



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento

Ano 2011

**Pedro Miguel
Rocha e Abreu**

**Contributo da Criptoméria para o sequestro de carbono
nos Açores**



**Pedro Miguel
Rocha e Abreu**

**Contributo da Criptoméria para o sequestro de carbono
nos Açores**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e coorientação do Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi financiado por fundos FEDER através do programa operacional fatores de competitividade (COMPETE) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto BIOGAIR (PTDC/AAC-AMB/103866/2008).

"Os conceitos e princípios fundamentais da ciência são invenções livres do espírito humano."

(Albert Einstein)

o júri

Presidente

Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora Associada com Agregação do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira

Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Professora Doutora Myriam Alexandra Batalha Dias Nunes Lopes

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A realização dum estudo sobre a capacidade de sequestro pela floresta açoriana envolve um conjunto de entidades e pessoas intervenientes que, sem a sua ajuda e colaboração, teria sido impossível a boa execução deste estudo.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Myriam Lopes e ao meu coorientador, o Professor Doutor Luís Tarelho, pela disponibilidade, partilha de conhecimentos na interpretação e sugestões levantadas ao longo da dissertação e orientação do trabalho experimental.

Gostaria também de expressar a minha gratidão aos serviços florestais dos Açores, pelo envio das amostras requeridas, nas pessoas dos Eng. Carla Nunes, Eng. Nuno Bicudo, Eng. Belerique, e especialmente ao Engenheiro Vasco Medeiros, pelo contributo fundamental na obtenção dos dados do Inventário Florestal, e pela enorme disponibilidade demonstrada no esclarecimento das inúmeras dúvidas que foram surgindo ao longo da dissertação.

Às técnicas de laboratório do Departamento de Ambiente e Ordenamento pela ajuda no decorrer do trabalho laboratorial, e em especial à Eng^a Elisabete Teixeira pelo tempo e paciência dispendidas com a minha pessoa.

À Mariana, pela preciosa ajuda e apoio constantes, desde o primeiro dia de trabalho, e ao meu amigo Leonard, pela ajuda e conhecimentos transmitidos para a utilização do programa ArcGis.

Para finalizar, gostaria de mostrar o meu sincero agradecimento a toda a minha família e a todos os meus amigos, especialmente à Cooperativa, que por fazerem parte da minha vida contribuíram significativamente para a concretização desta dissertação.

Dedico este trabalho ao meu Pai.

palavras-chave

Aquecimento Global, *Cryptomeria japonica*, Inventários Florestais, Sequestro de carbono, *Stocks* de carbono

resumo

A presente dissertação pretende avaliar a contribuição da espécie exótica *Cryptomeria japonica* para o sequestro de carbono da floresta açoriana. Na primeira parte da tese é desenvolvida uma metodologia laboratorial para aferição da percentagem de carbono presente na matéria seca desta espécie. Foram obtidos valores médios de carbono de 52,04% para a copa, 50,56% para o fuste e 49,82% para a raiz. Na segunda parte da tese são determinados os valores dos stocks de carbono e é avaliada a capacidade de sequestro da *Cryptomeria japonica* através dos dados do Inventário Florestal dos Açores de 2007 disponibilizados pelos serviços florestais da ilha Terceira. Verificou-se ser o fuste a componente que contabiliza um maior armazenamento de carbono, seguido da copa e da raiz, com valores médios de stock iguais a 150,2; 56,4 e 51,9 t C ha⁻¹ respetivamente. Os valores de stock foram também estimados tendo em conta a real área de ocupação da espécie pelas diferentes ilhas analisadas. A contabilização dos stocks totais presentes na floresta de *Cryptomeria* foi estimada em 2816 ± 1594 Gg de C, representando cerca de 2% dos stocks da floresta portuguesa. O valor médio de sequestro obtido nas parcelas de inventário de 8,36 t C ha⁻¹ano⁻¹ em PPL, correspondente a uma remoção de CO₂ de 30 t ha⁻¹ano⁻¹. Verificou-se também que o sequestro de carbono aumenta com o aumento dos parâmetros altura total (Ht), diâmetro quadrático médio (dg) e Idade (I) durante os primeiros estágios de desenvolvimento da planta.

Keywords

Global Warming, *Cryptomeria japonica*, Forest Inventories, Carbon sequestration, Carbon stocks,

abstract

This dissertation aims to assess the contribution of the various constituents of the exotic *Cryptomeria japonica* for forest carbon sequestration in Azores Islands. In the first part of the thesis is developed a laboratory method to measure the percentage of carbon present in the dry matter of this kind. Were obtained average carbon values of 52.04% for the canopy, and 50.56% to 49.82% for stem and root respectively. In the second part of the thesis are given the values of carbon stocks and evaluated the ability of carbon sequestration from *Cryptomeria japonica* through 2007 forest inventory data provided by the forest services of Azores. It was proved to be the stem, the component that contains more carbon per plot (150,2 t C ha⁻¹) followed by the canopy (56,4 t C ha⁻¹) and root (51,9 t C ha⁻¹). The total *stock* values have also been estimated taking into account the actual area of the specie's occupation on each island. The total stock present in the forest of *Cryptomeria japonica* was estimated in 2816 ± 1594 Gg, a value that represents approximately 2% of the Portuguese forest *stock*. The average value of the rate of carbon sequestration of this specie equals 8,36 t C ha⁻¹year⁻¹ expressed in NPP, corresponding to a CO₂ fixation of 30 t ha⁻¹year⁻¹. It was also found that carbon sequestration increases with the increase of the parameters total height (ht), mean square diameter (dg) and age (I) during the early stages of plant development.

Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Tabelas	v
Notação.....	vii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização da tese	4
2 A floresta e as alterações climáticas	5
2.1 Aquecimento global.....	5
2.2 Mecanismos de mitigação de CO ₂	7
2.3 O ciclo do carbono.....	9
2.4 Papel das florestas na mitigação de GEE.....	12
3 Metodologias para o cálculo de sequestro de carbono nas florestas	15
3.1 Inventários florestais.....	15
3.2 Método das flutuações instantâneas.....	16
3.3 Modelação inversa.....	16
3.4 Deteção remota	17
3.5 Monitorização intensiva	18
3.6 Modelos.....	18
4 Balanço de carbono na floresta portuguesa.....	21
4.1 Floresta portuguesa.....	21
4.2 Floresta de <i>Cryptomeria japonica</i>	26
5 Caso de estudo: Floresta de <i>Cryptomeria japonica</i> nos Açores	29
5.1 Arquipélago dos Açores	29
5.2 Caracterização da floresta açoriana	31
5.1 A <i>Cryptomeria japonica</i>	33
6 Determinação do teor de carbono na <i>Cryptomeria japonica</i>	37
6.1 Preparação das amostras.....	38
6.2 Determinação do teor de humidade a 105°C	40
6.3 Determinação do teor de cinzas.....	41
6.4 Análise química elementar	43
6.5 Resultados e discussão	45
7 Sequestro de carbono na floresta de <i>Cryptomeria japonica</i> dos Açores.....	51
7.1 Análise ao inventário florestal.....	51

7.2	Cálculo dos <i>stocks</i> de carbono.....	56
7.2.1	Metodologia.....	56
7.2.2	Resultados	62
7.3	Sequestro de carbono	64
7.3.1	Metodologia.....	64
7.3.1	Resultados	69
8	Conclusões	79
	Referências bibliográficas	83
	Anexos	95

Índice de Figuras

Figura 1 – Representação esquemática do ciclo global de carbono (adaptado de URL01).	10
Figura 2 - Representação esquemática do ciclo do carbono do sector florestal (adaptado de URL02).	11
Figura 3 - Representação esquemática das metodologias <i>stock-difference</i> e <i>gain-loss</i> (adaptado de TCG, 2009).	15
Figura 4 - Balanço anual de CO ₂ do sector LULUCF em Portugal, (adaptado de Pereira <i>et al.</i> , 2011).	21
Figura 5 – Localização geográfica do Arquipélago dos Açores, (adaptado de URL05).	29
Figura 6 - Constituição do Arquipélago dos Açores (URL06).	30
Figura 7 - Sazonalidade da precipitação no Arquipélago dos Açores (Rodrigues <i>et al.</i> , 2004).	31
Figura 8 - a) Fruto de <i>Cryptomeria Japonica</i> (URL07) e b) floresta de <i>Cryptomeria japonica</i> em S. Miguel (Ponte <i>et al.</i> , 2011).	33
Figura 9 – Esquema simplificado do processo produtivo de <i>Cryptomeria japonica</i> (adaptado de DRRF, 2010).	34
Figura 10 - Principais utilizações da madeira de <i>Cryptomeria japonica</i> (Belerique <i>et al.</i> , 2006).	36
Figura 11 - Destino geográfico da madeira serrada de <i>Cryptomeria japonica</i> (Belerique <i>et al.</i> , 2006).	36
Figura 12 – Partes constituintes da árvore analisadas (adaptado de URL08).	37
Figura 13 – Amostras de biomassa cortada correspondente a copa (a), fuste (b) e raiz (c).	38
Figura 14 - Acondicionamento das amostras de biomassa em caixa de alumínio para secagem ao ar no laboratório.	39
Figura 15 - Processamento das diversas componentes da amostra de <i>Cryptomeria japonica</i> para posterior análise laboratorial.	40
Figura 16 – Amostras (15) de <i>Cryptomeria japonica</i> a 0,250 mm para análise química elementar.	43
Figura 17 - Distribuição dos povoamentos de <i>Cryptomeria japonica</i> por classe de idades, com base na informação do inventário florestal dos Açores (DRRF, 2007).	52
Figura 18 – Distribuição da idade média dos povoamentos de <i>Cryptomeria japonica</i> por ilha, com base na informação do inventário florestal dos Açores (DRRF, 2007).	52
Figura 19 – Curva de crescimento de ht para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).	54
Figura 20 – Curva de crescimento de dg para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).	54
Figura 21 – Curva de crescimento em vf para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).	55
Figura 22 - Correlação entre o volume de fuste (vf) e o peso de copa seco da espécie <i>Cryptomeria japonica</i>	55
Figura 23 – Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do <i>stock</i> de C do fuste.	58
Figura 24 - Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do <i>stock</i> de C da copa.	60
Figura 25 - Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do <i>stock</i> de C da raiz.	61
Figura 26 - <i>Stocks</i> médios de C da Criptoméria estimados para o arquipélago, por parte constituinte, e respetivos desvios padrões médios amostrais.	62

Figura 27 - Estimativa dos <i>stocks</i> totais de C por ilha e para o arquipélago dos Açores e respetivos desvios padrões médios amostrais.	63
Figura 28 – Evolução do sequestro de C com ht, dg, vt e idade do povoamento	69
Figura 29– Evolução do <i>stock</i> de C ao longo da idade da planta.	70
Figura 30 – Evolução da taxa de sequestro de C ao longo da idade da planta.	71
Figura 31- Valores médios de sequestro de C pela planta, obtidos para cada ilha	71
Figura 32 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha do Faial. ..	73
Figura 33 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha das Flores.74	
Figura 34 – Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha Terceira. .	75
Figura 35 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha de S.Miguel.	76
Figura 36 – Exemplo de material grosseiro retirado para determinação das densidades verde e seca da <i>Cryptomeria japonica</i> (Ponte <i>et al.</i> , 2011).	97
Figura 37 - Determinação do volume “verde” da <i>Cryptomeria japonica</i> por Imersão	97
Figura 38 – Ficha de campo da parcela 4_AH do Inventário Florestal da região autónoma dos Açores.	98
Figura 39 – Parcela 4_AH do Inventário Florestal da região autónoma dos Açores.	98

Índice de Tabelas

Tabela 1- GEEs, suas características e potencial de aquecimento global (IPCC, 2007a).....	6
Tabela 2- <i>Stock</i> de carbono nas florestas mundiais por região e sub-região (adaptado de FAO, 2010).....	13
Tabela 3 – Alguns estudos de sequestro de carbono e <i>stocks</i> efetuados para a floresta portuguesa.	24
Tabela 4 - Alguns estudos de sequestro de carbono efetuados para as principais espécies da floresta portuguesa.	25
Tabela 5 - Taxas de sequestro da espécie <i>Criptoméria</i> por idades (adaptado de Sasaki e Kim, 2008).	28
Tabela 6 - Áreas de ocupação por espécie dominante e por tipo de povoamento em hectares (adaptado de Ponte <i>et al.</i> , 2011).	32
Tabela 7 - Resumo das técnicas de silvicultura aplicadas à floresta de produção da espécie <i>Cryptomeria japonica</i> nos Açores durante a fase de manutenção (adaptado de Silva, 2007).	35
Tabela 8 – Nomenclatura adotada para as amostras de <i>Cryptomeria japonica</i>	39
Tabela 9 - Correspondência das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> analisadas.....	44
Tabela 10 - Caracterização química das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> provenientes da ilha Terceira (valores médios).....	45
Tabela 11 - Caracterização química das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> provenientes do Nordeste – ilha de S. Miguel (valores médios).	46
Tabela 12 - Caracterização química das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> provenientes de P. Delgada.....	47
Tabela 13 - Resultados da análise química elementar às 15 amostras compostas de <i>Cryptomeria japonica</i> ..	49
Tabela 14 - Valores de massa volúmica de madeira verde e seca da espécie <i>Cryptomeria</i> e respetivos erros (Ponte <i>et al.</i> , 2011).....	57
Tabela 15 – Frações mássicas de biomassa de <i>Cryptomeria japonica</i> obtidas através do estudo de Fukuda <i>et al.</i> (2003).	59
Tabela 16 – Valores de <i>stock</i> médios estimados por ilha, para o arquipélago e respetivo desvio padrão	63
Tabela 17 - Resultados experimentais da determinação do Teor de Humidade a 105°C das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> (ilha Terceira).	99
Tabela 18- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> (ilha Terceira).	100
Tabela 19- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> (Nordeste – ilha de S. Miguel).	101
Tabela 20- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de <i>Cryptomeria japonica</i> (Ponta Delgada).....	103

Notação

Siglas, símbolos e acrónimos

AFN	Autoridade Florestal Nacional
AMA	Acrécimo Médio Anual
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CEN/TS	<i>European Committee for Standardization/Technical Specification</i>
CER's	<i>Certified Emissions Reductions</i>
CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CFC's	Clorofluorcarbonetos
CIE	Comércio Internacional de Emissões
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
CORINE	<i>Co-Ordination of Information on the Environment</i>
DRF	Direção Regional de Florestas
EEFR	<i>Efiscen European Forest Resource</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FEB	Fator de Expansão de Biomassa
FRA	<i>Forest Resource Assessment</i>
GEEs	Gases de Efeito de Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
GPG LULUCF	<i>Good Practice Guide for Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
HCFC's	Hidroclorofluorcarbonetos
HFC's	Hidrofluorcarbonetos
IC	Implementação Conjunta
IFN	Inventário Florestal Nacional
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
MCPFE	<i>Ministerial Conference on the Protection of Forests</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NGGIP	<i>National Greenhouse Gas Inventories Programme</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PFC's	Perfluorcarbonetos
PLB	Produtividade Líquida do Bioma
PLE	Produtividade Líquida do Ecossistema
PPB	Produtividade Primária Bruta

PPL	Produtividade Primária Líquida
R _A	Respiração Autotrófica
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging</i>
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
R _H	Respiração Heterotrófica
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SRAM	Secretaria Regional do Ambiente e do Mar
UE	União Europeia
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

Índices

bs	base seca
bsar	base seca ao ar
btq	base tal e qual

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O aquecimento global da Terra associado às alterações climáticas é dos mais preocupantes e complexos problemas que a sociedade atual tem de enfrentar, tendo repercussões ao nível dos ecossistemas, da qualidade da água, da saúde humana e das atividades económicas. Um dos principais responsáveis por este fenómeno é o dióxido de carbono (CO₂) emitido pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2001a).

Nesse sentido, a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC), do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change* e o seu protocolo de Quioto, solicitam a todos os países membros para avaliar e relatar as emissões nacionais de Gases de Efeito Estufa (GEEs) regularmente (IPCC, 2006).

Sem a existência de sumidouros de CO₂, responsáveis pela remoção e armazenamento de CO₂ da atmosfera, o total de emissões humanas de CO₂ desde o ano 1800 teria causado um aumento de CO₂ atmosférico do seu valor pré-industrial de 280 ppm para aproximadamente 500 ppm (Richardson *et al.*, 2009).

Os ecossistemas florestais, que cobrem mais de 4 biliões de hectares da superfície terrestre, contêm importantes reservatórios de carbono na sua vegetação e solos (IUFRO, 2005). As florestas influenciam o clima e o processo de alteração climática, absorvendo carbono no lenho, folhas e no solo, e libertando-o para a atmosfera aquando dos incêndios florestais, cortes, doenças ou alterações no uso do solo.

O fenómeno das alterações climáticas e as florestas são deste modo indissociáveis, pelo que quantificar o papel substancial destas como sumidouros e reservatórios de carbono, assim como fontes de carbono, torna-se fundamental para compreender o ciclo global do carbono (FAO, 2010).

As avaliações dos recursos florestais mundiais realizadas por organismos científicos como o IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, permitem estimar a magnitude dos *stocks* e fluxos de carbono nos ecossistemas florestais. Ao mesmo tempo, complementam e facilitam a comunicação internacional das emissões de GEEs de cada país (FAO, 2010).

As florestas constituem assim um importante instrumento no controlo do fenómeno do aquecimento global, pelo que para o estabelecimento de políticas que visam atingir este objetivo, é essencial que a contribuição destas seja avaliada e conhecida.

Neste âmbito, foi desenvolvida a presente dissertação, em colaboração com os Serviços Florestais da ilha Terceira (Açores), estando também inserida no âmbito e objetivos do projeto BIOGAIR “Impacto da cadeia de valorização energética de biomassa na qualidade do ar e na política climática portuguesa”.

1.2 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho foram os seguintes:

- avaliar o contributo das partes constituintes da planta *Cryptomeria japonica*, nomeadamente fuste, copa e raiz, no sequestro de carbono, através da determinação experimental do teor de carbono presente na matéria seca destas partes constituintes.
- analisar a capacidade de remoção de carbono desta espécie, através do estudo da capacidade de absorção de carbono ao longo dos vários estágios do seu desenvolvimento.
- avaliar o potencial de sequestro de CO₂ da floresta de *Cryptomeria japonica* dos Açores, e o seu contributo para a política climática desta região autónoma.

O estudo da espécie florestal *Cryptomeria japonica* surge da necessidade de repovoamento da floresta açoriana com espécies endémicas, numa tentativa de preservar a floresta *Laurissilva* original. A *Cryptomeria japonica* é uma espécie exótica, e por conseguinte irá ser uma das espécies eliminadas aquando deste processo, pelo que, no âmbito da mitigação do aquecimento global, se torna premente avaliar o potencial impacto do seu abate na capacidade de sequestro de CO₂ pela floresta açoriana.

Pretende-se ainda com este trabalho adicionar conhecimento de base sobre o sequestro de carbono na floresta portuguesa, através da análise do contributo da floresta açoriana na mitigação do aquecimento global, e deste modo, induzir possíveis políticas de âmbito regional ou nacional que considerem o sector florestal como parte integrante das medidas mitigadoras de GEEs.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese encontra-se dividida em 8 capítulos. O presente capítulo é dedicado à introdução geral da tese, estando nele incluído o enquadramento teórico, os principais objetivos e estrutura.

No Capítulo 2 é efetuada uma revisão do estado do conhecimento atual sobre a problemática das alterações climáticas. É dada particular atenção às causas do aquecimento global, às respostas da comunidade internacional face a esse fenómeno, seguido de um breve resumo do ciclo do carbono e a sua ligação com o papel das florestas para a mitigação de GEEs.

No Capítulo 3 são apresentadas as diversas metodologias existentes para o cálculo de sequestro de carbono nas florestas.

No Capítulo 4 é feito o levantamento bibliográfico de diversos estudos de cálculo de *stocks* e sequestro de carbono realizados para a floresta portuguesa. Dado que a *Cryptomeria japonica* tem pouca representatividade na floresta portuguesa, é também feito o levantamento bibliográfico de estudos semelhantes para esta espécie a nível internacional.

O Capítulo 5 corresponde à apresentação do caso de estudo. Neste capítulo é feita a caracterização da área de estudo (Arquipélago dos Açores) e da floresta açoriana, em particular no que diz respeito à espécie *Cryptomeria japonica*.

O Capítulo 6 é relativo ao trabalho experimental desenvolvido com as amostras de *Cryptomeria japonica* cedidas pelos serviços florestais da ilha Terceira, que permitiram a determinação do teor de carbono presente na matéria seca das partes constituintes desta espécie.

No Capítulo 7 é efetuada uma análise ao inventário florestal açoriano, e são apresentadas as metodologias utilizadas para o cálculo dos *stocks* de carbono das várias partes constituintes da *Cryptomeria japonica* e do sequestro de carbono. Pretende-se também compreender como é que o sequestro de carbono varia com os parâmetros dendrométricos medidos ao nível da parcela. Por último foi desenvolvida uma metodologia para determinação do sequestro de carbono ao longo da idade da planta.

Por último, no Capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões e propostas sugestões para trabalho futuro.

2 A FLORESTA E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

2.1 AQUECIMENTO GLOBAL

Nunca antes na história de toda a civilização humana, os problemas ambientais assumiram tamanha importância como aquela que têm nos dias de hoje. É agora mais do que nunca que as alterações climáticas¹, que se traduzem no fenómeno de aquecimento global, constituem o mais sério problema ambiental com impacto direto sobre os seres humanos à escala global.

Desde o final do século XIX, tem vindo a ocorrer um acréscimo da temperatura do planeta (aumento de 0,56 a 0,92 °C entre 1906 e 2005), tendo-se acentuado bastante nos últimos 50 anos (aumento de 0,10 a 0,16°C, por década, entre 1956 e 2005). É precisamente este aumento que se traduz no conceito de aquecimento global (IPCC, 2007a).

A Terra recebe energia proveniente do sol sob a forma de radiação. Cerca de 30% desta radiação é refletida pela atmosfera e regressa ao espaço e a restante é absorvida pelo planeta, sendo depois refletida sob a forma de radiação infravermelha (calor), que é parcialmente absorvida por alguns gases existentes na atmosfera terrestre, e que a emitem novamente para a Terra, dificultando a sua normal dispersão, originando como consequência um aumento da temperatura do planeta (IPCC, 2001).

A estes gases dá-se o nome de gases de efeito estufa e são incluídos nesta categoria o vapor de água, o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o ozono (O₃).

Sem a existência natural do efeito de gases de efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de -19°C, cerca de 34 °C mais fria do que é hoje, o que tornaria o planeta inabitável (IPCC, 2001; Richardson *et al.*, 2009). Para além destes GEE, que existem naturalmente na atmosfera, existem outros que são emitidos na sua maioria exclusivamente por atividades antropogénicas e que incluem hexafluoreto de enxofre (SF₆) e hidrocarbonatos halogenados: halons, cloroflurcarbonetos (CFC's), hidrocloroflurcarbonetos (HCFC's), hidrofluorcarbonetos (HFC's) e perfluorcarbonetos (PFC's).

