2,5	-2,1	10,9
	-4,8	3,1	2,6	0,8
	-15,1	-3,8	3,0	-15,9
	-8,5	-0,5	-0,6	-9,5
	-36,9	7,2	12,2	-17,6
	-9,3	8,5	19,8	19,0
	-51,3	9,3	13,4	-28,6
	-3,5	-0,3	-1,0	-4,8
	-2,2	8,3	4,3	10,4
	-16,5	6,1	6,4	-4,0
	-20,9	13,9	-2,6	-9,6
	-30,3	1,5	-3,5	-32,3
	-3,7	11,3	7,9	15,5
soma	-177,3	108,4	71,0	2,0
EM	-8,4	5,2	3,4	0,1
EM(%)	-5,6	23,1	9,1	0,1

O Erro Médio bem como o Erro Percentual Médio confirmam o que foi verificado graficamente permitindo analisar o enviesamento da equação. Para as folhas obteve-se um erro percentual médio de 23,1% (estimativa subestimada), para os ramos de 9,1% e, finalmente, para o tronco de -5,6% (estimativa sobreestimada).

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 14: Erro Absoluto Médio para o pinheiro bravo para cada componente da biomassa e para cada árvore, calculado em kg/árvore.

	EAM_tronco	EAM_folhas	EAM_ramos	EAM_total
	36,1	5,7	3,2	45,0
	7,8	12,4	2,9	23,1
	10,5	1,9	7,9	20,3
	9,0	9,6	5,9	24,5
	1,4	2,5	14,7	18,6
	10,0	2,5	5,0	17,5
	1,1	3,9	14,2	19,1
	2,1	2,9	3,2	8,1
	10,5	2,5	2,1	15,1
	4,8	3,1	2,6	10,5
	15,1	3,8	3,0	21,9
	8,5	0,5	0,6	9,5
	36,9	7,2	12,2	56,3
	9,3	8,5	19,8	37,6
	51,3	9,3	13,4	74,0
	3,5	0,3	1,0	4,8
	2,2	8,3	4,3	14,8
	16,5	6,1	6,4	29,0
	20,9	13,9	2,6	37,4
	30,3	1,5	3,5	35,3
	3,7	11,3	7,9	23,0
soma	291,7	117,5	136,3	545,5
EAM	13,9	5,6	6,5	26,0
EAM(%)	9,2	25,0	17,5	12,4

Para as árvores abatidas, as equações de biomassa de folhas, ramos e tronco apresentaram um Erro Absoluto Médio de, respectivamente, 5,6; 6,5 e 13,9 kg. Em termos percentuais, a análise acompanha a verificada para o erro relativo. A equação da biomassa de folhas é a menos precisa (25,0%), e a da biomassa do tronco é a mais precisa (9,2%).

Resultados do ajustamento individual das equações de biomassa das componentes para o pinheiro bravo jovem:

No quadro 15 apresentam-se as equações seleccionadas para os pesos de cada componente de biomassa aérea de árvores jovens de pinheiro bravo.

Quadro 15: Pesos seleccionados para cada componente da árvore na correcção da heterocedasticidade dos resíduos – *Pinus pinaster* (jovem).

Componente	Peso
Tronco	$\text{peso} = -8,12044 - 0,68394 \times \text{qdht} + 9,74447 \times \text{lnsd} + 8,01007 \times \text{lnsd}^2$
Folhas	Sem peso – não se verificou heterocedasticidade dos resíduos nem normalidade dos resíduos
Ramos	$\text{peso} = 4,00519 + 12,19240 \times \text{lnsd}^2 - 37,21812 \times \text{lnurqd} + 23,60422 \times \text{lnurqht}$
Total acima do solo	Sem pesos – não se verificou heterocedasticidade dos resíduos nem normalidade dos resíduos

O somatório dos resíduos PRESS e o somatório dos resíduos PRESS em valor absoluto (APRESS) avaliam, respectivamente, o enviesamento e a precisão do modelo. O quadro 16 sumaria os valores encontrados por este estudo.

Quadro 16: Resíduos PRESS obtidos para os pinheiros jovens

	m _{press}	m _{press}	P5(_{press})	P95(_{press})	SQE	R ² _{aj}
wtronco	0,0659	1,1078	-1,9456	3,1625	74,1186	0,685
wfolhas	0,1953	1,6740	-3,2424	3,3378	134,3130	0,637
wramos	-0,0014	1,1227	-1,6082	3,0854	58,8331	0,336
wtotal	0,2797	3,2848	-5,8510	7,6977	521,4940	0,7032

Sendo: m_{press}, média dos resíduos press; m|_{press}|, média dos resíduos press absolutos; P5(_{press}) e P95(_{press}), percentis 5 e 95 dos resíduos press, respectivamente; SQE, soma dos quadrados dos erros; R²_{aj}, coeficiente de determinação ajustado.

Da análise do Quadro 16 comprova-se, mais uma vez, que as equações ao nível do tronco são mais precisas e menos enviesadas enquanto as das folhas apresentam os valores opostos. Contudo, em todas as situações os valores obtidos permitiram encontrar equações bastante

satisfatórias e precisas. O comentário anterior resulta apenas da comparação entre componentes da árvore.

O quadro 17 apresenta os resultados das equações obtidas por ajustamento simultâneo, como descrito na metodologia para os pinheiros bravos jovens.

Quadro 17: Resultados do ajustamento simultâneo para os pinheiros bravos jovens.

The screenshot shows the SAS output for 'The MODEL Procedure'. It includes a 'Nonlinear ITSUR Summary of Residual Errors' table and a 'Nonlinear ITSUR Parameter Estimates' table.

Equation	DF Model	DF Error	SSE	MSE	R-Square	Adj R-Sq
ubr	1	29	52.5040	1.8105	0.3138	0.3138
resid.ubr		29	60.3730	2.0818		
wl	1.5	28.5	87.3671	3.0655	0.6268	0.6268
resid.wl		28.5	86.2847	3.0275		
wtr	1	29	68.2687	2.3541	0.6818	0.6818
resid.wtr		29	54.0382	1.8634		
wabove	3.5	25.5	378.0	14.7843	0.6519	0.6519

Parameter	Estimate	Approx Std Err	t Value	Approx Pr > t
a0br	0.878604	0.1847	4.75	<.0001
a1br	1.222651	0.1939	6.30	<.0001
a0l	1.380400	0.2755	4.99	<.0001
a1l	2.39942	0.4473	5.36	<.0001
a2l	-1.41296	0.6037	-2.34	0.0259
a0tr	0.62682	0.0989	6.34	<.0001
a1tr	1.63709	0.1111	14.74	<.0001

Number of Observations:		Statistics for System	
Used	30	Objective	3.8441
Missing	0	Objective*N	115.3236

Assim, foi possível obter as seguintes equações ao nível da árvore:

- Biomassa do tronco (w_s)

$$w_s = 0,82682 (d + 1)^{1,63709}$$

- Biomassa das folhas (w_l)

$$w_l = 1,38040 (d + 1)^{2,39942} ht^{-1,41296}$$

- Biomassa dos ramos (w_{br})

$$w_{br} = 0,87860 (d + 1)^{1,22265}$$

- Biomassa total acima do solo (w_a)

$$w_a = w_s + w_l + w_{br}$$

Sendo: w_s , biomassa do tronco (kg); w_l , biomassa de folhas (kg); w_{br} , biomassa de ramos (kg), w_a , biomassa total acima do solo (kg); d , diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm); ht , altura total da árvore (m).

Resultados do ajustamento individual das equações de biomassa das componentes para a *Quercus pyrenaica*:

No quadro 18 apresentam-se as equações seleccionadas para os pesos de cada componente de biomassa aérea de carvalho-negral.

Quadro 18: Pesos seleccionados para cada componente da árvore na correcção da heterocedasticidade dos resíduos – *Quercus pyrenaica*.

Componente	Peso
Tronco	$peso = -1,46301 - 17832 \times invp^2 + 113,92927 \times invrqp - 9,37634 \times invrqt$
Folhas	$peso = -44,77275 - 39938 \times invp^2 + 395,86366 \times invrqp + 22,22277 \times invrqt$
Ramos	$peso = -38,00673 - 48757 \times invp^2 + 463,23702 \times invrqp - 347,49862 \times invrqt$
Total acima do solo	$peso = -24,86732 - 45332 \times invp^2 + 386,43869 \times invrqp - 16,95945 \times invrqt$

O quadro 19 sumaria os valores das estatísticas PRESS, à semelhança do que aconteceu para os pinheiros jovens. Esta espécie não tem comportamento análogo ao *Pinus*, quando comparamos a performance dos diferentes componentes da árvore.

Quadro 19: Resíduos PRESS obtidos para *Quercus pyrenaica*.