¹ A UNFCCC define o conceito de alteração climática como sendo aquela que se refere a uma mudança de clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana e que altera a composição da atmosfera global (IPCC, 2007a).

O aquecimento global que se tem vindo a registar deve-se a um incremento do efeito estufa. Embora este tipo de fenómeno possa ter origem natural (variações lentas no fluxo de energia proveniente do sol, erupções vulcânicas, incêndios, etc.), a maior parte dos GEE gerados tem origem antropogénica (Richardson *et al.*, 2009).

As emissões de GEE associadas à atividade humana têm crescido desde os tempos pré-industriais, com um aumento de cerca de 70% registado entre os anos de 1970 e 2004, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) (IPCC, 2007b).

O gás que mais contribui para o efeito estufa é o CO₂, representando cerca de 77% das emissões antropogénicas de GEE em 2004, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e à desflorestação (IPCC, 2007b).

As emissões de CH₄, que representam cerca de 14% das emissões totais de GEE, provêm principalmente de atividades agrícolas, como a produção de arroz e a criação de gado e da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007b).

As emissões de NO₂ contribuem em cerca de 8% para as emissões totais de GEE e resultam principalmente do uso de fertilizantes, que contêm nitratos e compostos azotados (IPCC, 2007b).

Os hidrocarbonetos halogenados, que representam cerca de 1% das emissões totais de GEE (IPCC, 2007b), provêm do uso destes compostos em frigoríficos, aerossóis, ares condicionados e também nos processos de produção de alumínio, semicondutores e HCFC-22 (Dias, 2005).

Como o contributo dos vários GEEs não é idêntico (depende do seu tempo médio de residência na atmosfera) e no sentido de poder ser avaliado o potencial real de aquecimento dos diferentes poluentes, é utilizado o Potencial de Aquecimento Global efetivo, do inglês *Global Warming Potential* (GWP), expresso em equivalentes de CO₂, e traduzido pelo efeito de aquecimento de uma emissão instantânea de 1 kg de um gás, relativamente ao CO₂ (Lopes, 2004; Dias, 2005).

Na Tabela 1 são apresentados os valores de GWP dos principais GEEs e respetivos tempos de vida.

Tabela 1- GEEs, suas características e potencial de aquecimento global (IPCC, 2007a).

Gás	Fórmula química	Concentração pré-industrial	Concentração (2005)	GWP (100 anos)	Tempo de vida na atmosfera (anos)
Dióxido de carbono	CO ₂	278ppm	379ppm	1	variável
Metano	CH ₄	700ppb	1774 ppb	25 ^(*)	12
Óxido Nítrico	N ₂ O	275ppb	319 ppb	298	114
CFC-12	CCl ₂ F ₂	0	538 ppt	10900	100

(*) Inclui efeitos diretos e indiretos (produção de ozono troposférico).

Tabela 1- GEEs, suas características e potencial de aquecimento global (continuação) (IPCC, 2007a).

Gás	Fórmula química	Concentração pré-industrial	Concentração (2005)	GWP (100 anos)	Tempo de vida na atmosfera (anos)
Perfluoretano	C ₂ F ₆	0	2,9 ppt	12200	10000
Perfluormetano	CF ₄	40ppt	74 ppt	7390	50000
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	0	5,6 ppt	22800	3200

2.2 MECANISMOS DE MITIGAÇÃO DE CO₂

As alterações climáticas foram pela primeira vez reconhecidas como sendo um sério problema na primeira conferência climática mundial realizada no ano 1979 em Genebra, ao cargo da Organização Mundial de Meteorologia, do inglês *World Metereological Organization* (WMO). Nesta reunião, foi discutida a maneira como as alterações climáticas afetavam as atividades humanas e foi emitida uma declaração à atenção dos governos mundiais, no sentido de prever potenciais mudanças efetuadas pelo homem no clima, potencialmente adversas para o bem-estar da humanidade (Lopes, 2004; Dias, 2005).

Posteriormente, seguiram-se uma série de conferências intergovernamentais, focadas nas alterações climáticas, entre os anos 80 e princípios de 90, destacando-se a de Toronto, em 1988, que reuniu governantes e cientistas, levando à criação do IPCC.

Em 1992, é assinada a Cimeira da Terra, no Rio de Janeiro. O seu objetivo principal era encontrar meios para conciliar o desenvolvimento socioeconómico com a conservação e proteção dos ecossistemas da Terra. Tinha nascido o conceito de desenvolvimento sustentável. Esta cimeira contribuiu também para uma mais ampla consciencialização de que os danos causados ao meio ambiente eram na sua maior parte provocados pelos países desenvolvidos (Lopes, 2004).

Nesta cimeira foi assinada por 155 países a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) que entrou em vigor em 1994 e que resultou no compromisso voluntário por parte dos países industrializados em reduzir as suas emissões até 2000, para os níveis registados em 1990. Neste âmbito cada país terá o dever de desenvolver, atualizar, publicar e participar às Conferências das Partes (COP) os inventários nacionais de emissões e remoções de GEEs (Lopes, 2004).

Nesse sentido, o IPCC no âmbito do seu Programa de Inventários Nacionais de Gases com Efeito de Estufa, do inglês *National GreenHouse Gas Inventories Programme* (NGGIP), produziu orientações para a criação de inventários de emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa. A versão revista das orientações do IPCC de 1996 para os inventários nacionais de gases responsáveis

pelo efeito de estufa contém fatores de emissão e métodos de cálculo de emissões para todos os sectores definidos na CQNUAC (IPCC, 2010).

Finalmente no ano de 1997, em Quioto (Japão), foi assinado o que até agora continua a ser o mais importante tratado assinado relacionado com o problema das alterações climáticas; este tratado, no entanto, só entrou em vigor no dia 16 de Fevereiro de 2005. Em traços gerais, foi decidido por consenso adotar um protocolo segundo o qual os países industrializados reduziram as suas emissões de GEE em pelo menos 5%, no período entre 2008 e 2012, em relação aos níveis de 1990 (UNFCCC, 2008). Os países da Comunidade Europeia assumiram a responsabilidade de cumprir um objetivo de redução comum de 8% relativamente aos níveis de 1990, podendo Portugal, de acordo com a partilha de responsabilidades negociadas, aumentar em 27% as suas emissões no período 2008-2012 em comparação com os níveis de 1990 (PNAC,2002). Em 2000-2001 este limite já tinha sido ultrapassado, atingindo um aumento de 36,5% (UNFCCC, 2004).

Em Quioto, foram ainda estabelecidos alguns mecanismos de flexibilização para uso no cumprimento dos compromissos de redução, que induziram à criação de um mercado para créditos de carbono.

Os mecanismos de flexibilização autorizam que cada país do Anexo I (países industrializados) participe em projetos de redução dos GEEs fora de seu território, inclusive em países em vias de desenvolvimento. Um mecanismo que reduza a emissão de GEEs fora dos países incluídos no Anexo I também tem o propósito de incentivar os países emergentes a alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável.

São três os mecanismos de flexibilização introduzidos por Quioto:

Comércio Internacional de Emissões (CIE) - realizado entre países listados no Anexo I, de maneira que um país, que tenha diminuído as suas emissões acima da sua meta, transfira o excesso das suas reduções para outro país que não tenha alcançado tal condição. Esta transferência envolve a conversão dessas reduções em licenças de emissão transacionáveis;

Implementação Conjunta (IC) – implementação de projetos de redução de emissões de GEEs entre países que apresentam metas a cumprir (países do Anexo I);

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - realizado em países que não têm metas de reduções de emissões de GEEs.

O MDL envolve os países em projetos de compensação de emissões de GEEs. No âmbito dos MDL são usados os certificados de redução de emissões (*Certified Emissions Reductions – CERs*).

Os projetos de uso do solo, mudança de uso do solo e florestação, do inglês *Land Use, Land Use-Change and Forestry* (LULUCF) surgem como estratégias no âmbito dos MDL com a finalidade de poder conter e reverter a acumulação de CO₂ na atmosfera, visando a diminuição do efeito de estufa. Como forma de mitigação do aquecimento global, uma variedade de meios artificiais de captura e de sequestro de carbono, assim como processos naturais começaram a ser estudados e explorados (UNFCCC, 2008; SRAM, 2007).

Paralelamente a Quioto, foi também criada pela União Europeia (UE), através da Diretiva 2003/87/CE de 13 de Outubro de 2003, o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), com o objetivo de tornar possível o cumprimento das metas do protocolo.

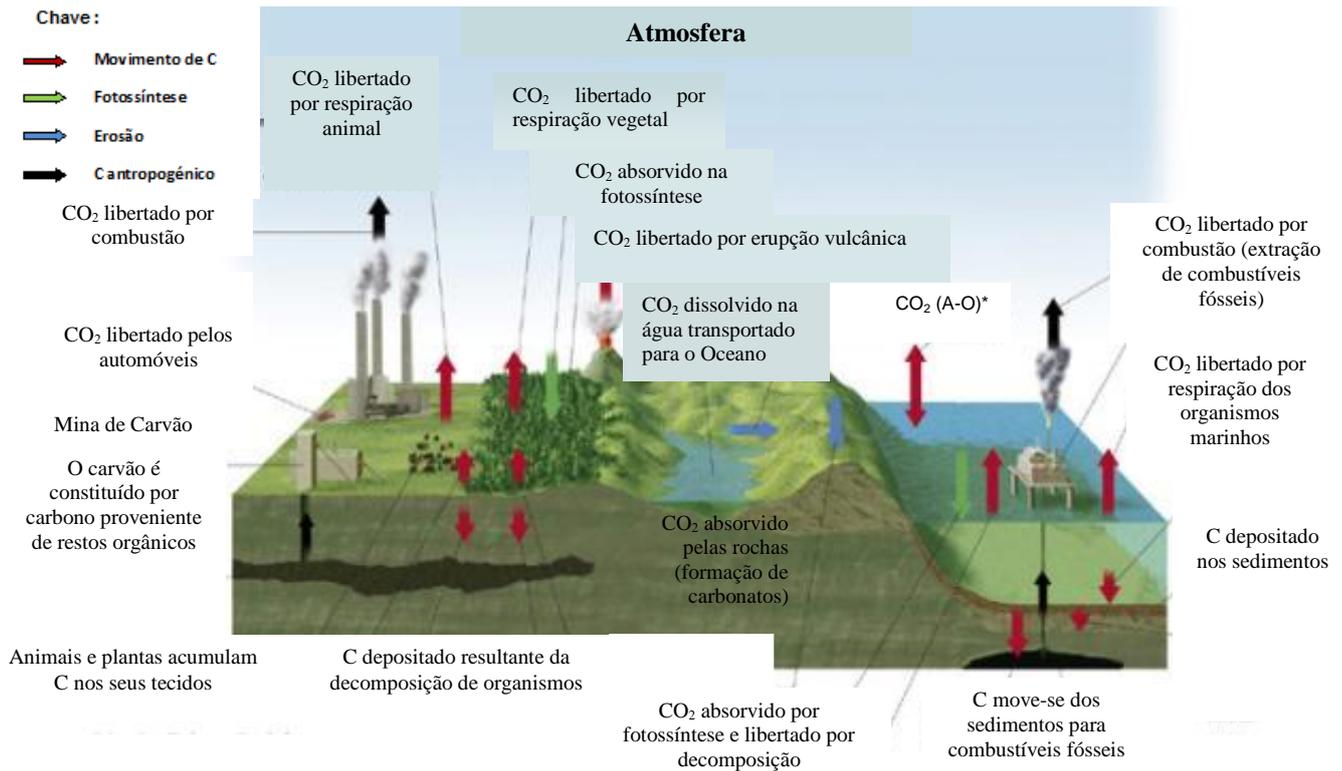
As empresas abrangidas pelo comércio de emissões passam desta forma a ser obrigadas a incluir o carbono no seu processo produtivo. Este tem agora associado a si um valor de mercado, pelo que uma gestão adequada desta variável, passando por uma maior sustentabilidade de imagem pública, é de extrema importância para as suas saúdes financeiras (URL03).

Recentemente, nas COP têm surgido discussões no âmbito do novo acordo que sucederá o Protocolo de Quioto após o ano 2012. No entanto, não existe ainda um acordo definitivo entre os países membros da CQNUAC acerca das metas a serem estabelecidas para o período pós-Quioto.

2.3 O CICLO DO CARBONO

O ciclo global do carbono envolve a transferência de carbono, em diversas formas, entre a biosfera (todos os organismos vivos da Terra), a atmosfera, a litosfera e oceanos.

Em termos simples, as plantas absorvem CO₂ da atmosfera e transformam-no em biomassa (madeira, folhas, frutos, etc.), através do processo conhecido como “fotossíntese”. Parte do carbono absorvido é devolvida à atmosfera, pela planta ou por outros organismos vivos, (respiração e decomposição) incluindo os humanos, que o utilizam na queima de combustíveis fósseis (Figura 1).



*Troca de CO₂ protagonizada entre a Atmosfera e o Oceano

Figura 1 – Representação esquemática do ciclo global de carbono (adaptado de URL01).

O ciclo global de carbono, divide-se todo ele num conjunto de outros pequenos ciclos, mais específicos, para cada reservatório analisado (Atmosfera, Florestas, Oceanos).

Na Figura 2 representa-se parte do ciclo de carbono associada ao sector florestal. As florestas absorvem carbono ao longo da sua vida, libertando-o posteriormente para o solo quando morrem, e para a atmosfera se queimadas ou envolvidas num qualquer processo industrial. O carbono pode também ficar armazenado, aquando da transformação da madeira num produto.

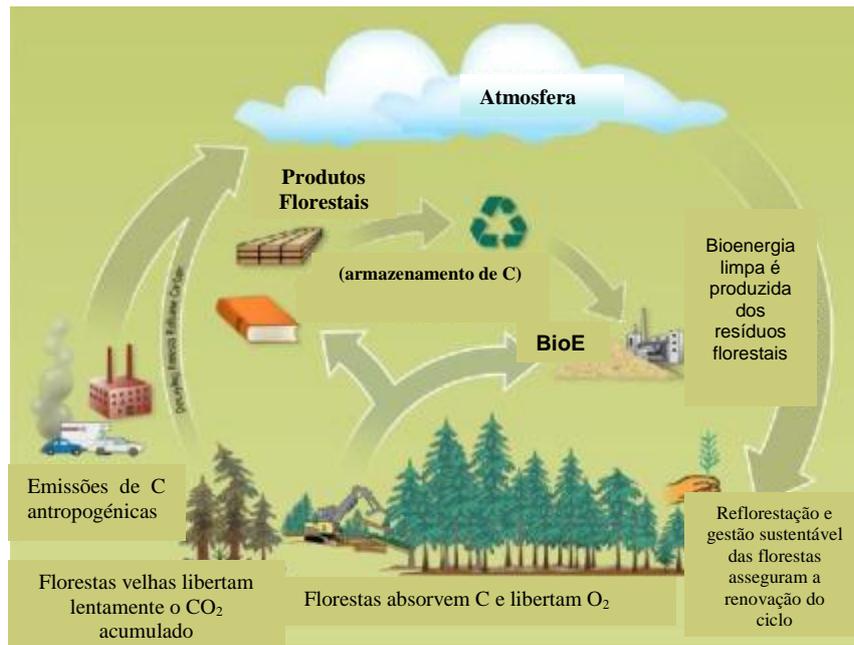


Figura 2 - Representação esquemática do ciclo do carbono do sector florestal (adaptado de URL02).

O ciclo do carbono aplicado ao sector florestal, é considerado um ciclo de carbono “zero” ou neutro, desde que a biomassa seja regenerada nos próximos ciclos, colhida para utilização e replantada de novo, pelo que uma gestão sustentável das fontes de biomassa é de extrema importância para garantir que o ciclo do carbono não seja interrompido (Silva, 2009).

Atualmente, o ciclo global de carbono não é neutro devido à entrada de CO₂ para a atmosfera pela queima de combustíveis fósseis e às alterações no uso do solo.

Os combustíveis fósseis contribuem atualmente com cerca de 85% das emissões totais de CO₂, e as alterações do uso do solo, com cerca de 15%. As emissões totais anuais cresceram exponencialmente cerca de 2% desde 1800. Contudo, as emissões de combustíveis fósseis têm aumentado desde 2000, aproximadamente 3,4% por ano, uma taxa de crescimento que está no limite superior do intervalo de projeção de taxas de crescimento do IPCC (Richardson *et al.*, 2009).

Estes combustíveis não são considerados como sendo neutros em carbono, pois contêm carbono que esteve armazenado durante milhares de anos, libertando-o após a queima sob a forma de CO₂ (Silva, 2009), cujas emissões totais são responsáveis por cerca de 2/3 do crescimento de todos os GEEs (Richardson *et al.*, 2009).

2.4 PAPEL DAS FLORESTAS NA MITIGAÇÃO DE GEE

Segundo a *Global Network for Forest Science Cooperation* (IUFRO, 2005), “mitigação” refere-se a “esforços para regulamentar e em última instância reduzir as emissões de GEEs ou para remover carbono da atmosfera, com o objetivo de evitar interferências antropogênicas significativas no sistema climático”.

A floresta é um dos elementos fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas (flora e fauna) e, simultaneamente, uma importante e variada fonte de riqueza socioeconômica. Cobrindo mais de $4,1 \times 10^9$ hectares da superfície da Terra (IPCC, 2007a), ou seja, cerca de 30% do total da área terrestre do planeta, desempenha um papel importante no balanço global de carbono.

As florestas fixam carbono (C) durante o seu crescimento, armazenando-o como elemento constituinte das suas partes, constituindo deste modo um reservatório² de C. A floresta pode atuar como um sumidouro³ de C, se o seu crescimento superar as perdas de biomassa associadas a cortes, incêndios, pragas e doenças (IPCC, 2000). Se o seu crescimento for inferior, esta comporta-se como uma fonte de C para a atmosfera.

A Tabela 2 reporta as estimativas feitas para o *Forest Resources Assessment* (FRA) pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), que aponta para que as florestas do mundo armazenem cerca de 289 Gt C só através da sua biomassa (FAO, 2010). Interessante também observar na tabela, que grande parte deste armazenamento se situa na América do sul, com um total de 102,190 Gt C, pouco mais de 1/3 da capacidade de armazenamento mundial, valor que pode em grande parte ser explicado pelo enorme contributo da floresta amazônica como reservatório de C.

² Um reservatório é qualquer componente do sistema climático responsável pelo armazenamento de um GEE ou seu precursor (UNFCCC, 2003).

³ Um sumidouro significa qualquer processo, atividade ou mecanismo que remove da atmosfera um gás com efeito de estufa, ou um seu precursor, ou um aerossol (DGRF, 2006).

Tabela 2- *Stock* de carbono nas florestas mundiais por região e sub-região (adaptado de FAO, 2010).

Região/Sub-região	Biomassa		Resíduos florestais e manta morta		Solo		Total <i>stock</i>	
	Mt C	t C/ha	Mt C	t C/ha	Mt C	t C/ha	Mt C	t C/ha
África Este e Sul	15762	58,9	3894	14,6	12298	46,0	31955	119,4
Norte de África	1747	22,2	694	8,8	2757	35,0	5198	66,0
África Central e Oeste	38349	116,9	3334	10,2	19406	59,1	61089	186,2
Total África	55859	82,8	7922	11,7	34461	51,1	98242	145,7
Ásia Este	8754	34,4	1836	7,2	17270	67,8	27860	109,4
Ásia Sul e Sudeste	25204	85,6	1051	3,6	16466	55,9	42722	145,1
Ásia Central e Oeste	1731	39,8	546	12,6	1594	36,6	3871	89,0
Total Ásia	35689	60,2	3434	5,8	35330	59,6	74453	125,7
Europa excl. Federação Russa	12510	63,9	3648	18,6	18924	96,6	35083	179,1
Total Europa	45010	44,8	20648	20,5	96924	96,4	162583	161,8
Caraíbas	516	74,4	103	14,8	416	60,0	1035	149,2
América Central	1763	90,4	714	36,6	1139	58,4	3616	185,4
América do Norte	37315	55,0	26139	38,5	39643	58,4	103097	151,8
Total América do Norte e Central	39594	56,1	26956	38,2	41198	58,4	107747	152,7
Total Oceânia	10480	54,8	2937	15,3	8275	43,2	21692	113,3
Total América do Sul	102190	118,2	9990	11,6	75473	87,3	187654	217,1
Mundo	288821	71,6	71888	17,8	291662	72,3	652371	161,8

Os *stocks* de carbono na biomassa da floresta diminuíram cerca de 0,5 Gt C anualmente durante o período 2005-2010, principalmente devido à redução da área florestal mundial (FAO, 2010).

De acordo com uma gestão sustentável, a florestação e a reabilitação das florestas podem conservar ou aumentar o *stock* de carbono florestal, enquanto a desflorestação, a degradação e uma gestão florestal inadequada reduzem-no.

O sequestro de carbono pelos ecossistemas florestais corresponde à quantidade de CO₂ que é fixado pela vegetação (fotossíntese ou produtividade primária bruta, PPB) e que pode ser acumulado a longo prazo no ecossistema (biomassa perene e matéria orgânica do solo). Durante este processo ocorrem perdas de CO₂ resultantes da respiração das plantas (Respiração autotrófica, R_A) e dos animais e microrganismos do solo (Respiração heterotrófica, R_H) (Correia *et al.*, 2008).

A PPB corresponde à quantidade de CO₂ que é convertida em carbono orgânico. Descontando a respiração das plantas (R_A), obtemos a Produtividade Primária Líquida (PPL), que representa a quantidade de carbono que fica armazenada na biomassa (Bown, 2007). Subtraindo a respiração dos organismos heterotróficos (R_H), que na floresta é representada essencialmente pelos microrganismos do solo, obtém-se a Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), que representa o balanço anual de carbono do ecossistema (Pereira *et al.*, 2007).

A PLE responde à variabilidade do clima, em função das respostas em separado dos fluxos de componentes que a produzem (fotossíntese e respiração). Fatores ambientais podem stressar ou simultaneamente impulsionar processos individuais de remoção ou emissão de carbono para a atmosfera através destes processos (Carvalhais *et al.*, 2010).

$$PPL = PPB - R_A \quad (\text{Equação 1})$$

$$PLE = PPL - R_H \quad (\text{Equação 2})$$

A PPB, PPL, PLE, R_H e R_A são usualmente expressas em g C ano^{-1} .

Fatores como a idade e produtividade das florestas (Alexandrov, 2007), aliados aos mecanismos naturais de respiração e fotossíntese (Raven e Karley, 2006) são elementos importantes que interferem na capacidade de sequestro de C por parte das florestas.

No que se refere à contabilização do sequestro de C, existem vários níveis de quantificação; frequentemente as estimativas referem-se apenas à componente arbórea, raramente é contabilizada a biomassa do estrato arbustivo ou herbáceo, e o carbono presente na manta morta ou no solo (Silva, 2009).