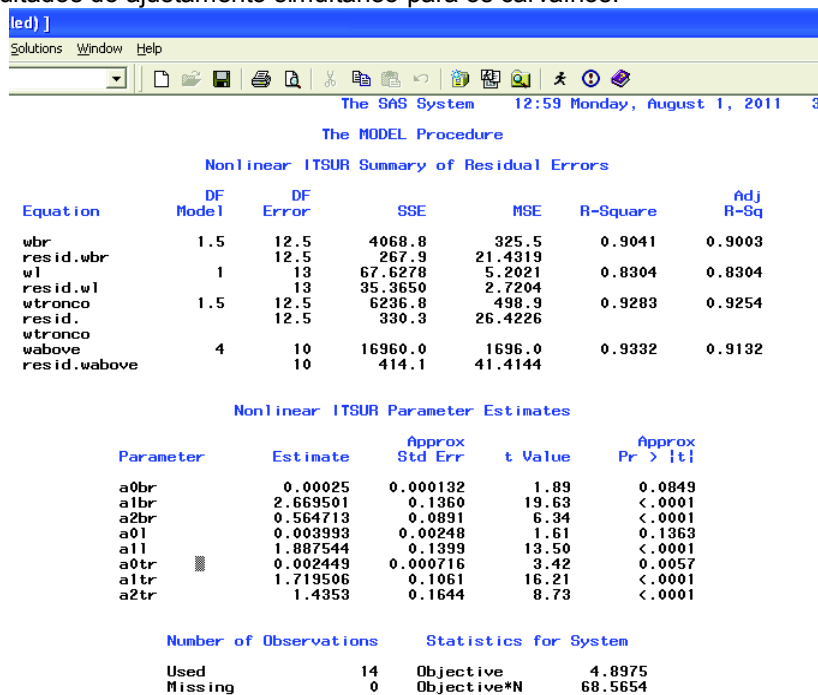
	m _{press}	m _{press}	P5(_{press})	P95(_{press})	SQE	R ² _{aj}
wtronco	-1,64543	13,6049	-42,3414	32,3251	4743,27	0,909
wfolhas	1,61655	20,4455	-62,1209	85,0428	15033,06	0,925
wramos	0,04701	1,8803	-4,0518	5,5515	74,6500	0,835
wtotal	2,87905	29,9112	-78,5892	123,9940	29243,42	0,923

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sendo: m_{press} , média dos resíduos $press$; $m|press|$, média dos resíduos $press$ absolutos; $P5(press)$ e $P95(press)$, percentil 5 e 95 dos resíduos $press$, respectivamente; SQE , soma dos quadrados dos erros; R^2_{aj} , coeficiente de determinação ajustado.

O quadro 20 sumaria os modelos obtidos para a *Quercus pyrenaica*, resultantes do ajustamento simultâneo das equações.

Quadro 20: Resultados do ajustamento simultâneo para os carvalhos.



The screenshot shows the SAS interface with the following output:

The SAS System 12:59 Monday, August 1, 2011 3

The MODEL Procedure

Nonlinear ITSUR Summary of Residual Errors

Equation	DF Model	DF Error	SSE	MSE	R-Square	Adj R-Sq
wbr	1.5	12.5	4068.8	325.5	0.9041	0.9003
resid.wbr		12.5	267.9	21.4319		
wl	1	13	67.6278	5.2021	0.8304	0.8304
resid.wl		13	35.3650	2.7204		
wtronco	1.5	12.5	6236.8	498.9	0.9283	0.9254
resid.wtronco		12.5	330.3	26.4226		
wabove	4	10	16960.0	1696.0	0.9332	0.9132
resid.wabove		10	414.1	41.4144		

Nonlinear ITSUR Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Approx Std Err	t Value	Approx Pr > t
a0br	0.00025	0.000132	1.89	0.0849
a1br	2.669501	0.1360	19.63	<.0001
a2br	0.564713	0.0891	6.34	<.0001
a0l	0.003993	0.00248	1.61	0.1363
a1l	1.887544	0.1399	13.50	<.0001
a0tr	0.002449	0.000716	3.42	0.0057
a1tr	1.719506	0.1061	16.21	<.0001
a2tr	1.4353	0.1644	8.73	<.0001

Number of Observations Statistics for System

Used	14	Objective	4.8975
Missing	0	Objective*N	68.5654

Da análise do quadro 20 é possível obter as equações ao nível da árvore para os carvalhos:

Biomassa do tronco (w_s)

$$w_s = 0,00245 p^{1,719506} ht^{1,43530}$$

Biomassa das folhas (w_l)

$$w_l = 0,00399 p^{1,887544}$$

Biomassa dos ramos (w_{br})

$$w_{br} = 0,00025 p^{2,669501} ht^{0,564713}$$

Biomassa total acima do solo (w_a)

$$w_a = w_s + w_l + w_{br}$$

Sendo: w_s , biomassa do tronco (kg); w_l , biomassa de folhas (kg); w_{br} , biomassa de ramos (kg), w_a , biomassa total acima do solo (kg); p , perímetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm), ($\pi \times d$); d , diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm); ht , altura total da árvore (m).

Atingiu-se assim o objectivo primordial deste trabalho que era o de ajustamento de modelos preditivos de biomassa para os exemplares jovens de *Pinus pinaster* e para a *Quercus pyrenaica*, e assim conseguir estimar a biomassa aérea anidra total de cada árvore individual bem como a biomassa por componentes da árvore, para a região Norte de Portugal. No caso dos exemplares adultos de *Pinus pinaster* os resultados obtidos permitiram constatar que os modelos desenvolvidos por Faias (2008) podem ser utilizados para esta região do país, já que conduzem a estimativas precisas de biomassa.

Resultados da Produtividade Primária Líquida

Os quadros 21, 22 e 23 sumarizam a caracterização dendrométrica das árvores abatidas por grupo considerado (puros de *Pinus* e *Quercus* e mistos das duas espécies). Os resultados obtidos permitem verificar se as diferenças obtidas para a fixação de carbono nestes três contextos se devem antes de mais ao facto da realidade dos três povoamentos ser bastante diferente. Ou se, pelo contrário, eles são muito semelhantes e nesse caso perspectiva-se que a diferença seja mais fruto, da composição dos povoamentos, entre outros aspectos.

Da sua análise verifica-se que os povoamentos puros e mistos apresentam características dendrométricas muito similares, entre espécies. Isto é, o pinheiro bravo apresenta características dendrométricas muito semelhantes na situação em que está como puro ou nos povoamentos mistos. O mesmo se passa com o carvalho, ainda que este seja ligeiramente mais pequeno do que o pinheiro.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 21: Caracterização das variáveis dendrométricas para o povoamento misto de pinheiro bravo e carvalho-negral.

Povoamento Misto								
	Pinheiro bravo (Pb)				Carvalho-negral (Qp)			
	dg Pb (cm)	hg Pb (m)	N Pb (nº arv/ha)	G Pb (m ² /ha)	dg Qp (cm)	hg Qp (m)	N Qp (nº arv/ha)	G Qp (m ² /ha)
Média	29,1	14,9	248,0	16,2	19,6	11,7	320,0	7,9
Máximo	49,6	19,6	720,0	31,8	39,0	17,0	580,0	21,2
Mínimo	11,9	8,0	60,0	0,7	11,3	6,3	100,0	1,6
Desvio padrão	11,2	3,9	187,7	9,8	9,1	3,2	173,9	6,8

Quadro 22: Caracterização das variáveis dendrométricas e da PPL para o povoamento puro de pinheiro bravo.

Povoamento Puro de Pinheiro bravo (Pb)					
	dg Pb (cm)	hg Pb (m)	N Pb (nº arv/ha)	G Pb (m ² /ha)	PPL Pb (kg 500m ⁻² ano ⁻¹)
Média	26,1	14,5	2813,9	23,1	275,8
Máximo	37,4	19,0	7800,0	38,1	553,7
Mínimo	13,9	5,6	80,0	4,3	31,9
Desvio padrão	5,8	3,4	2360,6	11,1	183,4

Quadro 23: Caracterização das variáveis dendrométricas e da PPL para o povoamento puro de carvalho-negral.

Povoamento Puro de Carvalho-negral (Qp)					
	dg Qp (cm)	hg Qp (m)	N Qp (nº arv/ha)	G Qp (m ² /ha)	PPL Qp (kg 500m ⁻² ano ⁻¹)
Média	23,5	11,7	320,0	11,0	389,3
Máximo	35,3	19,2	1040,0	22,7	1918,2
Mínimo	13,6	8,0	80,0	3,2	55,5
Desvio padrão	7,2	3,2	284,6	6,4	552,3

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Da análise dos quadros 22, 23 e 24, verificou-se que a PPL calculada para os diferentes povoamentos apresenta uma maior heterogeneidade nos povoamentos puros da espécie *Quercus pyrenaica*; igualmente se confirma que os povoamentos mistos conseguem um nível de fixação de carbono superior ($419,8 \text{ kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) ao dos povoamentos puros, sendo que, dentro destes, o povoamento puro de carvalho fixa mais carbono do que o de pinheiro ($389,3 \text{ kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ de Qp contra $275,8 \text{ kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ de Pb).

Quadro 24: Valores de PPL para o povoamento misto de pinheiro bravo e carvalho negral.

Povoamento Misto de Pinheiro bravo e carvalho-negral			
	PPL Pb ($\text{kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	PPL Qp ($\text{kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	PPL Total ($\text{kg } 500\text{m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)
Média	188,4	231,4	419,8
Máximo	391,1	1262,1	1383,2
Mínimo	30,0	38,0	159,2
Desvio padrão	110,9	369,4	361,4

Com este exemplo de aplicação não se esgotam os contextos em que há necessidade de uso dos modelos de estimativa da biomassa ajustada mas exemplifica-se quão relevantes podem ser.