3 METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DE SEQUESTRO DE CARBONO NAS FLORESTAS

Existem vários métodos para quantificar o balanço de carbono na floresta nomeadamente o uso de inventários florestais, método das flutuações instantâneas, modelação inversa, deteção remota, monitorização intensiva e modelos.

3.1 INVENTÁRIOS FLORESTAIS

O método dos inventários florestais é o usado nos inventários nacionais de emissões de GEEs realizados no âmbito da CQNUAC.

O “*Good Practice Guidance for Land-Use Change and Forestry*” (GPG LULUCF) (IPCC, 2006), apresenta dois métodos distintos, que são utilizados para determinar o balanço de carbono na biomassa florestal, com base em dados de inventários florestais:

- Método *stock –difference* – pela diferença entre a biomassa existente em dois inventários florestais sucessivos.
- Método *biomass gain-loss* ou método dos fluxos de carbono – através da diferença entre o crescimento anual de cada espécie e as perdas de biomassa (associadas a cortes, fogos e causas naturais).

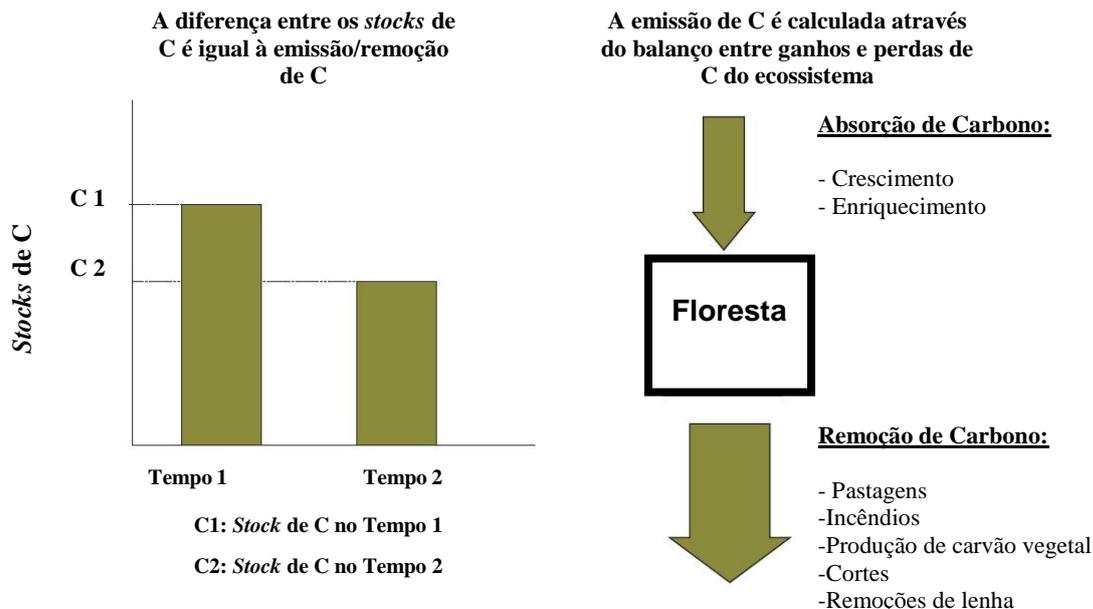


Figura 3 - Representação esquemática das metodologias *stock-difference* e *gain-loss* (adaptado de TCG, 2009).

No método *stock-difference*, o balanço de carbono é assim obtido a partir da variação dos *stocks* de carbono na biomassa. Se esta variação for positiva significa que há remoção de carbono da atmosfera, mas se for negativa significa que há emissão de carbono para a atmosfera (IPCC, 2003). Este método requer a aplicação de fatores de conversão que possibilitam estimar, a partir da quantidade de madeira, a massa de carbono presente na biomassa florestal.

O método *gain-loss* é utilizado com base numa compreensão ecológica de como ocorre o crescimento florestal e nas informações sobre os processos naturais ou antropogénicos capazes de produzir perdas de biomassa. Neste método, os ganhos de biomassa são estimados com base em taxas de crescimento típico em termos de Acréscimo Médio Anual (AMA), subtraindo as perdas de biomassa estimadas a partir de atividades como o corte e a extração de madeira, registo de danos na biomassa (doenças, pestes), pastagem, bem como perdas por incêndios (Murdiyarso *et al.*, 2008).

3.2 MÉTODO DAS FLUTUAÇÕES INSTANTÂNEAS

O método das flutuações instantâneas ou *eddy covariance*, começou a ser utilizado há cerca de duas décadas atrás, inicialmente com o objetivo de poder estudar as trocas de CO₂ de culturas agrícolas sob condições ideais (Baldocchi, 2003).

Este método permite a medição do fluxo instantâneo de carbono entre o ecossistema e a atmosfera, designado por PLE, através do uso de analisadores de CO₂ de resposta rápida e de anemómetros sónicos numa torre de medição de fluxos. Assim, a integração temporal deste fluxo permite estimar o balanço de carbono do ecossistema (vegetação e solo), excluindo as perdas de carbono decorrentes dos cortes, fogos e outras perturbações (Correia *et al.*, 2005; Rodrigues *et al.*, 2005; Mateus *et al.*, 2006; Carvalhais *et al.*, 2010).

Atualmente, as flutuações instantâneas tornaram-se um método *standard* para a monitorização “*in situ*” de CO₂ e vapor de água, (Aubinet *et al.*, 2000) representando um papel importante para a compreensão geral das respostas do ecossistema, e o entendimento da dinâmica biosfera -atmosfera (Mahecha *et al.*, 2010).

3.3 MODELAÇÃO INVERSA

O método da modelação inversa consiste em determinar o balanço de carbono nos ecossistemas terrestres a partir das concentrações e da composição isotópica de CO₂ e O₂ na atmosfera, medidas nas cerca de cem estações de amostragem distribuídas pelo planeta. Este método permite a obtenção de dados representativos de escalas espaciais que vão do regional ao continental, pelo que

a variabilidade de dados capturados integram a influência da atividade da biosfera na composição atmosférica ao longo de largas áreas. A integração deste método com conhecimento das emissões fósseis de CO₂ e com a utilização de modelos meteorológicos de transporte e de dispersão permite obter um mapa com a distribuição espacial das fontes e sumidouros de CO₂ no planeta, principalmente entre as latitudes médias e altas do hemisfério norte e sul e os trópicos (Rödenbek *et al.*, 2003; Howeling *et al.*, 2004; Göckede *et al.*, 2010a e 2010b; Gourjdi *et al.*, 2010).

3.4 DETEÇÃO REMOTA

A detecção remota tem vindo a ser utilizada há cerca de 20 anos, produzindo informação espacial e temporal detalhada sobre a atividade fotossintética terrestre e as variações estruturais do coberto vegetal no planeta. Neste método, a aquisição de dados é efetuada através do uso de sensores colocados em aeronaves ou em plataformas espaciais (UNDP, 2009). São utilizadas duas categorias de sensores, os ativos e os passivos.

A detecção remota ótica ativa faz uso da emissão de energia, a fim de poder verificar objetos e áreas através de um sensor que realiza a detecção e medição da radiação que é refletida ou o retro espalhamento do alvo. O RADAR (*RA*dio *DE*tectio*N* *AN*d *R*ang*ING*) é um bom exemplo desta categoria de sensores, onde os tempos de atraso entre a emissão e retorno de radiação são medidos, estabelecendo a localização, velocidade, altura e direção de um objeto (TCG, 2009; Andersen *et al.*, 2006).

Na detecção remota ótica passiva, é comum a utilização do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dado pela diferença entre o fator de reflexão da luz solar pela vegetação na região do vermelho e do infravermelho (Dong *et al.*, 2003). Este índice permite obter uma estimativa da radiação fotossinteticamente ativa (RFA)⁴ absorvida pela vegetação verde, que se encontra correlacionada com a PPL. Todavia, este método não considera a respiração autotrófica na estimativa da produtividade primária líquida e não quantifica todas as componentes lenhosas, nomeadamente ramos, troncos e raízes, na estimativa dos *stocks* de carbono (Correia, 2004).

Apesar de tudo, esta metodologia constitui uma ferramenta de grande utilidade, na monitorização de mudanças nas áreas de cobertura vegetal, e um recurso valioso na estimativa dos *stocks* de carbono de uma determinada área, especialmente quando a extensão espacial da área de estudo a ser avaliada é elevada (Andersson *et al.*, 2009).

⁴ RFA – Constitui um dos fatores abióticos que definem o estabelecimento e variações morfofisiológicas em organismos fotossintetizantes e que corresponde à faixa do espectro da luz solar entre os 400-700 nanómetros que é necessário pelas plantas para a fotossíntese (Alados *et al.*, 1996).

3.5 MONITORIZAÇÃO INTENSIVA

O método de monitorização intensiva permite efetuar uma avaliação periódica, em áreas delimitadas, de determinadas propriedades dos povoamentos florestais, de modo a obter informação sobre os fluxos e *stocks* de carbono nesses mesmos povoamentos. Em geral, são realizadas medições ao nível da biomassa (aérea ou radicular), tais como o seu crescimento, a sua composição química ou a sua divisão em diferentes compartimentos. As medições podem também incidir sobre características do solo, designadamente a sua composição química ou as taxas de decomposição da matéria orgânica. Este método é também frequentemente utilizado para avaliar os efeitos de diferentes práticas de gestão florestal (Madeira *et al.*, 2002).

No entanto, uma das limitações apontadas a este tipo de método, surge da sua incapacidade em refletir a contribuição considerável de eventos perturbadores, resultantes de causas naturais ou das atividades de uso da terra, que podem contribuir para importantes perdas de carbono (Körner, 2003).

3.6 MODELOS

“Um modelo por si só, constitui uma abstração da realidade, e por isso mesmo não poderá estar correto em todos os sentidos” (Soares *et al.*, 1995).

São vários os modelos existentes que permitem a determinação dos fluxos, *stocks* de carbono e a PPL nos ecossistemas florestais, podendo operar a diferentes escalas espaciais e temporais, apresenta diferentes graus de complexidade, e integrar diferentes reservatórios (Dias, 2005).

A maioria dos modelos utilizados para a avaliação do potencial de sequestro de carbono das atividades florestais são empíricos (Berry, 2008). Estes são os modelos mais simples, utilizados por todo o mundo e amplamente desenvolvidos. São baseados em dados mensuráveis, pelo que fornecem informações quantitativas para o planeamento e gestão necessários a um gestor florestal (Fontes *et al.*, 2006), levando em consideração os fluxos de diversos reservatórios de carbono devido à atividade florestal num local. Têm por base a descrição estatística de um fenómeno passado, ou seja, através dos dados medidos, é efetuada uma regressão, descrevendo estatisticamente o fenómeno, fazendo a sua projeção sobre a mesma tendência (Amaral *et al.*, 2005). Podem também ser utilizados para prever o crescimento e a produtividade da floresta ao longo de um determinado período de tempo, levando em consideração os fluxos de diversos reservatórios de carbono devido à atividade florestal de um local específico, mas não conseguem modelar os processos que causam essa acumulação (Berry, 2008), faltando-lhes flexibilidade e a capacidade para simular os resultados de stresses ambientais, tais como a seca, ou mesmo desvios

significativos em relação às condições iniciais, durante o período de realização das medições (Fontes *et al.*, 2006; Landsberg, 2003).

Neste sentido, surgem ao longo das últimas duas décadas novos modelos, baseados em processos fisiológicos de crescimento florestal, os modelos baseados em processos (Mohren *et al.*, 1984; Makela e Hari, 1986; Landsberg, 1986; Running *et al.*, 1987; Vase e Swank, 1990), também denominados de modelos mecanísticos, que têm como principal objetivo o de simular o crescimento dos povoamentos em termos dos processos fisiológicos subjacentes que determinam o crescimento, bem como a maneira como os fluxos são afetados pelas condições físicas a que estão sujeitas as árvores (Fontes *et al.*, 2006).

Estes modelos preveem também possíveis alterações no crescimento florestal devido a alterações climáticas (Amaral *et al.*, 2005), assim como o potencial produtivo de locais nunca arborizados ou o crescimento de povoamentos para os quais não existem medições (Paul *et al.*, 2003), e os efeitos de práticas de gestão de pragas e/ou doenças (Barreiro e Tomé, 2009), constituindo um importante instrumento para uma boa gestão florestal.

Os modelos baseados em processos, podem recorrer a novas tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica SIG (Tickle *et al.*, 2001) e fazer uso de satélites de deteção remota (Coops *et al.*, 1998a e 1998b), de modo a permitir estudos de povoamentos a escalas mais extensas.

Porém, aquando da parametrização destes modelos é requerido um grande número de variáveis iniciais que são difíceis de obter (Fontes *et al.*, 2006) fazendo com que exista uma incerteza considerável nas previsões produzidas e tornando a sua aplicação pouco prática (Amaral *et al.*, 2005).

Recentemente, têm vindo a surgir modelos com maior índice de sofisticação, os denominados modelos híbridos, isto é, modelos que integram a flexibilidade dos modelos de base fisiológica e os dados mensuráveis dos modelos empíricos (Kimmins *et al.*, 1990; Landsberg, 2003). Deste modo, é possível disponibilizar ao gestor florestal, um modelo em que as deficiências das duas abordagens (empírica e de processos) possam ser superadas até certo ponto (Bown, 2007; URL04).

No entanto, a comparação de modelos representativos tem mostrado grandes incertezas sobre o potencial de armazenamento de carbono das florestas no futuro (Friedlingstein *et al.*, 2006), incertezas essas que permanecem possivelmente devido à nossa incapacidade de poder apurar com precisão a dinâmica ecológica através dos modelos florestais (Purves e Pacala, 2008).

4 BALANÇO DE CARBONO NA FLORESTA PORTUGUESA

4.1 FLORESTA PORTUGUESA

Segundo os dados do último Inventário Florestal Nacional, (AFN, 2010) a floresta portuguesa ocupa cerca de 3,5 milhões de hectares, ou seja 39% do território nacional, tendo aumentado aproximadamente 3% nesta última década.

Na Figura 4 apresenta-se o balanço anual de CO₂ do sector LULUCF em Portugal, presente no mais recente relatório do Inventário Nacional de GEE efetuado pela Agência Portuguesa do Ambiente -APA (Pereira *et al.*, 2011), datado de 15 de Abril do presente ano, e apresentado ao abrigo da UNFCCC e do protocolo de Quioto.

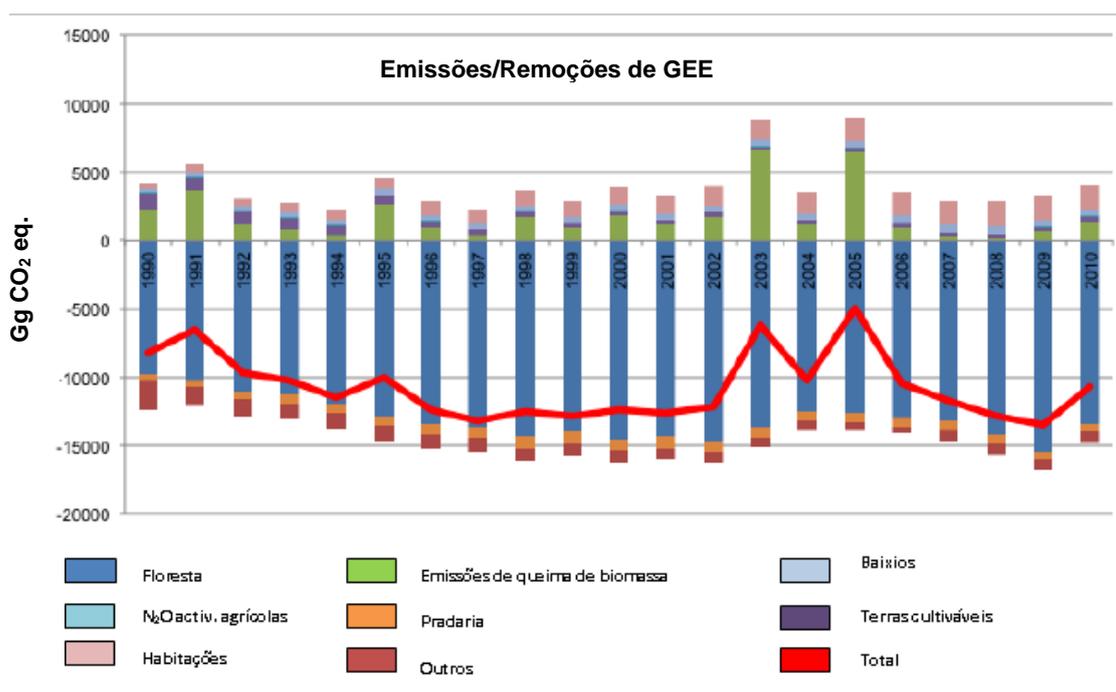


Figura 4 - Balanço anual de CO₂ do sector LULUCF em Portugal, (adaptado de Pereira *et al.*, 2011).

Na Figura 4, pode constatar-se a importância que a floresta tem no balanço anual de CO₂ para Portugal, quando comparada com as outras categorias de uso do solo do GPG LULUCF.

Os valores negativos de CO₂ equivalente compreendidos entre os anos de 1990 a 2010 indicam-nos que a floresta constituiu um sumidouro de carbono. Destacam-se os anos 2003 e 2005, onde a

floresta teve um elevado papel como fonte de carbono, contribuindo para as emissões de CO₂ equivalente, devido ao elevado número de fogos florestais que ocorreram nesses anos.

Relativamente à quantificação do balanço de carbono na floresta portuguesa, vários estudos têm vindo a ser efetuados internacionalmente, utilizando diversas metodologias. Assim, FAO (2009, 2010, 2011), UNECE/FAO (2000), Nabuurs e Schelhaas (2002), Liski *et al.*, (2002), Karjalainen *et al.*, (2003), MCPFE (2003) e Rautiainen *et al.*, (2009) recorreram à metodologia dos inventários florestais para estimar o balanço de carbono da floresta portuguesa, enquanto Dong *et al.*, (2003); Molin, (2010) e Alcaraz *et al.*, (2010) recorreram ao método da deteção remota.

No estudo “*Temperate and Boreal Forest Resources Assessment*” realizado pela *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE) em colaboração com a FAO, os *stocks* de carbono totais da floresta portuguesa foram estimados para o ano de 1995 em 96 Tg C, sendo que o sequestro de carbono pela biomassa total foi de 1,45 Tg C ano⁻¹ para o mesmo ano (UNECE/FAO, 2000).

Nabuurs e Schelhaas (2002) apresentam resultados relativos aos *stocks* de carbono e fluxos de PLE e PPL para toda a biomassa aérea (excluindo produtos florestais e solos), que foram obtidos através de bases de dados de inventários da *Efiscen European Forest Resource* (EEFR) para o período de meados de 1980 até meados da década de 1990. Estes autores chegaram a valores de 45,70 Tg C para os *stocks* de carbono presentes na biomassa aérea da floresta portuguesa. A PLE foi estimada em 2,79 Tg C ano⁻¹ e a PPL em 0,46 Tg C ano⁻¹.

Liski *et al.*, (2002) determinaram o balanço de carbono nos solos e na biomassa aérea de 14 países da União Europeia de 1950 a 2040, integrando dados de inventários de 1950-1990 com previsões de 2000-2040 dadas por um modelo florestal. Nesse estudo, mostram que para o ano de 1990, a contabilização do *stock* total de carbono na biomassa da floresta portuguesa (incluindo raízes) foi de 78 Tg C, e no solo florestal de 70 Tg C. O sequestro de carbono efetuado por cada um destes reservatórios foi estimado em 0,2 Tg C ano⁻¹.

Dong *et al.*, (2003) utilizaram o método da deteção remota para a determinação dos *stocks* de carbono da totalidade da biomassa aérea da floresta portuguesa em 123 Tg C, no final da década de 1990, estimando também em 2,57 Tg C ano⁻¹ o valor do sequestro de carbono entre os anos de 1982 e 1999.

Já Karjalainen *et al.*, (2003), contabilizaram os *stocks* de carbono do sector florestal europeu entre 1990 e 1995, com o objetivo de analisar os impactos da gestão florestal e alterações climáticas nesses *stocks*. Os valores obtidos por estes autores para a floresta portuguesa no ano de 1990 foram de 31 Tg C para a biomassa aérea e 62,7 Tg C para biomassa do solo, e o sequestro de carbono

promovido pela biomassa aérea durante o período considerado (1990-1995) foi de 1,35 Tg C ano⁻¹. Estes valores foram obtidos através de um modelo que teve como dados de entrada os inventários florestais compilados por UNECE/FAO (1992).

No relatório apresentado pela *Ministerial Conference on the Protection of Forests* (MCPFE, 2003) foi efetuada uma estimativa dos *stocks* de carbono presentes na biomassa da floresta portuguesa (não contabilizando raízes) para o período 1995-1998, aplicando a mesma metodologia do estudo UNECE/FAO, (2000), mas com dados de inventário atualizados. As contabilizações dos *stocks* de carbono foram estimadas em 79,21Tg C, e o sequestro de carbono promovido por essa biomassa durante o mesmo período foi 1,36 Tg C ano⁻¹.

Por sua vez, Rautiainen *et al.*, (2009), compilaram dados de inventário de duas organizações da Organização das Nações Unidas - ONU (FAO e UNFCCC), obtendo um valor de remoção de CO₂ pela floresta portuguesa de aproximadamente 10 Tg CO₂ ano⁻¹, para o ano de 2005, valor que equivale a aproximadamente cerca de 2,78 Tg C ano⁻¹.

Estudos realizados pela FAO (FAO, 2010, 2011) baseados em dados dos inventários florestais nacionais, estimaram os *stocks* de carbono na biomassa total portuguesa em 102 Tg C para o ano de 2010, dos quais 72,5 Tg C correspondem ao valor de carbono existente na biomassa acima do solo e 29,9 Tg C ao carbono presente na biomassa abaixo do solo. Este valor é ligeiramente inferior ao calculado pela mesma organização no relatório do ano anterior (FAO, 2009), no qual os *stocks* de carbono na biomassa total da floresta portuguesa se situava nos 114 Tg C. No estudo mais recente da FAO (FAO, 2011) foram contabilizadas as práticas de florestação, reflorestação, bem como operações de desbaste e de gestão florestal, verificando-se que a floresta portuguesa tem um potencial de sequestro de 180 Gt de CO₂ equivalente.

Um estudo recente de deteção remota, efetuado por Mollin (2010), procurou quantificar o *stock* de carbono na vegetação de Portugal continental para vários anos, utilizando bases de dados de uso e ocupação de solo do programa *Coordination of Information on the Environment* (CORINE). Os resultados obtidos apresentam valores de *stock* de carbono na vegetação portuguesa de 173,08, 170,22 e 159,97 Tg C para os anos de 1985, 2000 e 2006 respetivamente. Os resultados mostram um decréscimo progressivo na quantificação de *stocks*, com uma taxa de decréscimo média de 0,62 Tg C ano⁻¹ durante o período (1985-2006), que o autor atribui a perdas de biomassa associadas a fogos florestais.

Relativamente às Regiões Autónomas que constituem parte integrante do território Português, poucos estudos relativos à capacidade de armazenamento de carbono pelas florestas estão documentados. Ainda assim, o 1º inventário florestal regional realizado em 2008 pela Direção Regional de Florestas para a região da Madeira (DRF, 2008), contabilizou em 2538 Gg o *stock* total

de carbono na biomassa acima do solo pelas diferentes espécies florestais, o equivalente a 9307 Gg de CO₂equivalente, e em 150 Gg o total de carbono armazenado acima do solo de matos em subcoberto.

Na região autónoma dos Açores não foram encontrados estudos relativos à contabilização total do carbono armazenado na floresta. No entanto, num relatório efetuado pela Secretaria Regional do Ambiente e do Mar (SRAM, 2007), foi efetuado para período 1990-2004 o balanço entre o incremento de biomassa e a perda de biomassa anuais, tendo-se registado um aumento gradual da capacidade de absorção de carbono pela floresta, atingindo no último ano 200 Gg de CO₂ absorvido. Assim, o sector florestal dos Açores atua como sumidouro de carbono, uma vez que a capacidade de retenção de carbono pelas espécies arbóreas existentes na região é superior às emissões de carbono decorrentes das atividades de gestão florestal.

Um resumo dos valores de *stocks* e sequestro de C obtidos para os estudos efetuados à floresta portuguesa encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Alguns estudos de sequestro de carbono e *stocks* efetuados para a floresta portuguesa.

Autor do Estudo	Anos	<i>Stocks</i> Biomassa Aérea (Tg C)	<i>Stocks</i> Biomassa Solo	<i>Stocks</i> Totais (Tg C)	Sequestro (Tg C ano ⁻¹)
UNECE/FAO (2000)	1995			96	1,45
Nabuurs e Schelhaas (2002)	Anos 80 a 90	45,70			2,79 ^(a) 0,46 ^(b)
Liski <i>et al.</i> , (2002)	1950 a 2040	78	70	148	0,4
Dong <i>et al.</i> , (2003)	Final década de 90	123			
	1982 a 1999				2,57
Karjalainen <i>et al.</i> , (2003)	1990	31	62,7	93,7	
	1990 a 1995				1,35 ^(c)
MCPFE (2003)	1995 a 1998			79,21 ^(d)	1,36
Rautiainen <i>et al.</i> , (2009)	2005				2,78
FAO (2010)	2010	72,5	29,9	102,4	
Mollin (2010)	1985/2000/2006			173,08/170,22/159,97	

a) expresso em PLE

b) expresso em Produtividade Líquida do Bioma (PLB)⁵

c) Valor de sequestro da biomassa aérea

d) Não contabilizadas raízes

⁵ PLB representa a produtividade líquida do bioma, calculada subtraindo ao valor de PLE as perdas de C associadas a fogos ou cortes (Alexandrov e Yoshiki, 2002).

Como pode ser observado na Tabela 3, os valores dos *stocks* de carbono na floresta portuguesa obtidos nos diversos estudos efetuados variam entre os 93,7 e os 173,08 Tg C, e os valores de sequestro de carbono entre os 0,4 e os 2,79 Tg C ano⁻¹. A existência desta gama de resultados deve-se muito provavelmente às diferenças entre as diferentes metodologias aplicadas e aos diferentes períodos temporais considerados.

Nos estudos abordados anteriormente, a contabilização do *stock* e do sequestro de carbono é efetuada para a totalidade da floresta portuguesa, não havendo diferenciação por espécies florestais. No entanto, na última década diversos estudos têm vindo a ser realizados à escala nacional para as espécies florestais com maior representatividade na floresta portuguesa: *Quercus suber*, *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* (Tabela 4).

Tabela 4 - Alguns estudos de sequestro de carbono efetuados para as principais espécies da floresta portuguesa.

Autor	Metodologia	Área geográfica	Anos	Espécies	Taxa de Sequestro (t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Madeira <i>et al.</i> , (2002) citado por Correia <i>et al.</i> , (2005)	Monitorização Intensiva	Óbidos	1986-1992	<i>Eucalyptus globulus</i>	Solos: 0.3 a 1
Pereira <i>et al.</i> , (2003)	Flutuações Instantâneas	Espirra (Palmela)	2002	<i>Eucalyptus globulus</i>	6.4
Correia <i>et al.</i> , (2004)	Modelo CO2FIX	Furadouro	2002	<i>Eucalyptus globulus</i>	7.6
Correia <i>et al.</i> , (2005)	Modelo CO2FIX	Espirra (Palmela)	2002-2003	<i>Eucalyptus globulus</i>	6.5
	Flutuações Instantâneas			<i>Eucalyptus globulus</i>	6.2
Rodrigues <i>et al.</i> , (2005)	Flutuações Instantâneas	Espirra (Palmela)	2002-2003	<i>Eucalyptus globulus</i>	8.9
Lopes (2005)	Inventário Florestal, Modelo FOREST-BGC e Detecção remota	Amarante	2005	<i>Eucalyptus globulus</i>	13.3± 4.3 ^(a)
		Botica		<i>Pinus pinaster</i>	14.6 ± 5.4 ^(a)
Arroja <i>et al.</i> , (2006)	Inventário Florestal	Portugal Continental	1992-1996	<i>Eucalyptus globulus</i>	3.36
Mateus <i>et al.</i> , (2006)	Flutuações Instantâneas	Espirra (Palmela)	2004	<i>Eucalyptus globulus</i>	7.9
Correia <i>et al.</i> , (2008)	Inventário Florestal	Alcácer do Sal	2005-2006	<i>Pinus pinea</i>	1.5
Pereira <i>et al.</i> , (2007) citado por Correia <i>et al.</i> , (2008)	Flutuações instantâneas	Mitra (Alentejo)	2003-2006	<i>Quercus suber</i>	1.2
		Tojal (Alentejo)		Montado	1.9
		Espirra (Palmela)		<i>Eucalyptus globulus</i>	5.5
Aires <i>et al.</i> , (2008)	Flutuações Instantâneas	Tojal (Alentejo)	2004-2005	Montado	1.41

(a)valores de sequestro de carbono em termos de PPL

Tabela 4 - Alguns estudos de sequestro de carbono efetuados para as principais espécies da floresta portuguesa (continuação).

Autor	Metodologia	Área geográfica	Anos	Espécies	Taxa de Sequestro (t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Tomé <i>et al.</i> , (2009)	Inventário Florestal e Modelo SYMT	Portugal Continental	2008-2012	<i>Eucalyptus globulus</i>	Florestação: 1.84 a 2.67
					Desflorestação: -30.2 a -27.6 ^(b)
					Gestão Florestal: -1.69 ^(b) a 1.72
Nunes e Lopes (2009)	Inventário Florestal	Distrito de Vila Real	??	<i>Quercus pyrenaica</i>	5.76
				<i>Pinus pinaster</i>	5.67
				<i>Quercus+Pinus (Povoamento Misto)</i>	6.71
Lopes <i>et al.</i> , (2009)	Modelo FOREST-BGC	Amarante	2001	<i>Eucalyptus globulus</i>	14.6 ^(a)
		Botica		<i>Pinus pinaster</i>	17.7 ^(a)
Rodrigues <i>et al.</i> , (2010)	Flutuações instantâneas	Espirra (Palmela)	2002-2009	<i>Eucalyptus globulus</i>	0.11 a 8.65
Barreto (2010)	Modelo sbCnoPb	ND	ND	<i>Pinus pinaster</i>	9.70 ^(a)

(a)valores de sequestro de carbono em termos de PPL / (b)valores negativos de taxa de sequestro representam emissão para a atmosfera

4.2 FLORESTA DE *CRYPTOMERIA JAPONICA*

Em Portugal, não são conhecidos estudos sobre a quantificação dos *stocks* e sequestro de carbono para a espécie *Cryptomeria japonica* devido à sua representatividade quase nula em território continental português. Esta espécie é originária do Japão, onde ocupa cerca de 13% do território japonês (Davis, 2008) o equivalente a 44% de todas as espécies plantadas (Sazaki e Kim, 2008). Sendo um importante recurso nacional do Japão, ao nível da produção de madeira (Ito *et al.*, 2003), diversos autores, principalmente japoneses, têm efetuado estudos sobre a capacidade de sequestro desta espécie, utilizando diversas das metodologias descritas no Capítulo 3.

Chiba (1998) propôs um modelo baseado em processos, que considera cinco reservatórios de carbono: atmosfera, folhagem, matéria lenhosa aérea, matéria abaixo do solo e matéria orgânica morta no solo. Através da aplicação deste modelo a todos os povoamentos florestais de *Cryptomeria japonica* no Japão (4,509 milhões de hectares) para o ano de 1986, este autor concluiu que o sequestro de CO₂ entre todo o ecossistema florestal e a atmosfera resultou numa fixação de 49,38 Mt de CO₂ anuais. No entanto, neste estudo não foram consideradas as classes de idades da planta presentes nos inventários florestais.

Ohashi *et al.*, (2000) procuraram medir a variação sazonal na respiração do solo, quer em secções desbastadas, quer em secções inteiras de uma floresta de Criptoméria com a idade de 9 anos, com o principal objetivo de examinar os efeitos dos desbastes da floresta. Para este efeito, utilizaram o método das flutuações instantâneas, obtendo valores de remoção de CO₂ compreendidos entre 2570 e 3060 g m⁻² ano⁻¹ nas secções de desbaste e 1830 e 2170 g m⁻² ano⁻¹ nas secções inteiras. Os intervalos registados representam a influência que a sazonalidade tem na variação dos *stocks* de C existentes, registando-se um aumento destes no Verão e diminuição no Inverno.

Fukuda *et al.*, (2003) estimaram os *stocks* de carbono de todas as plantações *sugi* (*Cryptomeria japonica* D. Don) e *hinoki* (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) do Japão, com base nas distribuições por classes de idades das referidas espécies presentes em inventários florestais. Os *stocks* de carbono foram estimados em 406,4 e 166,4 Tg em 1995, valores superiores aos calculados no mesmo estudo para o ano de 1990 (346,4 e 139,2 Tg para os povoamentos de *Sugi* e *Hinoki*, respetivamente). Neste estudo, o sequestro de carbono para a Criptoméria foi de 2,1 t C ha⁻¹ano⁻¹ durante o período 1990-1995.

Yanagihara e Yoshimoto (2005) propuseram um procedimento estatístico para a avaliação do *stock* da espécie Criptoméria no Japão baseado na aplicação de um modelo não linear generalizado proposto por Vonesh e Carter (1992). Os resultados mostram valores de 94,01 t C ha⁻¹ com um intervalo de confiança de 0,95.

Sasaki e Kim (2008) efetuaram um extensivo estudo com o objetivo de estimar as variações nos *stocks* de carbono da floresta japonesa para o período compreendido entre 1966-2012. Nesse estudo, é feito um pequeno resumo de estudos anteriores por autores japoneses, sendo apresentados diversos valores de taxa de sequestro de carbono de acordo com diversas idades e estágios de crescimento para a espécie Criptoméria na floresta japonesa. A compilação dos estudos analisados por Sasaki e Kim para a espécie Criptoméria encontra-se resumida na Tabela 5.

Tabela 5 - Taxas de sequestro da espécie Criptoméria por idades (adaptado de Sasaki e Kim, 2008).

Idade (anos)	Taxa de sequestro (t C ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Localização geográfica	Autor
15	1,6	Rokuman	Hosoda (1998)
31	5,4	Shinotani	Hosoda (1999)
50	7,0	Rokuman	Hosoda (1998)
71	5,9	Shinotani	Hosoda (1999)
25-93	4,9	Nichino Kawa	Matsumura <i>et al.</i> ,(1999)
200	3,4	Kawakami ^(a)	Takeuchi (2005)

(a) Localização que não foi sujeita a desbastes intensivos

Por último, Yashiro *et al.*, (2010) utilizou a metodologia das flutuações instantâneas para aferir a taxa de sequestro de carbono da espécie Criptoméria ao longo de um período de 4 anos (2005-2009) numa plantação localizada a cerca de 10 km da cidade de Takayama, Japão. O valor médio de sequestro obtido foi de 4,3 t C ha⁻¹ano⁻¹, concluindo que a espécie representa um forte sumidouro de carbono. O autor justifica esta taxa elevada com as mudanças de uso do solo praticadas para a plantação desta espécie, que se refletem numa reduzida mortalidade e elevado incremento na biomassa da árvore, quando comparadas com os índices de mortalidade e biomassa da espécie Criptoméria presentes num povoamento florestal natural.

5 CASO DE ESTUDO: FLORESTA DE *CRYPTOMERIA JAPONICA* NOS AÇORES

5.1 ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES

Os Açores são um arquipélago transcontinental que se encontra situado no Oceano Atlântico, e cuja origem geológica, resulta do encontro de três grandes placas tectónicas, a africana, a euro-asiática e a americana (Silva, 2007). A sua localização geográfica no globo terrestre está a uma latitude que varia aproximadamente entre 37° e 40°N e a uma longitude entre 25° e 32°W do meridiano de Greenwich, estando por isso a aproximadamente 760 milhas marítimas (1400 km) de Lisboa e a 2110 (3900 km) da costa Atlântica da América do Norte (Fialho, 2006), como se pode observar na Figura 5.



Figura 5 – Localização geográfica do Arquipélago dos Açores, (adaptado de URL05).

Estas ilhas, foram descobertas por navegadores portugueses, tendo sido avistadas pela primeira vez a 15 de Agosto de 1432 (Ilha de Santa Maria). No ano de 1452, foram descobertas as últimas duas ilhas do arquipélago, as Flores e o Corvo (Dias, 1989).

A sua localização no meio do oceano atlântico, como posto de reabastecimento entre o continente Europeu e Americano fez com que lhes fosse dada extrema importância do ponto de vista estratégico. No entanto, esta distância ao continente motivou a que estas ilhas tivessem necessidade de serem autossuficientes nas suas carências básicas, o que originou desde cedo uma intensa exploração dos seus recursos naturais (Dias, 1989).

A enorme dispersão do arquipélago, constituído por um total de 9 ilhas levou à sua subdivisão em 3 zonas ou grupos, Ocidental, Central e Oriental (Figura 6).

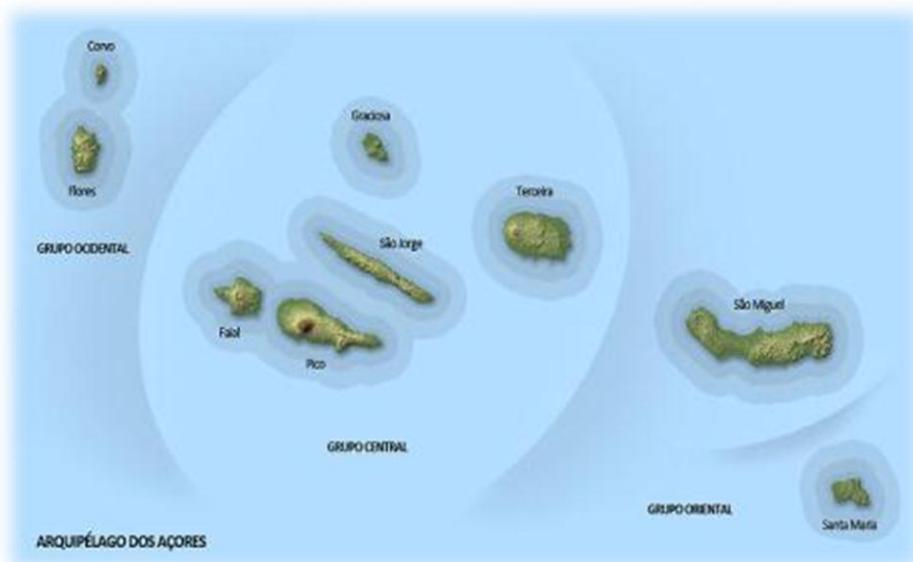


Figura 6 - Constituição do Arquipélago dos Açores (URL06).

O grupo Ocidental, é formado pelas ilhas das Flores e do Corvo, o grupo Central, pelas ilhas Terceira, Faial, Pico, S. Jorge e Graciosa, e o grupo Oriental, pelas ilhas de S. Miguel e St^a Maria.

Sob o ponto de vista geográfico, o arquipélago, tem uma área total que se aproxima dos 2350 km², irregularmente distribuídos, uma vez que a maior ilha, S. Miguel, atinge 757 km², e a menor, o Corvo, não vai além dos 17 km² (Dias, 1989).

A altitude máxima das ilhas ronda os 1000 m, encontrando-se grande parte do território açoriano em cotas compreendidas entre os 100 e os 400 m. Como ponto mais alto de Portugal apresenta-se-nos a ilha do Pico com 2351 m de altitude e a ilha de menor altitude é a Graciosa, com 402 m de altitude (Monteiro *et al.*, 2009).

A maioria dos solos dos Açores é do tipo Andossolos, solos geralmente recentes, que resultam de uma evolução sob condições de clima atlântico húmido, cuja formação advém de materiais vulcânicos piroclásticos com dominância para os constituintes vitrosos (Dias, 1996; Auxtero *et al.*, 2007).

O clima dos Açores, na sua generalidade, é considerado como temperado oceânico, de fraca amplitude térmica, elevada precipitação e humidade. Francamente atenuada pelo Golfo do México, a temperatura média anual ronda os 17,5°C (Silva, 2007).

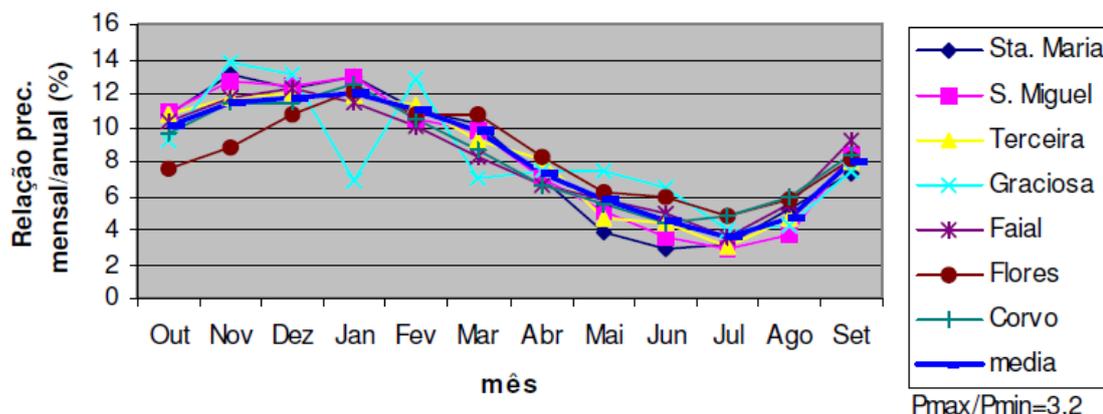


Figura 7 - Sazonalidade da precipitação no Arquipélago dos Açores (Rodrigues *et al.*, 2004).

Na Figura 7 pode observar-se que, embora se notem duas épocas distintas anuais no que respeita à precipitação, esta é constante ao longo de todo o ano, mesmo nos meses de estio, embora com uma menor expressão.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA FLORESTA AÇORIANA

A floresta no arquipélago açoriano ocupa uma área de cerca de 70000 hectares, valor que corresponde a cerca de 30% do território açoriano, com uma taxa de arborização média de 30% por ilha (Portaria nº 114/2006), e pode ser dividida fundamentalmente em dois grandes grupos: a floresta de proteção e a floresta de produção.

A floresta de proteção ocupa cerca de 35% da área florestal e dela fazem parte espécies como as Faias, Florestas Laurifólias, Florestas de Azevinho, Zimbral e Ericais. A floresta de produção, ocupa os restantes 65% da área florestal e dela fazem parte a Acácia (*Acacia melanoxylon*), Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), Criptoméria (*Cryptomeria japonica*) e Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Portaria nº 114/2006; Silva, 2007).

Na Tabela 6, pode observar-se a distribuição das áreas de ocupação das principais espécies florestais por ilha, no território açoriano.

Tabela 6 - Áreas de ocupação por espécie dominante e por tipo de povoamento em hectares (adaptado de Ponte *et al.*, 2011).

Espécie	Tipo de povoamento ⁶	Ilha									
		Corvo	Faial	Flores	Graciosa	Pico	Santa Maria	São Jorge	São Miguel	Terceira	Total
Criptoméria	Misto	1,6	152,3	49,2	5,6	71,2	64,2	2,9	1107,3	48,4	1501,0
	Puro		714,2	498,7	57,3	752,8	139,5	178,5	7016,5	1534,7	10893,7
Eucalipto	Misto			3,3	109,5	152,7	108,8	24,2	236,3	587,3	1069,4
	Puro			0,3	2,3		47,4	75,9	442,0	1791,7	2512,3
Folhosas diversas	Misto	5,2	218,1	8,4		5,3	3,2	8,0	148,5	11,4	402,9
	Puro		21,2	2,9			34,1		84,6	36,6	184,7
Acácia	Misto			35,0	9,1	463,9	281,8	191,6	1903,9	126,4	3011,6
	Puro			39,9		43,8	20,9	133,2	1024,7	47,8	1310,3
Incenso	Misto	22,0	1540,3	1252,9	341,5	7756,0	975,4	1879,0	2268,8	999,2	17034,9
	Puro	6,7	216,9	558,8	0,5	3949,1	197,4	142,3	1432,6	348,7	6853,0
Pinheiro Japonês	Misto					116,3	0,4		8,1		124,8
Pinheiro Bravo	Misto		2,4		2,5	94,9	52,2	6,7	1,3	51,2	208,7
	Puro		2,0			562,7	30,5	13,6	0,7	53,1	665,2
Resinosas diversas	Misto		4,6		58,6		0,1		15,7	14,7	30,4
	Puro								7,9	4,6	75,7
Faia das Ilhas	Misto	0,6	140,9	39,6		956,2		1030,9	167,3	27,8	2363,4
	Puro			4,2				4,3	68,6	1,5	78,7
Vinhático	Misto		19,7		40,6		0,1		1,8		60,5
	Puro				99,4		0,1				101,4
Camaecipáris	Misto						0,5		12,3	1,1	13,4
	Puro								2,4	4,5	7,5
Vegetação Natural	Misto	0,7	137,9	368,0	214,6	264,4	219,6	256,5	381,2	250,7	2093,6
	Puro	12,5	600,0	4088,2	48,1	3977,3	127,1	3943,8	4545,9	3523,0	20866,0

⁶ Os povoamentos florestais são puros quando uma espécie é responsável por mais de 75% do coberto, ou mistos quando, havendo várias espécies em presença, nenhuma atinge os 75% de coberto (DGF, 2009).

Como se pode constatar na Tabela 6, o Incenso (*Pittosporum undulatum*), o Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), a Acácia (*Acacia melanoxylon*) e a Criptoméria (*Cryptomeria japonica*) são as principais espécies existentes no arquipélago açoriano, sendo que a Criptoméria representa a espécie com maior área de povoamentos puros (10893,7 ha). Importante também salientar que é na ilha de S. Miguel que esta espécie existe em maior abundância, sendo esta ilha a responsável por 70% dos povoamentos de Criptoméria do arquipélago (Silva, 2007).