7 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, e tendo em conta as constatações já produzidas nesse ponto, são conclusivamente de realce as seguintes observações:

- ♦ Verificou-se que a biomassa seca total média por árvore, assume um valor mais elevado para o pinheiro bravo (210,1 kg/árvore) relativamente ao verificado para o carvalho-negral (186,0 kg/árvore). Quanto à análise por componentes, constata-se que a maior quantidade de biomassa se concentra na parte do tronco (para ambas as espécies), sendo que na zona da copa são os ramos que concentram a maior quantidade relativa de biomassa.
- ♦ As equações de Faias (2008), aplicadas aos pinheiros bravos adultos, apresentaram um comportamento muito bom quando aplicadas as variáveis recolhidas no campo (d e h), o que pode indiciar que estas equações podem ser utilizadas, com bons resultados, para a região Norte de Portugal;
- ♦ Já o desempenho destes modelos, quando aplicados a povoamentos jovens de pinheiro bravo, revelou-se desadequado, pelo que se procedeu ao ajustamento de novas equações para este conjunto de árvores jovens. Realce-se, neste âmbito, que o ideal seria conseguir, num futuro próximo, ampliar e uniformizar a base de dados e proceder ao ajustamento de um modelo com bom desempenho comum às árvores adultas e jovens de pinheiro bravo;
- ♦ Embora a base de dados utilizada para o ajustamento dos modelos do carvalho tenha sido muito reduzida, esta permitiu ajustar equações que podem responder à necessidade crescente de estimativas da biomassa anidra da espécie na região;
- ♦ Também para esta espécie será idealmente importante e expectável ampliar a base de dados, considerando a distribuição mais equitativa das dimensões das árvores amostra, para que os modelos a obter tenham uma base de sustentação muito mais ampla e garantam uma maior confiança de utilização. Uma solução, de resultados imediatos, seria a junção desta base de dados com a de Carvalho (1995), e outras que tenha obtido posteriormente, opção de grande viabilidade e não onerosa;

- ♦ Registe-se a necessidade de recolher e tratar, em trabalhos futuros, a informação referente à biomassa do sistema radicular, o que necessariamente melhora bastante as potencialidades de aplicação dos modelos de biomassa;

- ♦ Não obstante as limitações já referidas, é de realçar que, para ambas as espécies, os modelos ajustados para a biomassa aérea apresentam bons coeficientes de correlação ajustados e erros baixos. O facto de se terem ajustado modelos por componentes da árvore, amplia também a possibilidade de uso, já que, para frequentes situações práticas, é apenas necessário conhecer a biomassa de componentes específicas. Como exemplo refira-se o caso dos inventários de biomassa disponível para centrais de biomassa, onde apenas é necessário conhecer valores para a biomassa da copa, já que a biomassa do tronco está interdita a este tipo de uso (abaixo do da bicada);

- ♦ A aplicação das equações ajustadas para estimativa do carbono fixado pelas duas espécies e a comparação da dinâmica de fixação em situação de povoamentos puros e mistos, comprovou a importância da disponibilidade desses modelos. Ainda que o exemplo de aplicação pudesse ser outro, a escolha fundamenta-se no facto de se tratar de um tema tão actual, num contexto presente de alteração climática, sendo que a quantificação de valores precisos é fundamental para a definição de políticas ao nível do ambiente e da gestão da floresta;

- ♦ Quanto à fixação de carbono, os resultados obtidos permitiram não só quantificar os potenciais de fixação destes povoamentos na região Norte, como comparar as dinâmicas de fixação quando a composição dos povoamentos se altera. Neste momento, é possível quantificar essa diferença e dar indicação no sentido de se privilegiar uma situação de monocultura ou uma maior diversificação da mesma. Não sendo resultados vinculativos são pelo menos indicadores sobre o tema e dão pistas para trabalhos futuros e para uma mais eficiente gestão destes ecossistemas. Em simultâneo, ajudam a encontrar argumentos que permitam valorizar a floresta;

- ♦ Em conclusão, este trabalho pretende contribuir, despretensiosamente, para a confirmação e consolidação da validade dos sistemas preditivos de biomassa, que se assumem com importância cada vez mais significativa no domínio da gestão florestal e, numa das vertentes paralelas, como método eficaz e rigoroso, de avaliação de fixação de carbono.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboal, J.R., Arévalo, J.R., Fernández, À., 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). *Flora*, 200: 264 – 274.

AFN, 2010. Inventário Florestal Nacional – Portugal Continental, IFN5, 2005-2006. Autoridade Florestal Nacional. Lisboa.

Allue, M., San Miguel, A., 1991. Estructura, evolucion y produccion de tallares de *Quercus pyrenaica* Willd. en el centro de España. Departamento de Sistemas Forestales. CIT-INIA. Apdo., 8.111. 28080 Madrid, España.