De todas as espécies contempladas na floresta de produção, são o Eucalipto e a Criptoméria aquelas que apresentam um maior interesse económico, com a Criptoméria a ser de todas as outras espécies a mais explorada na região (Calado *et al.*, 2008), ocupando cerca de 12500 hectares, o que corresponde a 60 % da área da floresta de produção regional (Silva, 2007).

No Anexo B da presente dissertação, encontram-se cartas referentes à distribuição atual das florestas naturais do arquipélago, bem como da distribuição atual de povoamentos da espécie *Cryptomeria japonica*.

5.1 A CRYPTOMERIA JAPONICA

A *Cryptomeria japonica*, de nome vulgar Auracária do Japão ou Cedro do Japão, é uma conífera que pertence à família *Taxodiaceae*, atingindo os 70 m de altura, na sua região de origem. De copa cónica, tem tronco direito, envolvido por uma casca acastanhada e fibrosa. As folhas são aciculares, rígidas, curvas, em forma de sovela, curtas, verde-vivas e brilhantes (Silva, 2007), como pode ser observado na Figura 8.



Figura 8 - a) Fruto de *Cryptomeria Japonica* (URL07) e b) floresta de *Cryptomeria japonica* em S. Miguel (Ponte *et al.*, 2011).

Esta é uma espécie que nos primeiros anos atinge crescimentos rápidos, mas apesar disso está entre as espécies com maior longevidade na Terra, atingindo mesmo um tempo médio de vida de 1600 anos no seu país de origem, o Japão (Silva, 2007).

À semelhança do que aconteceu em toda a Europa com outras espécies florestais, a *Criptoméria* foi introduzida nos Açores como árvore ornamental em meados do século XIX, na ilha de S. Miguel (Faria *et al.*, 2007). No entanto, é essencialmente devido à maior crise da floresta açoriana registada na segunda guerra mundial, com o consumo de quase todo o material lenhoso pelas tropas e serviços, que se vem a descobrir o potencial de crescimento rápido e a capacidade de fornecimento de lenha e folhagem desta espécie (Silva, 2007). A excelente adaptação e os rápidos crescimentos que esta espécie apresentou justificaram o seu uso e a generalização da sua ocupação pelo território açoriano.

Atualmente, esta espécie é também utilizada em cortinas de abrigo nas explorações agropecuárias. A sua densa copa constitui um obstáculo ao vento, protegendo os animais e contribuindo para um bom rendimento da pastagem (Silva, 2007).

Relativamente aos aspetos relacionados com a silvicultura, importa salientar que esta é uma espécie maioritariamente criada em viveiro, havendo unicamente reprodução natural a partir de semente em alguns vales de solos mais quentes ou em clareiras de matas plantadas. Normalmente, são utilizados compassos de instalação de 1,7×1,7 a 2×2 m, com densidades de plantação que variam entre os 2500 - 4000 árvores/hectare (Silva, 2007).

O processo produtivo da produção de *Criptoméria* passa essencialmente por quatro fases (Preparação, Plantação, Manutenção e Corte) como pode ser observado na Figura 9.

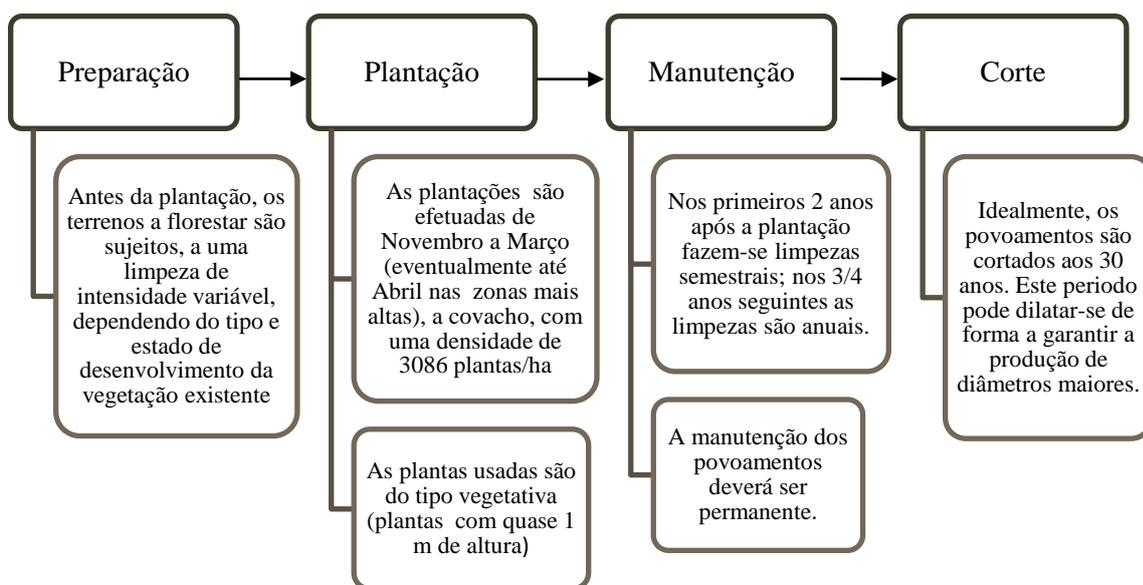


Figura 9 – Esquema simplificado do processo produtivo de *Cryptomeria japonica* (adaptado de DRRF, 2010).

A existência destas fases é de crucial importância, uma vez que permitem a maximização dos produtos a obter. Os povoamentos de Criptoméria no arquipélago açoriano são maioritariamente equiétricos⁷ puros, explorados em regime de alto fuste, com revoluções mínimas de 30 anos, e com produtividades anuais que podem ultrapassar os 20m³ha⁻¹ano⁻¹ nas melhores estações (DRRF, 2010).

Após as fases de preparação do terreno e plantação, surge uma etapa muito importante, a de manutenção. Um resumo das técnicas de silvicultura aplicadas a esta espécie, durante esta fase que antecede o corte, encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo das técnicas de silvicultura aplicadas à floresta de produção da espécie *Cryptomeria japonica* nos Açores durante a fase de manutenção (adaptado de Silva, 2007).

Idade (anos)	Técnica de silvicultura	Observações
3 a 5	Limpezas e retanchas	Altura em que o copado começa a fechar e a suprimir o sub-bosque
7 a 9	1 a 2 limpezas intraespecíficas	Remoção de árvores dominadas e mal conformadas
	1 a 2 desramações	Necessárias para obtenção de material lenhoso de qualidade superior
18 a 23	2 Desbastes pelo alto mistos	Garantem às árvores melhores condições de crescimento até ao final da revolução
30	Corte	Madeira de produção

A produção de madeira de Criptoméria é de grande importância económica nos Açores, tendo elevado valor como material de construção (Moiteiro *et al.*, 2008). Esta espécie produz uma madeira macia, fácil de trabalhar, leve e duradoura, pelo que é frequentemente utilizada em construção civil, carpintaria e mobiliário (Silva, 2007).

Todos os anos, a indústria açoriana da madeira de *Cryptomeria japonica* gera uma elevada quantidade de resíduos florestais (tronco, casca, ramos e folhas). Em 2004, os resíduos da madeira provenientes de serrações atingiram valores da ordem dos 53 934 m³, dos quais 49 967 m³ (93%) eram de Criptoméria (Belerique *et al.*, 2006).

Nas Figuras 10 e 11 encontram-se dados relativos à utilização da madeira de Criptoméria e principais destinos de exportação da mesma.

⁷ Povoamento florestal com uma estrutura etária homogénea, em que as árvores existentes formam um só andar de vegetação (DRF, 2008).

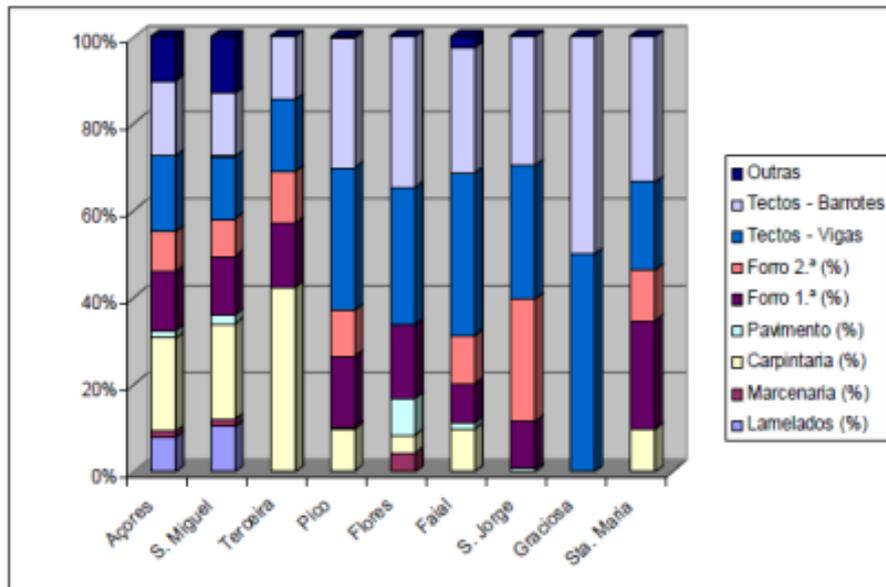


Figura 10 - Principais utilizações da madeira de *Cryptomeria japonica* (Belerique *et al.*, 2006).

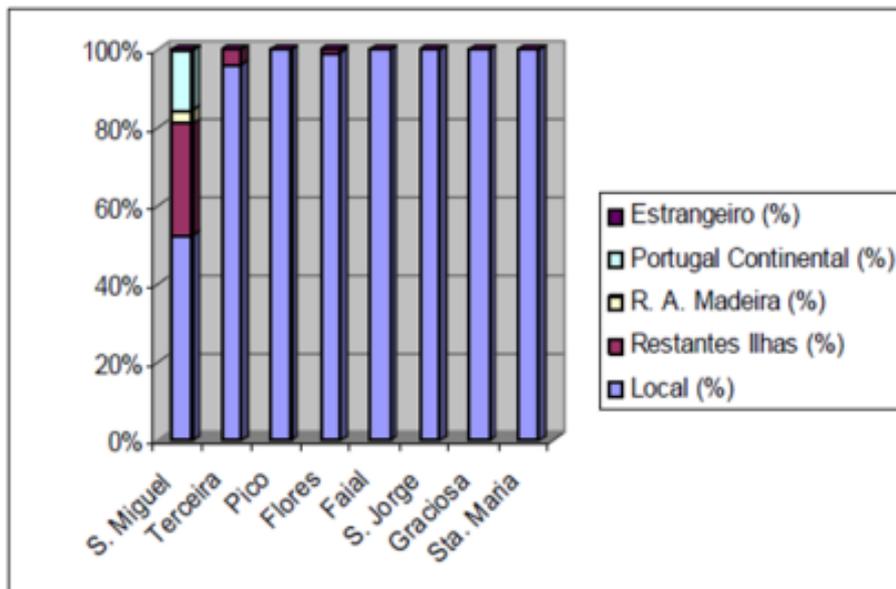


Figura 11 - Destino geográfico da madeira serrada de *Cryptomeria japonica* (Belerique *et al.*, 2006).

Do ponto de vista sanitário, atualmente nos Açores a espécie enfrenta a incidência do fungo *Armillaria mellea*, causando a morte das árvores, reduzindo a qualidade da madeira, e condicionando a rearborização nas áreas afetadas (Pereira, 2009).

6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO NA *CRYPTOMERIA JAPONICA*

O conhecimento do teor de carbono presente na matéria seca dos vários constituintes de uma amostra de biomassa é de extrema importância no que respeita a estudos relacionados com a capacidade de absorção de carbono por parte dessa mesma biomassa e contabilização de *stocks* de C existentes. Este conhecimento tem importância acrescida pelo facto de, na quase generalidade, os estudos de fixação de carbono serem efetuados com base num valor médio. Muitos autores assumem, o princípio de que 50% da matéria seca é carbono (Gower *et al.*, 1997; Goetz e Prince, 1998; Fukuda *et al.*, 2003; Sasaki e Kim, 2008). Este valor é considerado um valor médio e independente da parte de biomassa a analisar. No entanto, outros autores (Francis, 2000; Lopes e Aranha, 2006) consideram não ser um valor inteiramente correto a adotar, devendo ser ajustado, uma vez que são verificadas diferenças estatisticamente significativas em função das diferentes espécies em análise e dos diferentes tecidos que compõem os seus constituintes.

Como um dos objetivos desta dissertação se prende com a avaliação do contributo das partes constituintes da planta para o sequestro de CO₂, seguidamente serão descritos os procedimentos experimentais executados no laboratório para a caracterização e determinação das partes constituintes da espécie *Cryptomeria japonica*, incluindo a determinação dos seus teores de carbono (Figura 12).

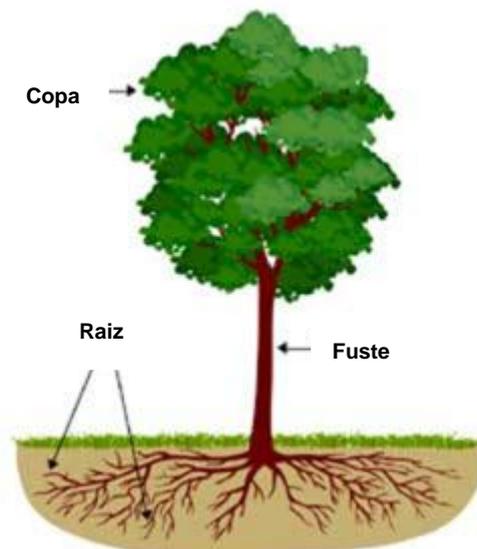


Figura 12 – Partes constituintes da árvore analisadas (adaptado de URL08).

Nesse sentido foram analisadas amostras da espécie *Cryptomeria japonica* enviadas pelos serviços florestais da ilha Terceira de três partes constituintes (copa, fuste e raiz) correspondentes a árvores de cinco classes de idades, e de três locais distintos do arquipélago (Terceira, Ponta Delgada e Nordeste- ilha de S. Miguel) perfazendo um total de 45 amostras.

Foram efetuadas três análises distintas às amostras de biomassa: determinação do teor de humidade, determinação do teor de cinzas e análise química elementar (C, H, N expressos em base seca, %bs). As duas primeiras análises foram efetuadas nos laboratórios do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. A metodologia utilizada nestas análises baseou-se em normas europeias standardizadas CEN/TS para a biomassa. Para cada uma das 45 amostras foram ainda efetuadas três réplicas, perfazendo um total de 135 amostras tratadas em laboratório.

A determinação da análise química elementar foi realizada nos laboratórios da Fundação da Faculdade de Ciências de Lisboa – *SIIAF Stable Isotopes and Instrumental Analysis Facility*, tendo sido efetuada previamente a devida preparação das amostras no laboratório do departamento.

6.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras enviadas pelos serviços florestais dos Açores envolveu o corte e acondicionamento das amostras de biomassa pertencentes a cada classe de idades em caixas de alumínio devidamente identificadas tendo sido posta a secar ao ar para posterior envio para análise elementar, como pode ser observado nas Figuras 13 e 14.



Figura 13 – Amostras de biomassa cortada correspondente a copa (a), fuste (b) e raiz (c).



Figura 14 - Acondicionamento das amostras de biomassa em caixa de alumínio para secagem ao ar no laboratório.

Para a análise de humidade e cinzas foi necessário diminuir a granulometria dos fustes e das raízes, para partículas inferiores a 1 mm. Assim, nestas amostras foi necessário reduzir a biomassa a serrim.

Cada uma das amostras de serrim foi devidamente etiquetada e identificada em pequenos sacos de plástico apropriados para o efeito. Neste seguimento, foram distribuídas letras de A a E para cada uma das classes de idades analisadas, e numerados de 1 a 3 as três componentes de cada amostra: sendo que 1 corresponde à copa, 2 ao tronco e 3 à raiz, como pode ser verificado na Tabela 8.

Tabela 8 – Nomenclatura adotada para as amostras de *Cryptomeria japonica*.

Amostras	Componente			Classe de idades				
	Copa	Fuste	Raiz	[1-10]	[11-20]	[21-30]	[31-40]	[41-50]
A1	×			×				
A2		×		×				
A3			×	×				
B1	×				×			
B2		×			×			
B3			×		×			
C1	×					×		
C2		×				×		
C3			×			×		
D1	×						×	
D2		×					×	
D3			×				×	
E1	×							×
E2		×						×
E3			×					×

Este procedimento foi efetuado para cada um dos 3 locais de recolha da biomassa original.

Na Figura 15 pode ser observado o tipo de armazenamento efetuado às amostras de Criptoméria.



Figura 15 - Processamento das diversas componentes da amostra de *Cryptomeria japonica* para posterior análise laboratorial.

6.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE A 105°C

O teor de humidade corresponde à quantidade de água presente na biomassa. Com base no procedimento (descrito no Anexo A.1) da norma CEN/TS 14774-3 (ECS, 2004a), o conteúdo de humidade da biomassa é determinada através da perda de peso depois da secagem da amostra a 105 °C na estufa até se obter uma massa constante. Esta propriedade pode ser expressa como o quociente entre a massa de água existente na biomassa e a massa de biomassa húmida, expressa em base tal e qual (%btq), e foi calculada de acordo com a Equação 3.

$$H_{105} = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_t} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

onde,

H_{105} – Humidade perdida na secagem a 105 °C [% btq];

m_t – massa do cadinho [g];

m_2 – massa do cadinho + massa da amostra antes da estufa [g];

m_3 – massa do cadinho + massa da amostra depois da estufa [g].

Esta determinação foi efetuada levando a amostra de biomassa a secar numa estufa à temperatura de 105°C por períodos de 60 minutos, até que a massa da amostra apresente uma variação inferior a 0,2%, de acordo com o procedimento descrito na norma CEN/TS 14774-3 (ECS, 2004a).

Neste trabalho, a quantidade de amostra de biomassa utilizada em cada ensaio foi de aproximadamente 1g, o que permitiu fazer análise de humidade e cinzas sobre a mesma amostra, e foram efetuadas três réplicas de cada amostra analisada, bem como três pesagens regulares ao fim de cada hora de estufa. No intervalo das pesagens, as amostras foram deixadas num exsiccador com o intervalo de tempo necessário para que estas retornassem à temperatura ambiente.

Dos três caixotes enviados pelos serviços florestais, apenas o proveniente da Ilha Terceira se encontrava devidamente acondicionado, pelo que na tentativa de poder ser assegurada uma determinação de teores de humidade mais próxima da realidade para cada uma das partes constituintes da planta (copa, fuste e raiz), foi efetuada a análise deste parâmetro apenas para as amostras com proveniência desta ilha.

Importa também referir que cada um dos caixotes contendo as amostras foi enviado pelos serviços florestais por correio urgente, tendo chegado aos laboratórios do departamento com tempo máximo de 24 horas.

6.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas A_d [% bs] presentes na biomassa deriva da quantidade de matéria inorgânica acumulada pela planta durante o seu crescimento

Este teor varia muito em função da espécie, do tipo de constituinte da planta, de fatores como a idade, local de crescimento da mesma e pode ser calculado pelo quociente entre a massa de cinza e a massa de amostra de biomassa seca introduzida na mufla para incinerar completamente (Equação 4).

$$A_d = \left(\frac{m_4 - m_c}{m_3 - m_c} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

onde,

A_d – teor em cinza [% bs];

m_c – massa do cadinho [g];

m_3 – massa do cadinho + massa da amostra seca antes da mufla [g bs];

m_4 – massa do cadinho + massa da cinza depois da mufla [g bs].

O teor de cinzas das amostras de biomassa foi determinado com base no procedimento da norma CEN/TS 14775 (ECS, 2004b), após promoção da combustão das mesmas numa mufla, à temperatura de (550 ± 10) °C. Para que a combustão seja completa, este procedimento é efetuado na presença de oxigénio do ar em excesso, relativamente à necessidade estequiométrica, e é feito gradualmente, para permitir a volatilização das amostras antes da sua ignição. Caso este procedimento não seja efetuado, no final obtém-se material orgânico associado à cinza, normalmente designado de carbono fixo.

Depois de determinado o teor de humidade das amostras de biomassa provenientes da ilha Terceira e de se ter assegurado a secagem a 105°C das outras amostras (Nordeste – ilha de S. Miguel e Ponta Delgada), procedeu-se então à determinação do teor de cinzas das amostras provenientes dos três locais.

Em primeiro lugar, foram calcinados previamente os cadinhos de porcelana durante sensivelmente 60 min a (550 ± 10) °C, para remover qualquer tipo de material orgânico que pudesse interferir na análise.

Seguidamente, foi promovida a incineração das amostras na mufla, de forma gradual e uniforme até aos 250°C durante 50 minutos e mantidas a esta temperatura durante 60 minutos.

Após os 60 minutos, foi aumentada novamente a temperatura uniformemente durante 60 minutos até esta atingir os (550 ± 10) °C.

Chegada a esta temperatura, optou-se por fazer uma alteração ao procedimento da norma CEN/TS 14775 (ECS, 2004b), no que respeita ao tempo de incineração das amostras. Segundo a norma, as amostras deveriam ficar a incinerar a esta temperatura por cerca de 2 horas. Após este período, deveriam ser retiradas e colocadas no exsicador para voltarem à temperatura ambiente, sendo seguidamente pesadas. Se se verificassem visualmente indícios de uma incineração incompleta, as amostras deveriam voltar à mufla por períodos de 30 minutos até a variação no peso das mesmas ser inferior a 0,2 mg.

Por uma questão de segurança, as amostras ficaram 3 horas a incinerar a (550 ± 10) °C, e após uma primeira pesagem, voltaram à mufla por mais uma hora de incineração à mesma temperatura.

Durante todo este processo, a remoção dos cadinhos com as cinzas da mufla, bem como o seu transporte foram executados com especial cuidado, de maneira a que não se registassem perdas de massa de cinza devido a correntes de ar, colisões, circulação de pessoas ou qualquer outro incidente que pudesse adulterar os resultados pretendidos.

6.4 ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR

A composição química elementar de uma amostra de biomassa corresponde ao conteúdo percentual em massa dos principais elementos que a constituem, sem se considerar a presença de água.

Normalmente neste tipo de análises são apresentados valores percentuais para C, H, N, O⁸ e S, mas uma vez que na biomassa, os valores de enxofre encontrados são sempre residuais (Beauchemin e Tampier, 2008) optou-se por realizar uma análise elementar do tipo (C, N, H, % bs).

Para análise química elementar prepararam-se 15 amostras compostas, com uma granulometria abaixo de 0,250 mm, relativas a cada uma das partes constituintes de cada classe de idades das amostras provenientes das três localizações⁹ (Terceira, Nordeste, Ponta Delgada). Desta maneira foi possível a homogeneização das amostras, para uma maior representatividade dos resultados.

A trituração destas amostras compostas foi preparada recorrendo a um moinho de martelos com crivo de 1 mm para obter uma redução de tamanho das mesmas. Este procedimento foi repetido 3 vezes, de maneira a garantir que todas as amostras continham uma granulometria igual ou inferior a 1mm, recorrendo-se de seguida a um peneiro para obter a amostra com a granulometria abaixo de 0,250 mm.

Após a formação de cada uma das 15 amostras compostas, procedeu-se à sua etiquetação e catalogação, podendo o resultado obtido ser observado na Figura 16.



Figura 16 – Amostras (15) de *Cryptomeria japonica* a 0,250 mm para análise química elementar.

⁸ Oxigénio determinado por diferença relativamente ao total.

⁹ Cada uma das amostras compostas criadas contém aproximadamente igual quantidade de biomassa de parte constituinte de cada uma das 3 localizações, anteriormente postas a secar ao ar no laboratório.

De seguida, para garantir que as amostras compostas se encontravam devidamente secas, foram colocadas na estufa a 105°C durante uma hora, após a qual foram retiradas aproximadamente 0,5 g de cada uma para acondicionamento em pequenos tubos de análise de plástico numerados, que foram devidamente selados para seguirem para os laboratórios da Faculdade de Ciências de Lisboa.

A numeração destes tubos foi efetuada com os números de 1 a 15, para facilitar o trabalho do laboratório de análise, sendo a respetiva codificação de amostras apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Correspondência das amostras de *Cryptomeria japonica* analisadas

Amostra nº	Código da Amostra	Classe de Idades	Parte constituinte
1	A1	0-10	Copa
2	B1	11-20	Copa
3	C1	21-30	Copa
4	D1	31-40	Copa
5	E1	41-50	Copa
6	A2	0-10	Fuste
7	B2	11-20	Fuste
8	C2	21-30	Fuste
9	D2	31-40	Fuste
10	E2	41-50	Fuste
11	A3	0-10	Raiz
12	B3	11-20	Raiz
13	C3	21-30	Raiz
14	D3	31-40	Raiz
15	E3	41-50	Raiz

Esta correspondência seguiu a mesma metodologia descrita na Tabela 8.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um resumo dos valores médios obtidos experimentalmente para as duas análises efetuadas às amostras da ilha Terceira é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Caracterização química das amostras de *Cryptomeria japonica* provenientes da ilha Terceira (valores médios)¹⁰.

Parte constituinte	Amostras		Análise imediata	
	Código	Idades	Humidade (%btq)	Cinzas (%bs)
	A1	0-10	59,56	2,23
	B1	11-20	53,53	2,97
	C1	21-30	53,82	2,69
	D1	31-40	57,65	4,77
	E1	41-50	55,44	5,66
	A2	0-10	67,70	0,30
	B2	11-20	54,01	0,24
	C2	21-30	65,27	0,31
	D2	31-40	33,86 ^(a;b)	0,51
	E2	41-50	57,29	0,73
	A3	0-10	72,34 ^(b)	3,36
	B3	11-20	69,81 ^(b)	2,46
	C3	21-30	54,42 ^(b)	0,22
	D3	31-40	64,01 ^(b)	0,59
	E3	41-50	65,85 ^(b)	2,98
Copa	Valor médio		56	3,66
	Máximo		59,56	5,66
	Mínimo		53,53	2,23
	Desvio Padrão		2,58	1,47
Fuste	Valor médio		61,06	0,42
	Máximo		67,70	0,73
	Mínimo		33,86	0,24
	Desvio Padrão		6,47	0,12
Raiz	Valor médio		65,29	3,00
	Máximo		72,34	1,02
	Mínimo		54,42	0,10
	Desvio Padrão		6,90	0,42

(a) valor não considerado para o cálculo do valor médio e desvio padrão por ser demasiado baixo.

(b) teor de humidade determinado 5 dias após a receção da amostra.

¹⁰ O resultado relativo à determinação do teor de humidade efetuada a cada uma das três réplicas das amostras de biomassa encontra-se no Anexo D1 da presente dissertação.

Na análise dos resultados relativos ao teor de humidade da biomassa é necessário considerar que, apesar do acondicionamento realizado, as amostras de biomassa poderão ter sofrido perda de água durante o processo de recolha e transporte das amostras desde o arquipélago dos Açores até Aveiro. Por outro lado, o facto do processamento de algumas das amostras de biomassa só ter sido efetuado 5 dias após a receção das mesmas, não tendo sido contabilizado durante esse tempo o teor de humidade perdida em base seca ao ar (%bsar), levou à redução do teor de humidade total dessas amostras.

Apesar disso, foram atingidos valores médios nas amostras de biomassa da ilha Terceira de **56%** para as copas, **61,06%** para os fustes e **65,29%** para as raízes em % btq (Tabela 10). Estes resultados encontram-se dentro do esperado, uma vez que as copas, por representarem a fração verde da planta, são a componente que perde água mais rapidamente após o corte. Por seu lado, as raízes, como representam o órgão da planta que se encontra debaixo do solo, com a função de absorver e preservar água, é de esperar ser a componente que apresenta teores de humidade mais elevados.

A Tabela 10 também contém os resultados da análise ao teor de cinza das amostras da ilha Terceira. As Tabelas 11 e 12 contêm os resultados da determinação do teor de cinza obtidos para as amostras do Nordeste (ilha de S. Miguel) e Ponta Delgada.

Tabela 11 - Caracterização química das amostras de *Cryptomeria japonica* provenientes do Nordeste – ilha de S. Miguel (valores médios)¹¹.

Componente	Amostras		Análise Imediata (%bs)
	Código	Idade	Cinzas
	A1	0-10	3,69
	B1	11-20	4,03
	C1	21-30	5,63
	D1	31-40	5,22
	E1	41-50	6,01
	A2	0-10	1,06
	B2	11-20	2,60
	C2	21-30	1,25
	D2	31-40	1,09
	E2	41-50	0,25
	A3	0-10	3,93
	B3	11-20	2,43
	C3	21-30	1,54
	D3	31-40	0,69
	E3	41-50	0,44
Copa	Valor médio		4,92

¹¹ O resultado relativo à determinação do teor de cinza efetuada a cada uma das três réplicas das amostras de biomassa provenientes dos 3 locais encontra-se no Anexo D2 da presente dissertação.

	Máximo	6,01
	Mínimo	3,69
Fuste	Desvio Padrão	1,01
	Valor médio	1,25
	Máximo	2,60
	Mínimo	0,25
Raiz	Desvio Padrão	0,85
	Valor médio	1,81
	Máximo	3,93
	Mínimo	0,44
	Desvio Padrão	1,42

Tabela 12 - Caracterização química das amostras de *Cryptomeria japonica* provenientes de P. Delgada (valores médios).

Componente	Amostra		Análise Imediata (%bs)
	Código	Idade	Cinzas
	A1	0-10	4,26
	B1	11-20	4,35
	C1	21-30	4,90
	D1	31-40	5,69
	E1	41-50	4,30
	A2	0-10	0,32
	B2	11-20	0,51
	C2	21-30	0,36
	D2	31-40	0,51
	E2	41-50	0,75
	A3	0-10	0,67
	B3	11-20	0,54
	C3	21-30	0,49
	D3	31-40	0,40
	E3	41-50	0,52
Copa	Valor médio		4,70
	Máximo		5,69
	Mínimo		4,26
	Desvio Padrão		0,61
Fuste	Valor médio		0,49
	Máximo		0,75
	Mínimo		0,32
	Desvio Padrão		0,17
Raiz	Valor médio		0,52
	Máximo		0,67
	Mínimo		0,40
	Desvio Padrão		0,10

A análise ao teor de cinza permite concluir que em ambos os três locais (Terceira, Nordeste e P. Delgada), se verifica que as copas são as componentes que contêm uma maior percentagem de cinza em base seca, com valores médios de 3,66, 4,92 e 4,70% respetivamente (Tabelas 10,11 e 12). Estes valores são facilmente explicados pelo facto de ser nesta componente da planta que se realiza a fotossíntese, transformando os nutrientes (material inorgânico) em componentes vegetais.

Em relação aos fustes, estes apresentam valores médios sensivelmente semelhantes em dois locais (Terceira e P. Delgada), 0,42 e 0,49 % bs respetivamente, (Tabelas 10 e 12). O valor médio de 1,25 % bs encontrado nas amostras do Nordeste (Tabela 11) pode ser explicado não só pelo facto de poder ter havido algum tipo de incrustação de materiais inorgânicos na parte externa do fuste, uma vez que este órgão participa da proteção da planta, mas também pelo facto das amostras provenientes do Nordeste apresentarem os valores mais elevados de cinza para as componentes copa, fuste e raiz, o que pode levar a crer que esta área talvez seja mais rica em nutrientes do que as outras duas.

As análises aos teores de cinzas provenientes das amostras de raízes dos três locais foram as que apresentaram resultados mais discrepantes. Se por um lado, os valores médios de 1,92 e 1,81 % bs obtidos correspondentes aos locais Terceira e Nordeste parecem concordantes (Tabelas 10 e 11), tendo o teor médio de cinza obtido em P. Delgada sido ligeiramente inferior (0,52 % bs) (Tabela 12), já esses valores obtidos variam enormemente de uma classe de idade para outra dentro do mesmo local, não havendo correlação aparente com as mesmas. Na ilha Terceira verificam-se variações que vão desde os 0,22 aos 3,36%, e na amostra do Nordeste de 0,69 a 3,93%.

Estas variações podem ser explicadas pelo facto de ser muito difícil, no caso particular das raízes, que não ocorra uma contaminação da biomassa pela incrustação de materiais inorgânicos como terra, areia e pedras, que se agregam na mesma durante as atividades de manuseio e transporte desde o local de colheita até ao processamento da biomassa para análise.

Relativamente à análise química elementar efetuada às diferentes componentes da espécie em estudo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 13, e seguem a nomenclatura já descrita anteriormente.

Tabela 13 - Resultados da análise química elementar às 15 amostras compostas de *Cryptomeria japonica*

Parte constituinte	Amostras	% (N)	% (H)	% (C)
	A1	2,08	7,21	52,3
	B1	1,29	3,02 ^(b)	52,2
	C1	1,11	7,33	51,2
	D1	1,16	7,35	52,5
	E1	1,21	7,48	52,0
	A2	0,06	6,67	49,9
	B2	0,04	6,75	50,6
	C2	0,04	6,72	50,5
	D2	^(a) ND	6,91	50,8
	E2	0,04	6,89	51,0
	A3	0,33	6,74	49,6
	B3	0,04	6,87	50,1
	C3	0,04	6,76	49,4
	D3	0,05	6,70	50,4
	E3	0,24	6,72	49,6
Copa	Valor médio	1,37	7,34	52,04
	Máximo	2,08	7,48	52,5
	Mínimo	1,11	7,21	51,2
	Desvio Padrão	0,40	0,11	0,50
Fuste	Valor médio	0,05	6,79	50,56
	Máximo	0,06	6,91	51,0
	Mínimo	0,04	6,67	49,9
	Desvio Padrão	0,01	0,11	0,42
Raiz	Valor médio	0,14	6,76	49,82
	Máximo	0,33	6,87	50,4
	Mínimo	0,04	6,70	49,4
	Desvio Padrão	0,14	0,07	0,41

(a) ND= Não determinado, pois estava abaixo do nível de detecção de 0,01

(b) Valor demasiado baixo, (valor não considerado para o cálculo da média e desvio padrão)

Em relação aos valores obtidos que constituem a percentagem de carbono presente na matéria seca das diferentes componentes da planta (Tabela 13), estes demonstram em primeiro lugar que não existe qualquer tipo de relação entre os teores de carbono obtidos e as classes de idades respetivas, permitindo concluir que a percentagem de carbono contida na matéria seca é independente desta variável.

Por outro lado, pode também observar-se que os resultados obtidos para cada componente não estão muito longe do valor de 50% estimado por diversos autores em estudos semelhantes (Gower *et al.*, 1997; Goetz e Prince, 1998; Fukuda *et al.*, 2003; Sasaki e Kim, 2008). Ainda assim, convém salientar que das três componentes analisadas (copa, fuste, raiz), é a copa que regista o maior teor em carbono, apresentando um valor médio da ordem dos **52,04 %**. O fuste apresenta um valor médio de **50,56 %**, seguido das raízes com **49,82 %**.

Apesar de não terem sido encontradas quaisquer referências relativas aos teores de carbono presentes na matéria seca das diversas partes constituintes desta espécie, os valores obtidos não se

encontram muito longe dos valores médios alcançados em estudos semelhantes para outras espécies florestais. Ritson e Sochacki (2003), no seu estudo de determinação dos teores de carbono para as várias componentes da espécie *Pinus pinaster* na Austrália, obtiveram valores médios de carbono de 52% para a copa, 49,7% para o fuste e 48,1% para raízes. Também Bauer et al., (2000), obtiveram valores de percentagem de carbono de 49,7 % para a copa e 48,4 % para o fuste da espécie *Pinus sylvestris*.

Apesar de haver diferenças entre a percentagem de carbono presente na matéria seca de cada uma das componentes, estas não são significativas, pelo que não é abusiva para esta espécie, a generalização de alguns autores ao considerarem que a percentagem de carbono, por quilograma de matéria seca, é de 50%. No entanto, uma vez que não foram encontrados estudos semelhantes de determinação dos teores de carbono para esta espécie, aconselha-se a utilização dos valores obtidos para cada parte constituinte. Se houver necessidade de utilizar um valor médio para a espécie propõe-se o valor de 50,8% para a Criptoméria, em substituição dos 50% normalmente utilizados.

7 SEQUESTRO DE CARBONO NA FLORESTA DE *CRYPTOMERIA JAPONICA* DOS AÇORES

A realização deste trabalho foi baseada na metodologia dos inventários florestais referida no Capítulo 3, ainda que não tenha sido possível a aplicação direta de nenhum dos métodos aí descritos (ausência de dados de outro inventário florestal - metodologia *stock-difference*, e de dados que permitissem estimar as perdas de biomassa associadas a cortes, fogos e causas naturais - metodologia *gain-loss*).

A metodologia desenvolvida teve como base o tratamento de dados do inventário florestal de 2007 (DRRF, 2007) da região autónoma dos Açores fornecido pelos serviços florestais da ilha Terceira, pelo que os resultados obtidos representam a quantidade de carbono armazenada na biomassa existente à data da recolha dos dados, expressa em PPL.

O procedimento metodológico seguiu os seguintes passos:

- a) análise aos dados em bruto das parcelas de inventário;
- b) cálculo dos valores de *stock* de cada parcela e posterior estimativa dos valores totais tendo em conta as áreas de ocupação dos povoamentos puros da espécie em cada ilha;
- c) cálculo dos valores médios de sequestro de C por parcela e relação dos mesmos com algumas das variáveis dendrométricas¹² medidas ao nível da parcela, incluindo a estimativa dos valores de sequestro de C em função da idade do indivíduo;
- d) criação de mapas de sequestro de C para determinação das zonas de maior fixação de CO₂ atmosférico.

7.1 ANÁLISE AO INVENTÁRIO FLORESTAL

Os dados fornecidos pelo inventário florestal dos Açores são relativos a um total de 283 parcelas com áreas compreendidas entre 0,01 e 0,04 hectares divididos pelas ilhas pertencentes aos grupos Ocidental (Ilha das Flores), Central (Ilhas do Faial e Terceira) e Oriental (Ilha de S.Miguel). Os dados disponibilizados representam um total de 8563 indivíduos, sendo que destes, apenas 7816 contêm dados relativos à sua idade (Figura 17).

¹² Dendrometria é a disciplina ou ramo da ciência florestal que se encarrega do estudo de todas as variáveis de estado que caracterizam uma árvore, os seus componentes e os produtos que dele se originam (Encinas *et al.*, 2002).

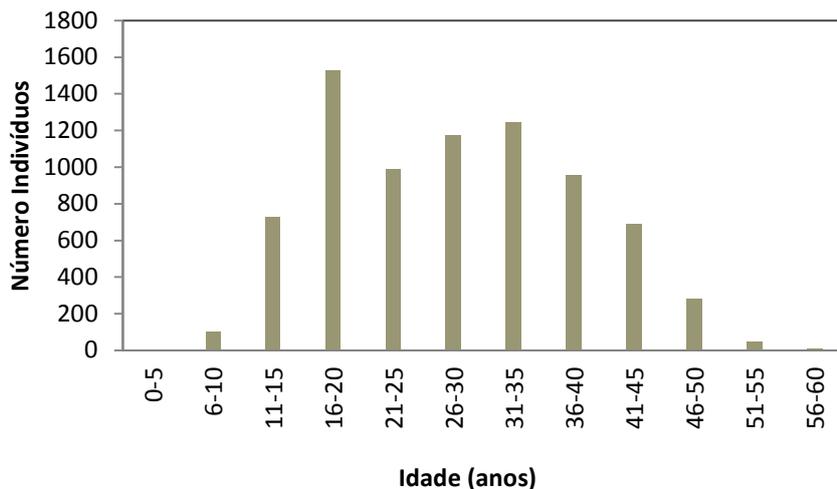


Figura 17 - Distribuição dos povoamentos de *Cryptomeria japonica* por classe de idades, com base na informação do inventário florestal dos Açores (DRRF, 2007).

Da análise da Figura 17, verifica-se que nos povoamentos de *Cryptomeria japonica* presentes nas parcelas de inventário analisadas dominam as classes de idades compreendidas entre os 16 e os 40 anos de idade. Os povoamentos mais velhos são menos abundantes, fenómeno em grande parte explicado pelo facto da idade de corte nos povoamentos de produção desta espécie estar fixado em redor dos 30 anos de idade (Silva, 2007).

Na Figura 18, encontra-se também a distribuição da idade média dos povoamentos de Criptoméria em cada uma das ilhas do inventário florestal.

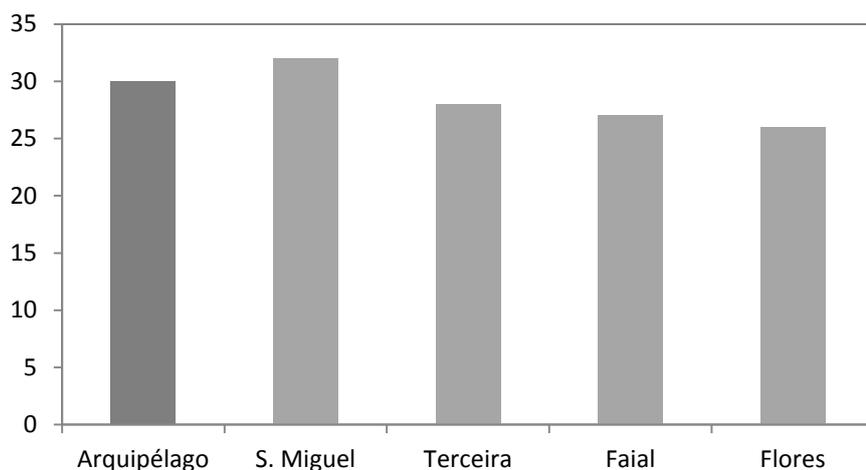


Figura 18 – Distribuição da idade média dos povoamentos de *Cryptomeria japonica* por ilha, com base na informação do inventário florestal dos Açores (DRRF, 2007).

A ilha de S. Miguel apresenta os povoamentos mais velhos da espécie, com um valor médio de 32 anos. Os povoamentos mais novos encontram-se na ilha do Faial (26 anos), sendo que o valor médio para o Arquipélago é de 30 anos.

Relativamente aos dados do inventário, estes dizem respeito à biomassa florestal presente em cada parcela. Os indivíduos encontram-se agrupados por classes de diâmetros à altura do peito (dap)¹³, de acordo com o que é descrito no manual de instruções para o trabalho de campo do Inventário Florestal Nacional - IFN (DGF, 2009), tendo posteriormente sido efetuado os cálculos dos valores médios de idade, altura, diâmetro e volume do fuste para cada uma dessas classes de diâmetro. No anexo C, encontra-se a tabela da parcela 4_AH localizada no concelho de Angra do Heroísmo, na ilha Terceira para melhor compreensão dos dados fornecidos.

Logo após uma primeira caracterização inicial dos dados de inventário, procurou-se verificar se existe algum padrão de correlações entre as idades da planta e as diferentes variáveis dendrométricas, para determinação das curvas de crescimento da espécie.

As variáveis utilizadas foram a altura total (ht) (medida diretamente em campo), o diâmetro quadrático médio (dg)¹⁴, (obtido através da área basal¹⁵ de cada indivíduo) e o volume de fuste (vf) (determinado através de uma equação utilizada pelos serviços florestais que relaciona dg com ht).

Os valores médios destas variáveis foram ponderados para cada uma das idades existentes no inventário, de acordo com as seguintes equações:

$$\overline{Ht}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (Ht_i \times n_i)}{\sum_{i=1}^n (n_i)} \quad (\text{Equação 5})$$

$$\overline{Vf}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (Vf_i \times n_i)}{\sum_{i=1}^n (n_i)} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\overline{dg}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (dg_i \times n_i)}{\sum_{i=1}^n (n_i)} \quad (\text{Equação 7})$$

¹³ Medição de diâmetro da árvore efetuada a 1,30 metros do solo (DGF, 2009).

¹⁴ dg é o diâmetro correspondente à árvore de área basal média, sendo esta definida como a média aritmética das áreas basais das árvores existentes na parcela (Machado e Figueiredo, 2003).

¹⁵ Soma das áreas seccionais das árvores a 1,30 m do solo, reportada ao hectare. Constitui a parte de uma área florestal ocupada pelos fustes que compõem a floresta (DRF, 2008; Machado e Figueiredo, 2003).

Em que n representa o numero de indivíduos da idade i

As correlações encontradas foram efetuadas utilizando os indivíduos com idades compreendidas entre 7 (idade da árvore mais nova presente nos inventários) e 48 anos de idade.

A partir desta idade, o número de elemento é bastante reduzido (Tabela 10), existindo também uma maior heterogeneidade entre os valores de cada árvore.

Na determinação das equações representativas das curvas de crescimento foi ainda definido como ponto fronteira o ponto (0,0), uma vez que aos “zero anos” os parâmetros têm valor zero.

Do resultado deste exercício foram determinadas duas equações polinomiais de segundo grau, relativas a ht e vf (Figuras 19 e 21), e uma equação logarítmica relativa a dg , (Figura 20).

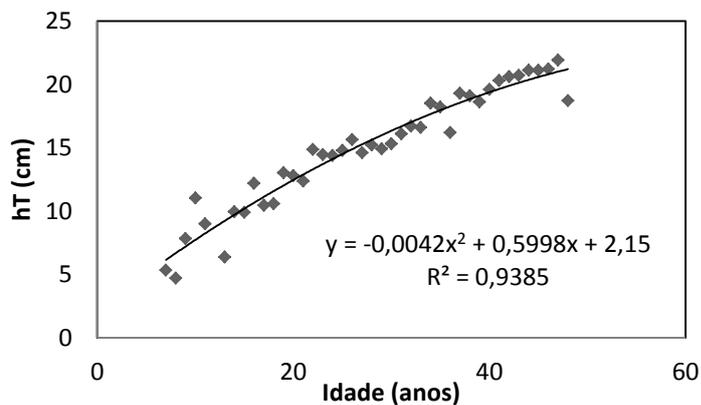


Figura 19 – Curva de crescimento de ht para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).