Alves, A. M, 1988. Técnicas de Produção Florestal: Fundamentos, Tipificação e Métodos. Instituto Nacional de Investigação Científica. 331 pp.

Arnaldo, P.S., Chacim, S., Lopes, D., 2010. Effects of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal. *iForest*, 3: 159 -162.

Barreto, L.S., 2010. Simulação do carbono retido no pinhal bravo e da sua acreção. *Silva Lusitana*, 18 (1): 47 – 58.

Bingre, P., Aguiar, C., Espírito-Santo, D., Arsénio, P., Monteiro-Henriques, T. 2007. Guia de Campo – As árvores e os arbustos de Portugal continental. IN: Sande Silva, J. (Eds), Árvores e Florestas de Portugal. Público, Liga para a Protecção da Natureza, Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa, pp. 462.

Brown, S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116: 363 – 372.

Carvalho, J.P., Parresol, B.R., 2003. Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) *Forest Ecology and Management*, 179: 269 – 276.

Carvalho, J.P.F., 1995. A *Quercus pyrenaica* WILLD. e a condução dos seus povoamentos - Instalação de parcelas de estudo permanentes de controlo de desbastes no perímetro florestal da serra da noqueira. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 169 pp.

Correia, A., Faias, S., Tomé, M., Evangelista, M., Freire, J., Carvalho, P.O., 2008. Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de pinheiro manso no sul de Portugal. *Silva Lusitana*, 16 (2): 197 - 205.

Correia, A.V., Oliveira, A.C., 2003. Principais espécies florestais com interesse para Portugal – zona de influência atlântica. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa. 187 pp.

Cortiçada, A., Faias, S., Tomé, M., Tomé, J., 2005. O efeito da rega e fertilização na alometria das árvores. 5º Congresso Florestal Nacional, Viseu.

Enquist, B.J., Niklas, K.J., 2002. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning across seed plants. *Science*, 295: 1517 – 1520.

Faias, S.M., 2008. Analysis of biomass expansion factors for the most important tree species in Portugal. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 48 pp.

Fehrmann, L., Kleinn, C., 2006. General considerations about the use of allometric equations for biomass estimation on the example of Norway spruce in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 236: 412 – 421.

Genet, A., Wernsdörfer, H., Jonard, M., Pretzsch, H., Rauch, M., Ponette, Q., Nys, C., Legout, A., Ranger, J., Vallet, P., Saint-André, L., 2011. Ontogeny partly explains the apparent heterogeneity of published biomass equations for *Fagus sylvatica* in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 261 (7): 1188-1202.

Houghton, J., 2004. *Global Warming, The complete briefing*. Cambridge – University Press (third edition). 351 pp.

Humphries, C.J., Press, J.R., Sutton, D.A., 2005. *Árvores de Portugal e Europa*. FAPAS – Fundo para a Protecção dos Animais Selvagens. 320 pp.

Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., Schulte, A., 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189: 87 – 96.

Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146: 199 – 209.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698 – 709.

Lopes, D., 2005. Estimating Net Primary Production in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* Ecosystems in Portugal. Phd Thesis. Kingston University, 291 pp.

Loureiro, A.M., 1989. Cultura das Principais Espécies Florestais Utilizadas em Portugal. Série Didática Ciências Aplicadas. UTAD. Vila Real. 128 pp.

Mikšys, V., Varnagiryte-Kabasinskiene, I., Stupak, I., Armolaitis, K., Kukkola, M., Wójcik, J., 2007. Above-ground biomass functions for Scots pine in Lithuania. *Biomass and Bioenergy*, 31: 685 – 692.

Montero, G., Muñoz, M., Donés, J., Rojo, A., 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín». *Invest Agrar: Sist Recur For*, 13 (2): 399 – 415.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal, nº 13. INIA – Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. 270 pp.

Myers, R.H., 1986. *Classical and Modern Regression with Applications*. Duxbury Press. Boston, Massachusetts, EUA. 359 pp.

Nath, A.J., Das, G., Das, A.K., 2009. Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. *Biomass and Bioenergy*, 33:1188 – 1196.

Onyekwelu, J.C., 2004. Above-ground biomass production and biomass equations for even-aged *Gmelina arborea* (ROXB) plantations in south-western Nigeria. *Biomass and Bioenergy*, 26: 39 – 46.

Parresol, B.R., 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, 45: 573–593.

Parresol, B.R., 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31 (5): 865 – 878.

Razakamanarivo, R.H., Razakavololona, A., Razafindrakoto, M.A., Vieilledent, G., Albrecht, A., 2011. Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. *Biomass and Bioenergy*, doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.020.