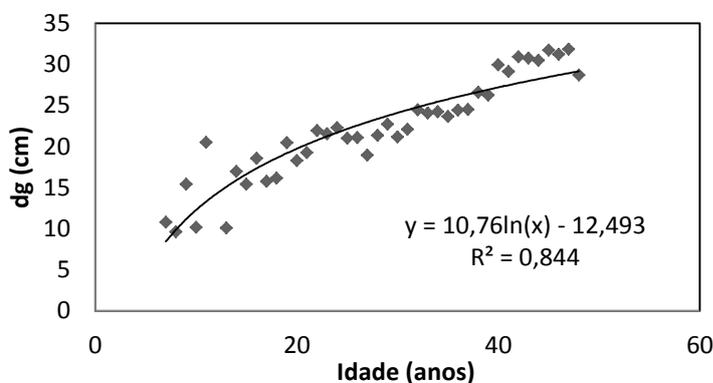


Figura 20 – Curva de crescimento de dg para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).

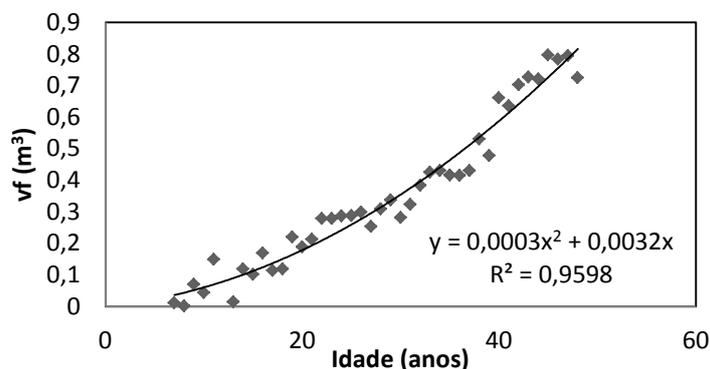


Figura 21 – Curva de crescimento em vf para os dados do Inventário Florestal (DRRF, 2007).

Como pode ser observado, qualquer uma das três correlações é boa, com valores de coeficiente de regressão (R^2) acima dos 0,84. A melhor correlação encontrada foi a que relaciona a idade com o volume de fuste ($R^2=0,9598$).

Foram também fornecidos por parte dos serviços florestais de Ponta Delgada um conjunto de fichas de campo da Ilha de S. Miguel correspondentes a cerca de 12 parcelas de inventário com uma área individual de 0,02 ha contendo medições efetuadas à massa de copa seca de 147 indivíduos.

A análise desta informação, permitiu estabelecer uma relação entre o volume de fuste dos indivíduos presentes nessas parcelas e a sua massa de copa seca (Figura 22).

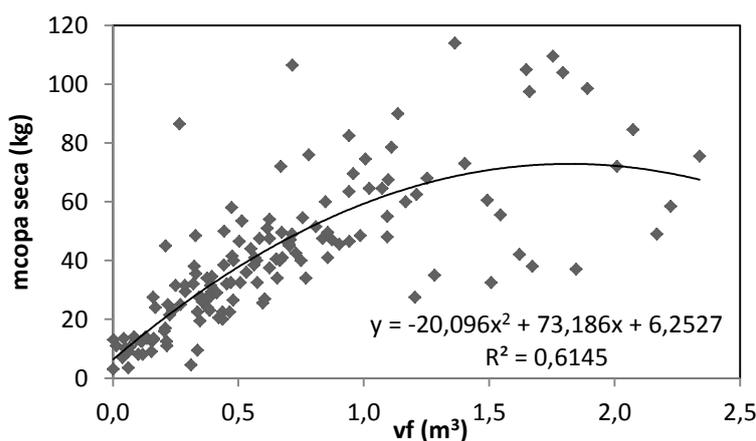


Figura 22 - Correlação entre o volume de fuste (vf) e o peso de copa seca da espécie *Cryptomeria japonica*.

Para este caso, o coeficiente de regressão não foi tão bom como o encontrado para as correlações anteriores, situando-se por volta dos 0,61, o que pode ser justificado pelo facto do universo de amostragem ser relativamente inferior ao utilizado nas correlações anteriores. Por outro lado, verifica-se uma maior dispersão de valores para plantas com mais idade, que pode estar relacionado com variações no crescimento da planta induzidas por diferentes localizações e, conseqüentemente, variações dos fatores abióticos locais.

7.2 CÁLCULO DOS *STOCKS* DE CARBONO

Como foi anteriormente referido, as florestas fixam carbono durante o seu crescimento, armazenando-o como elemento constituinte das suas partes. Estas quantidades de C armazenadas pela biomassa da floresta constituem os *stocks* de carbono.

7.2.1 METODOLOGIA

A determinação dos *stocks* de carbono associados à Criptoméria foi realizada para cada parte constituinte da biomassa total (raiz, fuste e copa) através da média dos *stocks* de C nas parcelas inventariadas (expressos em t C ha⁻¹), de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Stock C} = \text{Stock } C_{\text{Fuste}} + \text{Stock } C_{\text{Copa}} + \text{Stock } C_{\text{Raiz}} \quad (\text{Equação 8})$$

A estimativa dos *stocks* de C do fuste da Criptoméria foi obtida diretamente através do volume total de fuste de cada parcela (Vf), denominado volume total da classe na Figura 39 do Anexo C.

Para efeitos de cálculo, foram utilizados os valores de massa volúmica obtidos por Ponte *et al.* (2011) num estudo de avaliação da quantidade de biomassa em povoamentos florestais de *Cryptomeria japonica* desenvolvido em 11 parcelas com áreas equivalentes a 0,01 ha da ilha de S. Miguel. Neste estudo recolheram-se várias amostras de material grosseiro da espécie, tendo sido calculado o volume “verde” de cada amostra por imersão. As amostras foram também pesadas “em verde”, e posteriormente secas ao ar e pesadas semanalmente até ao seu peso seco estabilizar. Neste estudo foi ignorado o volume “em seco” por se considerar a retração do material lenhoso desprezível, face ao rigor da metodologia de cubagem¹⁶. No Anexo B, podem ser observadas

¹⁶ Termo que designa os diferentes métodos e técnicas que visam medir o volume de árvores, troncos e toros (Machado e Figueiredo, 2003).

imagens de alguns dos procedimentos adotados no estudo de Ponte *et al.* (2011). Estes resultados contemplam valores de densidade verde (kg de biomassa “verde” por m³ de volume “verde”) e de densidade seca (kg de biomassa seca por m³ de volume “verde”), como se pode observar na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de massa volúmica de madeira verde e seca da espécie *Cryptomeria* e respetivos erros (Ponte *et al.*, 2011)

	Verde	Seca
Massa Volúmica [kg m ⁻³]	891,1	393,9
Erro (99%)	9%	7%

Através dos parâmetros v_f e ρ_{seca} foi possível a determinação do *stock* de C do fuste por parcela (Equação 9).

$$\text{Stock de } C_{fuste} [t C] = V_f \times \rho_{seca} \times k_f \times 10^{-3} \quad (\text{Equação 9})$$

em que:

V_f – volume total de fuste da parcela [m³];

ρ_{seca} – massa volúmica da madeira seca da espécie *Cryptomeria japonica* [kg matéria seca m⁻³ volume verde];

k_f – percentagem de C presente na biomassa seca do fuste obtido experimentalmente no Capítulo 6 (secção 6.5, Tabela 13) [=0,5056];

O fluxograma da Figura 23 mostra um resumo dos parâmetros utilizados no processo de cálculo.

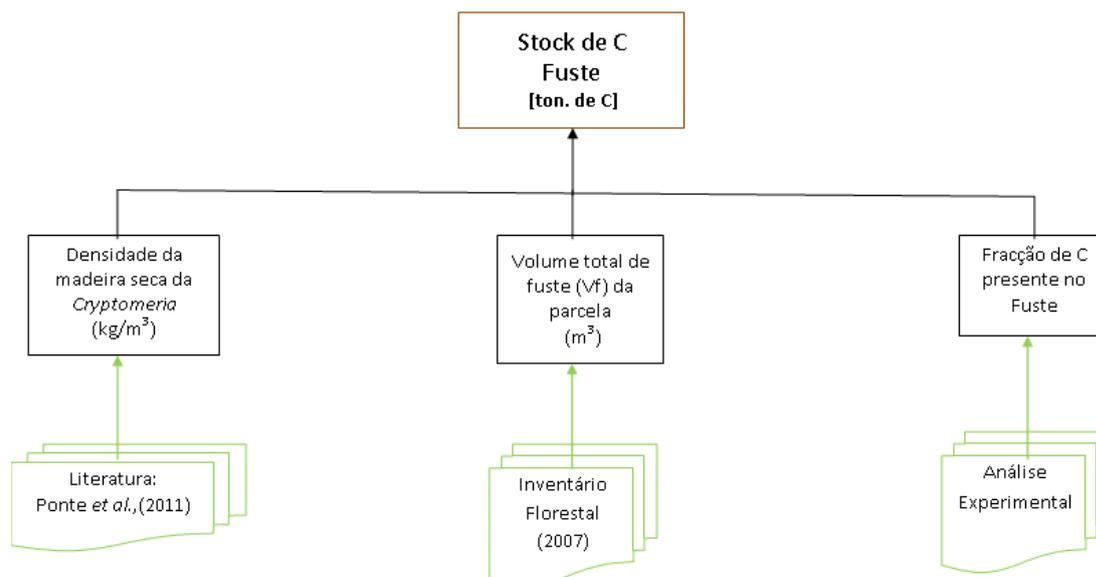


Figura 23 – Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do *stock* de C do fuste.

Dada a ausência de informação referente a dados de campo relativos à biomassa de copa e raízes no inventário florestal dos Açores, o cálculo destes *stocks* foi efetuado unicamente através de fatores de conversão de biomassa retirados da bibliografia.

Através da análise de um estudo levado a cabo por Fukuda *et al.* (2003) foi possível obter dois fatores de conversão de biomassa para a espécie Criptoméria.

O primeiro afirma que cerca de 20,4% da biomassa total¹⁷ presente nesta espécie constitui a biomassa da raiz (Equação 10).

$$\frac{\text{Biomassa Raiz}}{\text{Biomassa Total}} = 0,204 \quad (\text{Equação 10})$$

Fukuda *et al.*, (2003) verificaram que este fator de conversão não varia em função da idade da planta, tendo sido comprovado num estudo anterior efetuado por Karizumi (1977) que concluiu que a relação entre a percentagem de biomassa da raiz e da biomassa total permanece constante e assume valores entre 20 a 25%.

¹⁷ Fukuda *et al.*, (2003) entende como biomassa total o valor correspondente à soma da biomassa presente no fuste, raízes, folhas e ramos.

O segundo fator de conversão obtido por Fukuda *et al.* (2003) diz respeito à relação existente entre a biomassa total da planta e a biomassa de fuste, também conhecido como Fator de Expansão de Biomassa (FEB) (Equação 11).

$$FEB = \frac{Biomassa\ Total}{Biomassa\ Fuste} = 1,72 \quad (Equação\ 11)$$

O autor demonstrou que este fator de conversão decresce com a idade, tornando-se constante a partir dos 30 anos de idade. No entanto, neste estudo o FEB foi considerado constante para todas as idades das Criptomérias amostradas.

Através das duas equações obtidas por Fukuda *et al.* (2003), foi possível determinar as frações mássicas de biomassa para cada componente da planta (Tabela 15).

Tabela 15 – Frações mássicas de biomassa de *Cryptomeria japonica* obtidas através do estudo de Fukuda *et al.* (2003).

Componentes de Biomassa	Fracção Mássica (%)
(a) Raízes/Total	20,4
(b) Fuste/Total	58,1
(c) Copa/Total*	21,5

*Determinada por diferença de (a) e (b) relativamente ao total; a copa inclui folhas e ramos.

Da massa volúmica seca obtida por Ponte *et al.* (2011) e do volume total de fuste, foi possível obter as seguintes equações, que permitem a obtenção de uma estimativa dos *stocks* da copa e da raiz para cada parcela (Equações 12 e 13).

$$Stock\ de\ C_{raiz} [tC] = (Vf \times \rho_{seca}) \times FEB \times a \times k_r \times 10^{-3} \quad (Equação\ 12)$$

$$Stock\ de\ C_{copa} [tC] = (Vf \times \rho_{seca}) \times FEB \times c \times \overline{k_c}^{18} \times 10^{-3} \quad (Equação\ 13)$$

¹⁸ Uma vez que a fração mássica determinada através do estudo de Fukuda *et al.* (2003) para a copa diz respeito às componentes folhas e ramos, e em laboratório apenas foi determinada a % C da componente folha, assumiu-se para este cálculo um valor de % de C correspondente à média da % de C obtida para as folhas e para o fuste (considerando que a % de C de ramos e fuste não diferem significativamente entre si), ou seja, o valor 51,3 %.

em que:

V_f – volume total de fuste da parcela [m^3];

ρ_{seca} – massa volúmica da madeira seca da espécie *Cryptomeria japonica* [$kg\ m^{-3}$];

FEB – Fator de Expansão de Biomassa (Equação 12);

a e b – frações mássicas de biomassa obtidas para a Criptoméria (Tabela 15);

k_r e k_c - percentagens de C presentes na biomassa seca da raiz e da copa, respetivamente.

Os fluxogramas das Figuras 24 e 25 mostram um resumo dos parâmetros utilizados no processo de cálculo dos *stocks* de C na copa e na raiz.

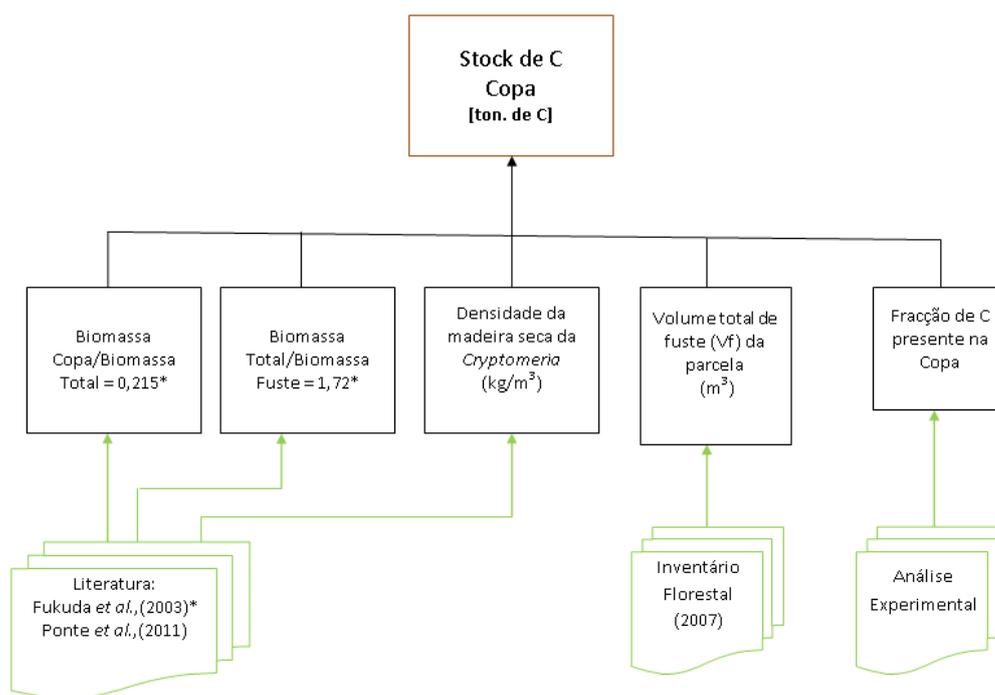


Figura 24 - Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do *stock* de C da copa.

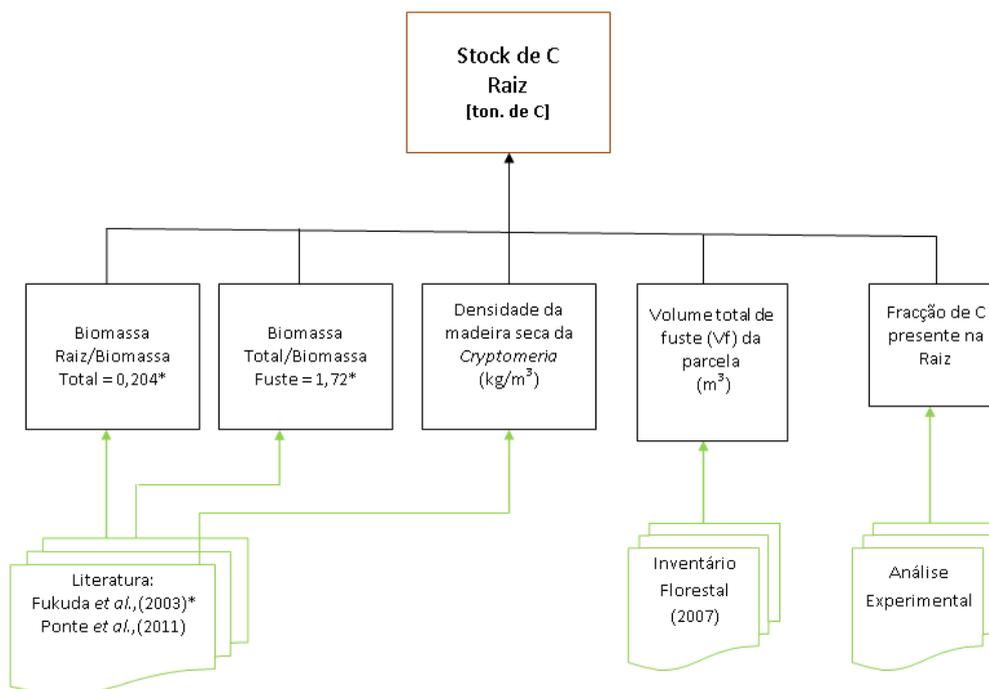


Figura 25 - Esquema representativo dos parâmetros utilizados no cálculo do *stock* de C da raiz.

Dado que as parcelas de Inventário disponibilizadas pelos serviços florestais da ilha Terceira não representam a totalidade das áreas de ocupação da espécie no arquipélago dos Açores, os *stocks* totais de C foram estimados de acordo com as áreas reais de ocupação dos povoamentos puros da espécie (Equação 14).

$$\text{Stock C total} = \text{Stock C} \times A_t \quad (\text{Equação 14})$$

Em que:

Stock C total – valor médio dos *stocks* totais obtido para a totalidade da área de ocupação dos povoamentos puros da espécie da ilha (t C);

Stock C – valor médio dos *stocks* totais obtidos através da Equação 9 para a totalidade da área das parcelas inventariadas (t C ha⁻¹);

A_t – área total de ocupação dos povoamentos puros da espécie na ilha (ha).

7.2.2 RESULTADOS

Neste subcapítulo são abordados os principais resultados obtidos para a estimativa dos *stocks* de carbono da floresta de *Cryptomeria japonica* dos Açores.

Relativamente à estimativa dos *stocks* de carbono por componente da planta, pode observar-se que é maioritariamente no fuste que se encontra o maior valor de C armazenado (58,1%), seguido da copa (21,5%) e, por último, das raízes (20,4%) (Figura 26).

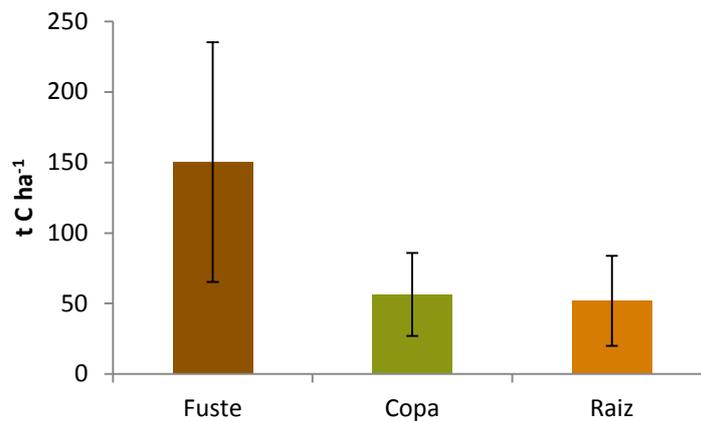


Figura 26 - Stocks médios de C da Criptoméria estimados para o arquipélago, por parte constituinte, e respetivos desvios padrões médios amostrais.

Estudos semelhantes efetuados para outras espécies florestais comprovam esta relação obtida entre as componentes da planta. Por exemplo, Nunes e Lopes (2009) apresentam percentagens de carbono acumulado por quilograma de matéria seca para as diferentes componentes de duas espécies florestais: *Quercus pyrenaica* e *Pinus pinaster*, tendo obtido para a *Quercus pyrenaica* os resultados de 39% de acumulação de C no fuste, 31% na copa e 30% na raiz e para a *Pinus pinaster* 62% no fuste, 30% na copa e 8% na raiz.

Na Figura 27 apresentam-se os valores correspondentes aos *stocks* totais de C estimados para cada uma das ilhas contempladas no inventário florestal e para o arquipélago dos Açores.

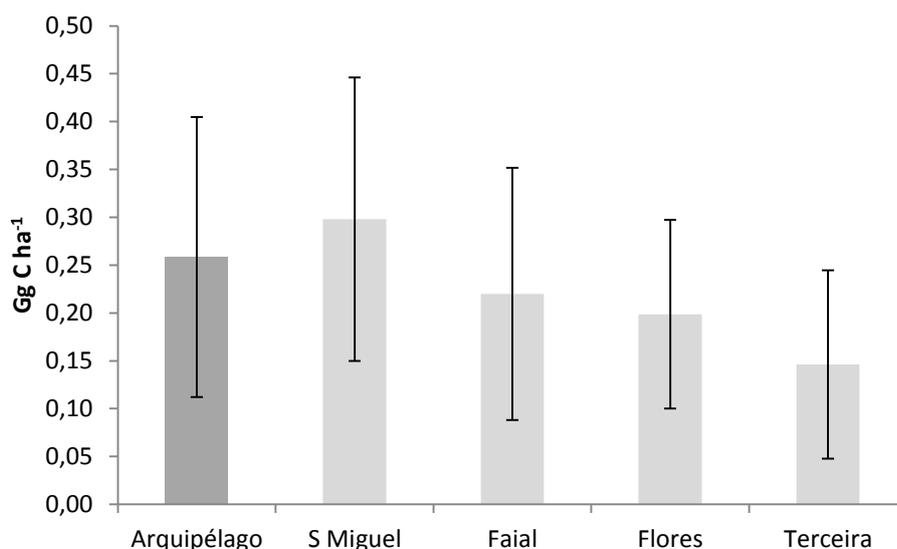


Figura 27 - Estimativa dos stocks totais de C por ilha e para o arquipélago dos Açores e respetivos desvios padrões médios amostrais.