Rodrigues, M., 2009. Contribuição para o estudo do impacto das alterações do clima na taxa de fixação de carbono nos ecossistemas florestais do distrito de Vila Real. Dissertação de Mestrado em Clima e Alterações Climática. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 97 pp.

Saint-André, L., M'Bou, A.T., Mabila, A., Mouvondy, W., Jourdan, C., Rounsard, O., Deleporte, P., Hamel, O., Nouvellon, Y., 2005. Age-related equations for above and below-ground biomass of a *Eucalyptus* hybrid in Congo. *Forest Ecology and Management*, 205: 199 – 214.

Sampson, R.N., Sedjo, R.A., 1997. Economics of carbon sequestration in forestry: an overview. IN: Sedjo, R. A., Neil Sampson, R., Wisniewski J. (Eds.), Economics of Carbon Sequestration in Forestry. Lewis, Ohio, pp S1-S8.

Schulze, E.D., Wirth, C., Heimann, M., 2000. Managing forests after Kyoto. Science, 289: 204 – 205.

Senelwa, K., Sims, R.E.H., 1998. Tree biomass equations for short rotation Eucalypts grown in New Zealand. Biomass and Bioenergy, 13(3): 133 - 140.

Wang, C., 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. Forest Ecology and Management, 222: 9 – 16.

Waring, R.H., Landsberg, J.J., Williams, M., 1998. Net primary production of forests: a constant fraction of gross primary production? Tree Physiology, 18: 129 - 134.

West, G.B., Brown, J.H., Enquist, B.J., 2001. A general model for ontogenetic growth. Nature, 413: 628 – 631.

Zabek, L.M., Prescott, C.E., 2006. Biomass equations and carbon content of aboveground leafless biomass of hybrid poplar in Coastal British Columbia. Forest Ecology and Management, 223: 291 – 302.

Zhao, M., Zhou, G.S., 2005. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. Forest Ecology and Management, 207: 295 – 313.

ANEXOS

ANEXO 1- FICHA DE CAMPO

ANEXO 2 – FICHA DE LABORATÓRIO

Data de corte da árvore: ___/___/___

PARCELA N°	
LOCAL	
ESPÉCIE	
ÁRVORE N°	

MEDICÕES (efectuadas dia: ___/___/___)

♦ **1ª PARTE**

Peso de cada rodela <u>inteira</u>		Peso de cada rodela de estudo	
Rodelas	Peso Húmido (g)	Rodelas	Peso Húmido (g)
Base		Base	
Dap		Dap	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	

♦ **2ª PARTE**

- Retirar a casca de cada rodela;
- Peso Húmido da casca total de cada rodela de estudo;
- Peso da forma;
- Peso da forma + amostra;
- Peso da rodela sem casca.

Rodela Base	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela Dap	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 1	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 2	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 3	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 4	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

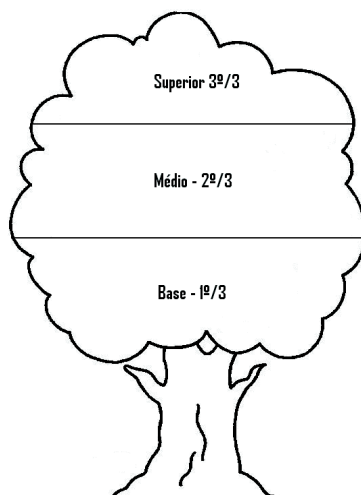
Rodela 5	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 6	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 7	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 8	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 9	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 10	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma n° _____ (g)			Peso da forma n° _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

♦ **3ª PARTE**

-Folhas, Ramos e Frutos



- Em cada porção (1º/3, 2º/3 e 3º/3) separar os ramos das folhas;

- Os ramos têm de ser separados por classes de diâmetro, consideram-se três classes:

< 2,5 cm; 2,5 – 7,5 cm e > 7,5 cm.

Base – 1º/3		
♦ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Ramos		
- <u>Classe < 2,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
- <u>Classe 2,5 – 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
- <u>Classe > 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

Médio – 2º/3		
♦ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Ramos		
- <u>Classe < 2,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
- <u>Classe 2,5 – 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
- <u>Classe > 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

Superior - 3º/3		
♦ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Ramos		
<u>- Classe < 2,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe 2,5 – 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe > 7,5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
♦ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

♦ **4ª PARTE**

- Determinação do volume de cada rodela de estudo

Rodelas	Volume (cm³)
Base	
Dap	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Data de corte da árvore: ___ / ___ / ___

PARCELA N°	
LOCAL	
ESPÉCIE	
ÁRVORE N°	

MEDIÇÕES (efectuadas dia: ___ / ___ / ___)

♦ **1ª PARTE**

Peso de cada rodela <u>inteira</u>		Peso de cada rodela de <u>estudo</u>	
Rodelas	Peso Húmido (g)	Rodelas	Peso Húmido (g)
Base		Base	
Dap		Dap	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	

♦ **2ª PARTE**

- Retirar a casca de cada rodela;
- Peso Húmido da casca total de cada rodela de estudo;
- Peso da forma;
- Peso da forma + amostra;
- Peso da rodela sem casca.

Rodela Base	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela Dap	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 1	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 2	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 3	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 4	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

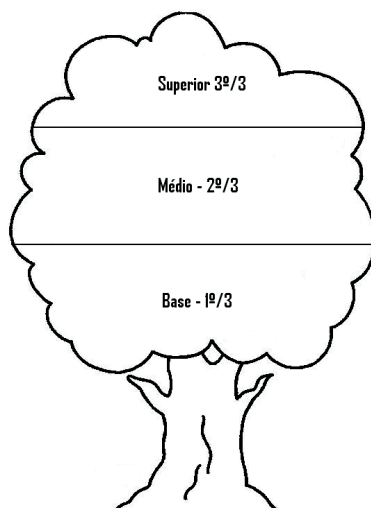
Rodela 5	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 6	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 7	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 8	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

Rodela 9	Peso Húmido	Peso Seco	Rodela 10	Peso Húmido	Peso Seco
Peso total da <u>casca</u> da rodela	g		Peso total da <u>casca</u> da rodela	g	
Peso da forma nº _____ (g)			Peso da forma nº _____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)			Peso da forma + amostra (g)		
Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)			Peso da <u>rodela</u> sem casca (g)		

♦ **3ª PARTE**

-Folhas, Ramos e Frutos



- Em cada porção (1º/3, 2º/3 e 3º/3) separar os ramos das folhas;
- Os ramos têm de ser separados por classes de diâmetro, consideram-se três classes:
< 2.5 cm; 2.5 – 7.5 cm e > 7.5 cm.

Base – 1º/3		
◆ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Ramos		
<u>- Classe < 2.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe 2.5 – 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe > 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

Médio – 2º/3		
◆ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Ramos		
<u>- Classe < 2.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe 2.5 – 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe > 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

Superior - 3º/3		
◆ Folhas		
Peso total das folhas (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Ramos		
<u>- Classe < 2.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe 2.5 – 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
<u>- Classe > 7.5 cm</u>		
Peso total dos ramos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:
◆ Frutos		
Peso total dos frutos (g)	Peso Húmido:	
Peso da forma nº ____ (g)		
Peso da forma + amostra (g)	Peso Húmido:	Peso Seco:

♦ **4ª PARTE**

- Determinação do volume de cada rodela de estudo

Rodelas	Volume (cm³)
Base	
Dap	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Parcela: _____ Local: _____ Espécie: _____ Arv. Nº: _____ Data: _____

Medições com a árvore em pé

Ht (Alt. Total) (m)	
Dap (cm)	
D Base (cm)	

Distância / Razo da copa (m)			
Norte	Sul	Este	Oeste

Medições com a árvore abatida (m)

Hbcs (Alt. Base copa Seca)	
Hcs (Alt. Copa seca)	
Htcs (Alt. Total da copa seca)	
Hbcv (Alt. Base Copa viva)	
Hcv (alt. Copa viva)	
Ht (Alt Total da copa viva)	
H terço da copa	
Altura da bicada	
Hst (Alt. Do cepo)	

Medições nas árvores adjacentes à árvore a abater

Nº árv.	Espécie	Azimute (º)	Dist. à Arv a abater (m)	Altura (m)	Dap (cm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Distâncias do comprimento das copas das árvores adjacentes à árvore a abater

Nº árvore	Norte (m)	Sul (m)	Este (m)	Oeste (m)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Parcela: _____ Local: _____ Espécie: _____ Árv. Nº: _____ Data: _____

Análise do tronco

Pesos de ramos secos

Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Ramo amostra
Peso total de ramos secos (kg)								

Pesos da copa verde

Copa viva 1º Terço

Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Ramo amostra
Total peso (kg)								

Copa viva 2º Terço

Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Ramo amostra
Total Peso (kg)								

Copa viva 3º Terço

Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Ramo amostra
Total Peso (kg)								
Total do peso da copa viva (kg)								

Parcela: _____ Local: _____ Espécie: _____ Árv. Nº: _____ Data: _____

Peso do tronco (kg)

								total (kg)
Base / 1.3								
1.3 / 3.3								
3.3 / 5.3								
5.3 / 7.3								
7.3 / 9.3								
9.3 / 11.3								
11.3 / 13.3								
Peso total do tronco (kg)								

Peso das Rodelas (kg)

Rodela	Alt	Diâmetro	Peso
Base			
Dap			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Peso Total Rodelas			

Peso total tronco + rodela (kg)