Os valores obtidos para os *stocks* de C (expressos em Gg C ha⁻¹) mostram que de todas as ilhas analisadas, a ilha de S. Miguel demonstra ser a que contém a maior quantidade de carbono armazenado, com um valor médio de $0,30 \pm 0,15$ Gg C ha⁻¹. Este resultado era esperado, uma vez que esta ilha é a que possui a maior área de ocupação de povoamentos puros da *Cryptomeria japonica*, correspondente a 64,4% da área total da *Cryptomeria* no arquipélago dos Açores.

Na Tabela 16 encontra-se um quadro resumo dos valores de *stock* estimados por componente e total, de acordo com a área de ocupação dos povoamentos puros.

Tabela 16 – Valores de *stock* médios estimados por ilha, para o arquipélago e respetivo desvio padrão

Ilhas	Área total dos povoamentos puros (ha)	Stocks médios [Gg C]				Desvio Padrão [Gg C]
		Fuste	Copa	Raiz	Total	
Faial	714,2	91,3	34,3	31,6	157,1	± 94,2
Flores	498,7	57,6	21,6	19,9	99,1	± 49,2
Terceira	1534,7	130,3	48,9	45,06	224,3	± 150,9
S.Miguel	7016,5	1214,9	456,21	420,0	2091,1	± 1040,2
Arquipélago	10893,7	1636,2	614,4	565,7	2816,3	± 1594,5

O valor médio de *stock* de C obtido para a totalidade da floresta de *Cryptomeria* no arquipélago dos Açores foi de $2816,3 \pm 1594,5$ Gg C que, tendo em conta a área de ocupação dos povoamentos puros da floresta de *Cryptomeria* (10894ha) corresponde a 256 t C ha^{-1} . Este valor, quando comparado com outros estudos realizados para esta espécie, é bastante superior. Por exemplo, Fukuda *et al.* (2003) para uma área de $4,51 \times 10^6$ ha obtiveram os valores 80,79 e $90,11 \text{ t C ha}^{-1}$ (anos de 1990 e 1995, respetivamente). De igual modo, Sasaki e Kim (2008) obtiveram valores de 48,7 e $24,3 \text{ t C ha}^{-1}$ (ano de 1966) e 76 e $101,6 \text{ t C ha}^{-1}$ (ano de 2012) para as florestas naturais e plantadas respetivamente. Assim, de acordo com estes estudos, os valores de *stocks* de C obtidos deveriam rondar a ordem de grandeza das dezenas de t C ha^{-1} .

No entanto, a Autoridade Florestal Nacional (AFN, 2010) estimou a totalidade do volume em crescimento¹⁹ de fuste da *Cryptomeria* existente no arquipélago açoriano em 6473250 m^3 com um erro de 16%. Aplicando o mesmo valor de densidade seca utilizado neste estudo, e um teor de carbono presente na matéria seca médio de 50% obtemos um valor de *stock* total para a *Criptoméria* no arquipélago de 1274,9 Gg de C (117 t C ha^{-1}). Este valor é ligeiramente inferior ao obtido neste estudo, mas é necessário ter em conta que não estão a ser consideradas as contribuições em volume da raiz e da copa desta espécie. Na resolução do concelho de ministros (Portaria nº 114/2006) é apresentado uma estimativa do volume total de *Criptoméria* ligeiramente superior 7853580 m^3 . Aplicando a mesma metodologia, obtemos valores de 1546 Gg de C ($141,9 \text{ t C ha}^{-1}$). Este valor é ligeiramente superior à estimativa da AFN, no entanto não é dado qualquer tipo de informação relativa às partes da planta consideradas na estimativa do volume total da planta.

7.3 SEQUESTRO DE CARBONO

Neste subcapítulo pretende-se analisar a capacidade de absorção de carbono ao longo da evolução da planta e estimar o potencial de sequestro de CO_2 atmosférico pela floresta da espécie *Cryptomeria japonica* nos Açores.

7.3.1 METODOLOGIA

A ausência de dados de outro inventário ou de dados relativos às perdas de biomassa por fogos florestais, doenças e/ou pestes impossibilitaram o cálculo do balanço total de carbono na floresta de *Cryptomeria japonica* nos Açores através dos métodos *stock-change* ou *gain-loss* propostos pelo

¹⁹ Corresponde à componente viva do volume existente (DRF, 2008).

IPCC (IPCC, 2006). Deste modo, o sequestro de carbono foi determinado através dos valores de *stocks* estimados para cada parcela (Secção 6.2) e da idade média do povoamento dessa parcela (em anos), de acordo com a Equação 15:

$$Seq(C) = \frac{Stock\ C}{(I)} \quad (Equação\ 15)$$

onde:

$Seq(C)$ – Sequestro de C [$t\ C\ ano^{-1}$];

Stock C - *Stock* total de C estimado em cada parcela [t C];

I – Idade média do povoamento [anos].

Os valores de sequestro de C obtidos foram relacionados com as variáveis dendrométricas medidas ao nível da parcela: altura média (ht), diâmetro quadrático médio (dg), volume total do fuste (vt) e, ainda, a variável idade média do povoamento. Estas análises permitem compreender a capacidade de absorção de C da espécie ao longo dos vários estágios do seu desenvolvimento.

Outra metodologia para analisar a evolução da capacidade de sequestro de carbono da *Cryptomeria japonica* com a idade foi aplicada. Esta consistiu na determinação de uma equação representativa do sequestro de C da planta em função da idade. A equação foi realizada de acordo com quatro passos fundamentais:

O 1º passo foi considerar como ponto de partida a Equação 16

$$StockC = f(m_{copa} + m_{raiz} + m_{fuste}) \times ki \quad (Equação\ 16)$$

em que:

Stock C – Stock de C da planta [$kg\ árvore^{-1}$];

m_{copa} , m_{raiz} , m_{fuste} – massas secas das 3 partes constituintes da planta [kg];

k – percentagem de carbono contido na matéria seca

i – copa, fuste, raiz

O 2º passo consistiu na substituição das variáveis m_{fuste} , m_{copa} e m_{raiz} pelas equações determinadas anteriormente na secção 6.2 para cada componente.

$$m_{fuste} = (Vf \times \rho_{seca}) \times k_f$$

$$m_{raiz} = (Vf \times \rho_{seca}) \times a \times FEB \times k_r$$

$$m_{copa} = (Vf \times \rho_{seca}) \times c \times FEB \times k_c$$

em que:

Vf – volume total de fuste [kg m^{-3}];

ρ_{seca} – massa volúmica de madeira seca utilizada de (Ponte et al.,2011);

a, c – Frações mássicas de biomassa da raiz e copa respetivamente (Tabela 15);

FEB – Fator de Expansão de Biomassa (Equação 11);

k_f, k_r, k_c – percentagens de carbono presentes na matéria seca do fuste, raiz e copa

Obtendo-se a Equação 17:

$$StockC = (Vf \times \rho_{seca}) \times k_f + (Vf \times \rho_{seca}) \times a \times FEB \times k_r + (Vf \times \rho_{seca}) \times c \times FEB \times k_c$$

(Equação 17)

O 3º passo compreendeu a substituição da variável volume individual de fuste (vf), pela equação polinomial que relaciona esta variável com a idade de cada planta, determinada aquando da análise dos dados do inventário no subcapítulo 6.1 (Equação 18).

$$V_f = 0,0003 \times (I)^2 + 0,0032 \times (I)$$

(Equação 18)

em que:

vf = volume total de fuste da planta [kg m^{-3}];

I = idade da planta [anos].

Como resultado final obtém-se a já simplificada Equação 19, que nos dá os valores de *stock* de C da árvore em função da idade:

$$\text{Stock C [kg árvore}^{-1}] = 0,1031 \times (I)^2 + 1,10 \times (I) \quad (\text{Equação 19})$$

O último passo consistiu na derivação da Equação 19, no sentido de obter a taxa de variação do *stock de C* em função da idade, representativo do sequestro médio anual de C pela árvore (Equação 20).

$$\text{Seq(C) [kg árvore}^{-1}\text{ano}^{-1}] = 0,2062 \times (I) + 1,10 \quad (\text{Equação 20})$$

A análise à capacidade de sequestro de carbono da *Cryptomeria* permite também a deteção das zonas contempladas no inventário florestal onde a espécie em estudo realiza uma maior fixação de carbono atmosférico. Os sequestros de carbono em t C ano⁻¹ passaram a ser expressos em t C ha⁻¹ ano⁻¹ por simples divisão pela área da parcela, para poderem ser mais facilmente comparáveis com outros estudos, e posteriormente convertidos a CO₂, através da seguinte fórmula de conversão:

$$\text{Seq(CO}_2\text{) [tCO}_2\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}] = \text{Seq(C)} \times \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{C})} \quad (\text{Equação 21})$$

onde:

Seq(CO₂) – sequestro de CO₂ [t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹];

Seq(C) – sequestro de C [t C ha⁻¹ ano⁻¹];

M (CO₂) – massa molar de CO₂ [g.mol⁻¹];

M (C) – massa molar de carbono [g.mol⁻¹];

Os valores obtidos foram tratados no programa de Sistema de Informação Geográfica ArcGis, permitindo a obtenção de mapas de sequestro de C para cada ilha.

7.3.1 RESULTADOS

Relativamente às relações encontradas entre o sequestro médio e as variáveis dendrométricas medidas na parcela, os resultados podem ser visualizados na Figura 28.

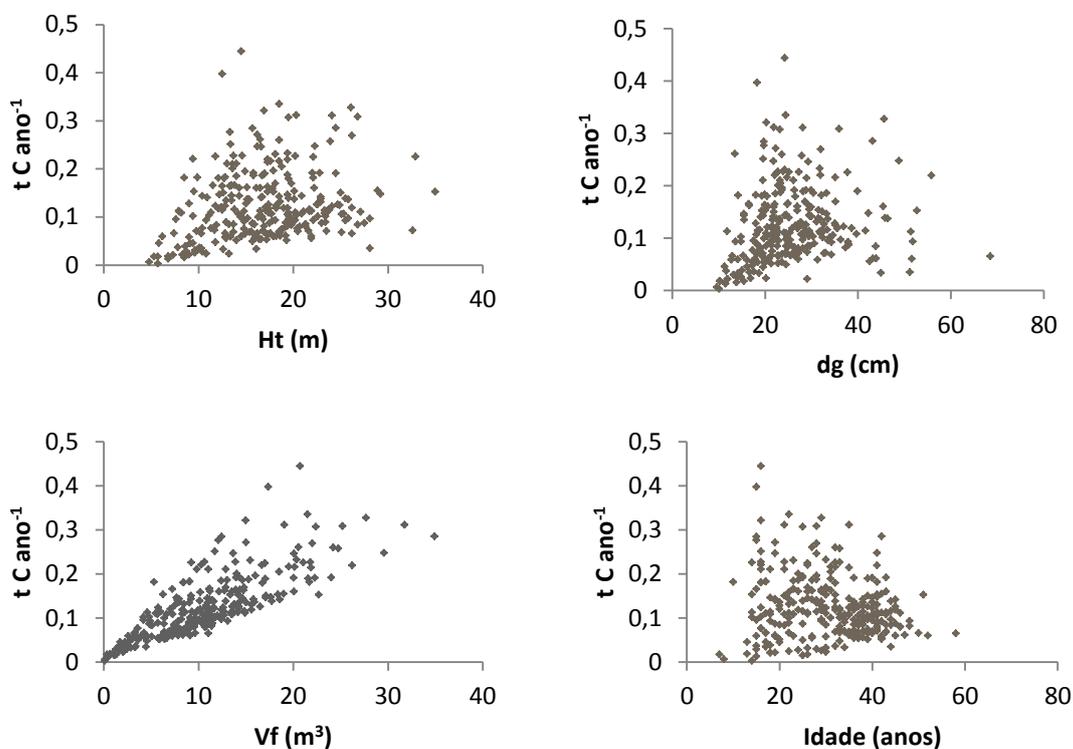


Figura 28 – Evolução do sequestro de C com ht, dg, vt e idade do povoamento

A dispersão na maior parte dos gráficos da Figura 28 é grande, contudo, pode observar-se que o sequestro aumenta com todos os parâmetros considerados, tendo uma melhor correlação (menor dispersão de valores) com vf. Neste caso verifica-se claramente um aumento do sequestro de C com o aumento do vf desde os primeiros estágios da planta. No entanto, a partir dos 10 m³ verifica-se uma maior dispersão dos valores de sequestro obtidos.

No que diz respeito à evolução da acumulação de *stock* ao longo da idade da planta, a equação simplificada encontra-se na Figura 29.

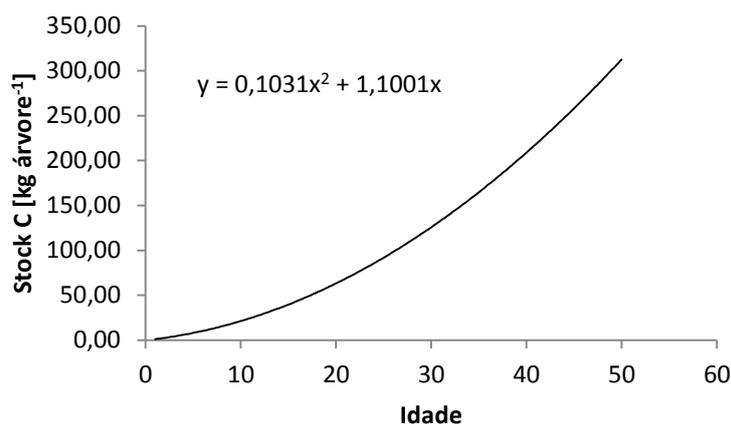


Figura 29– Evolução do stock de C ao longo da idade da planta.

Como se pode observar, o valor cumulativo dos *stocks* de C da planta vai aumentando em função da sua idade.

O gráfico da Figura 29 era o esperado, uma vez que a equação dos *stocks* foi desenvolvida a partir da relação encontrada entre o volume de fuste (vf) e a idade (Figura 21), e que é depois confirmada na Figura 28.

Na maioria dos estudos realizados à evolução dos *stocks* de C com a idade da planta (Ryan *et al.*, 2007; Bradford e Kastendick, 2010; D'amato *et al.* 2011) verifica-se que existe um aumento acentuado desta variável ao longo dos primeiros estágios de desenvolvimento da planta, estabilizando depois em idades mais avançadas.

O facto de esta espécie poder chegar até aos 1600 anos de idade na sua região de origem (Silva, 2007) poderá justificar os resultados obtidos. Como a equação desenvolvida apenas relaciona os indivíduos até aos 48 anos de idade, muito provavelmente a evolução dos *stocks* encontrada representa ainda a da fase de desenvolvimento inicial da planta. Assim, esta relação poderá aproximar-se das relações verificadas nos outros estudos quando a planta atingir idades avançadas.

A evolução da taxa de sequestro de C obtida através da equação derivada com a idade da planta apresenta-se na Figura 30.

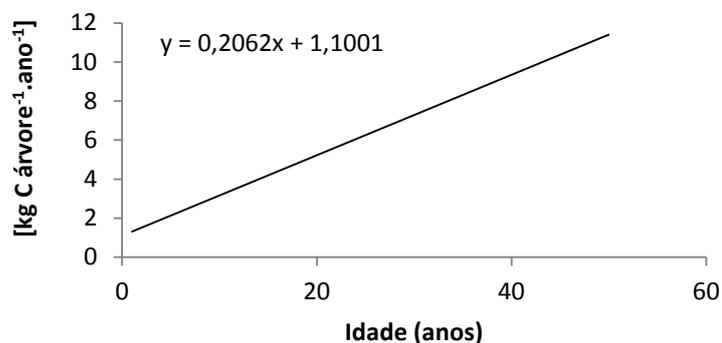


Figura 30 – Evolução da taxa de sequestro de C ao longo da idade da planta.

Observa-se que a taxa de sequestro de C aumenta de maneira constante ao longo da idade do indivíduo.

No que diz respeito aos valores médios de sequestro de C por parcela, os resultados obtidos em valor médio, para cada uma das ilhas analisadas encontram-se na Figura 31.

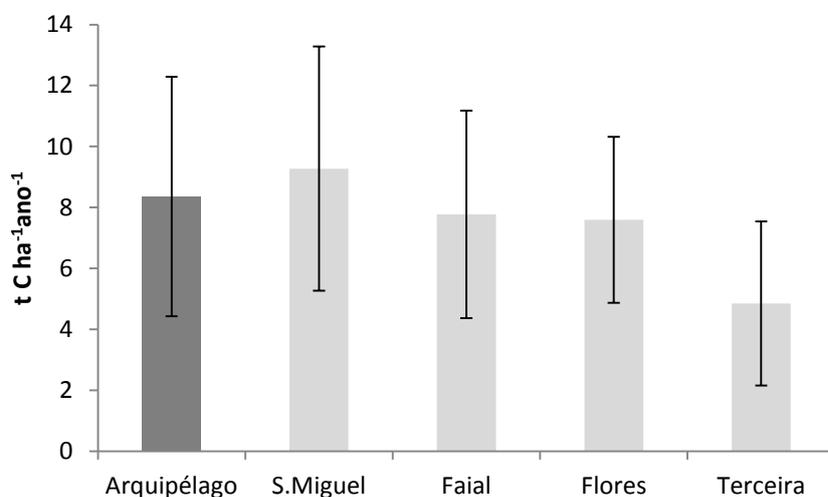


Figura 31- Valores médios de sequestro de C pela planta, obtidos para cada ilha

Mais uma vez, é a ilha de S. Miguel, a que apresenta os valores mais altos de sequestro, com um valor médio de $9,27 \pm 4,01$ t C ha⁻¹.ano⁻¹. A ilha Terceira, apesar de ter a 2^a maior área de ocupação de povoamentos puros desta espécie, contém o valor mais baixo de sequestro obtido ($4,85 \pm 2,69$ tC ha⁻¹.ano⁻¹). Este valor pode ser em grande parte explicado pelo facto de cerca de 27 das 61

parcelas que constituem o inventário desta ilha não apresentarem dados relativos à idade dos indivíduos, pelo que não puderam entrar no cálculo do valor médio de sequestro.

O valor médio de sequestro de C de $8,36 \pm 3,93 \text{ t C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ obtido para a totalidade do arquipélago corresponde a uma fixação de CO_2 atmosférico de $30 \text{ t C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, o que é um valor semelhante aos valores encontrados em estudos efetuados para a mesma espécie. Yashiro *et al.* (2010) obteve um sequestro em PPL de $7,9 \text{ t C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, enquanto na compilação de estudos realizada por Susuki e Kim (2008), o sequestro de C foi aproximadamente de $5,4$ e $7 \text{ t C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para as idades de 15 e 50 anos, respetivamente.

Quando comparados os valores de sequestro obtidos neste estudo para a *Cryptomeria japonica* com os valores obtidos em estudos semelhantes para as duas espécies com maior expressão na floresta portuguesa (*Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus*), verifica-se que o sequestro de C é relativamente maior nestas duas espécies (Lopes, 2005; Lopes *et al.*, 2009; Barreto, 2010) (Tabela 4 do Capítulo 4).

Nas Figuras 32, 33, 34 e 35 são apresentados, com o recurso ao programa ArcGis, os valores médios de sequestro de C (expressos em $\text{t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e em $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por parcela nas quatro ilhas que foram sujeitas ao inventário florestal (Faial, Flores, Terceira e S. Miguel).

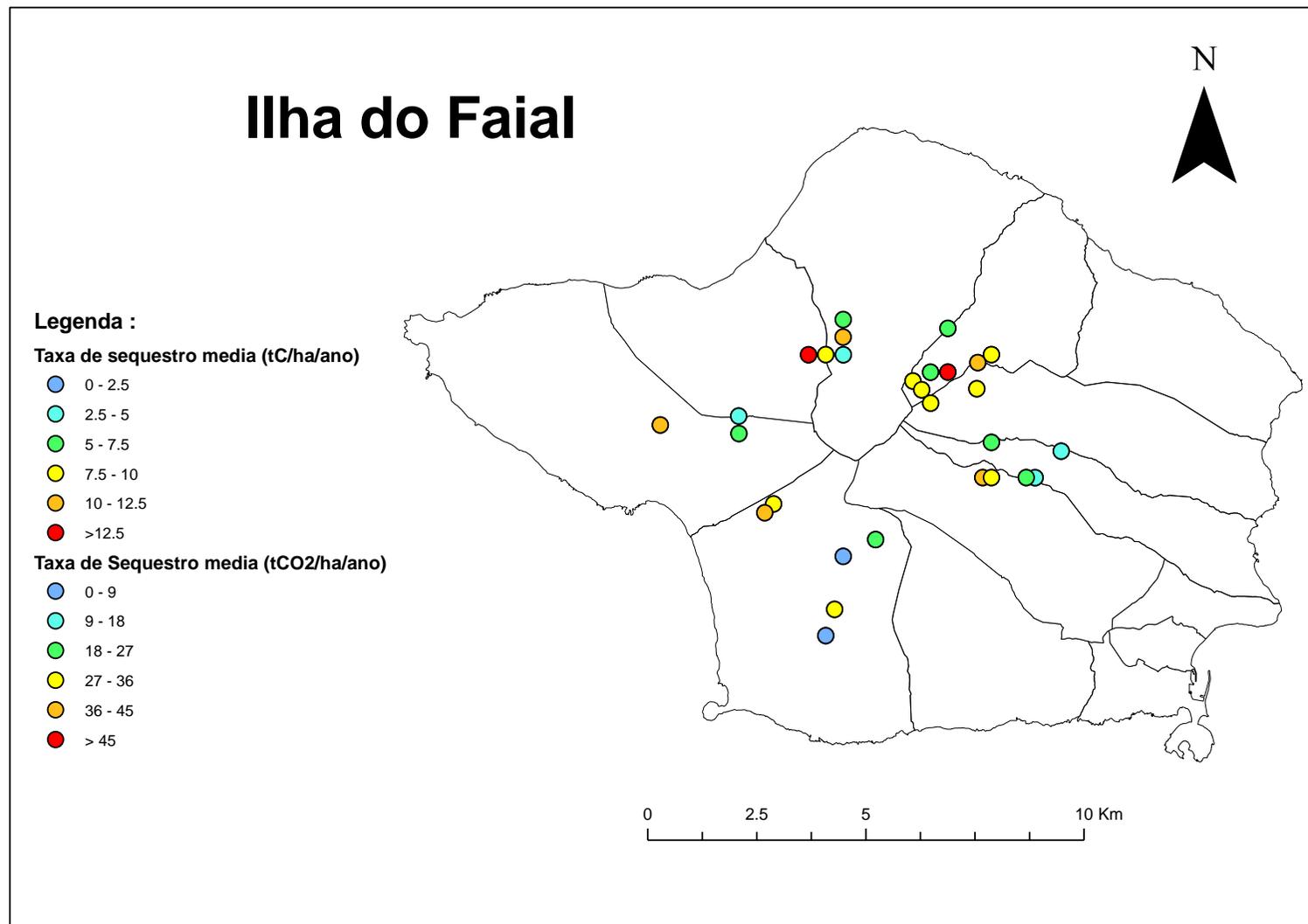


Figura 32 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha do Faial.

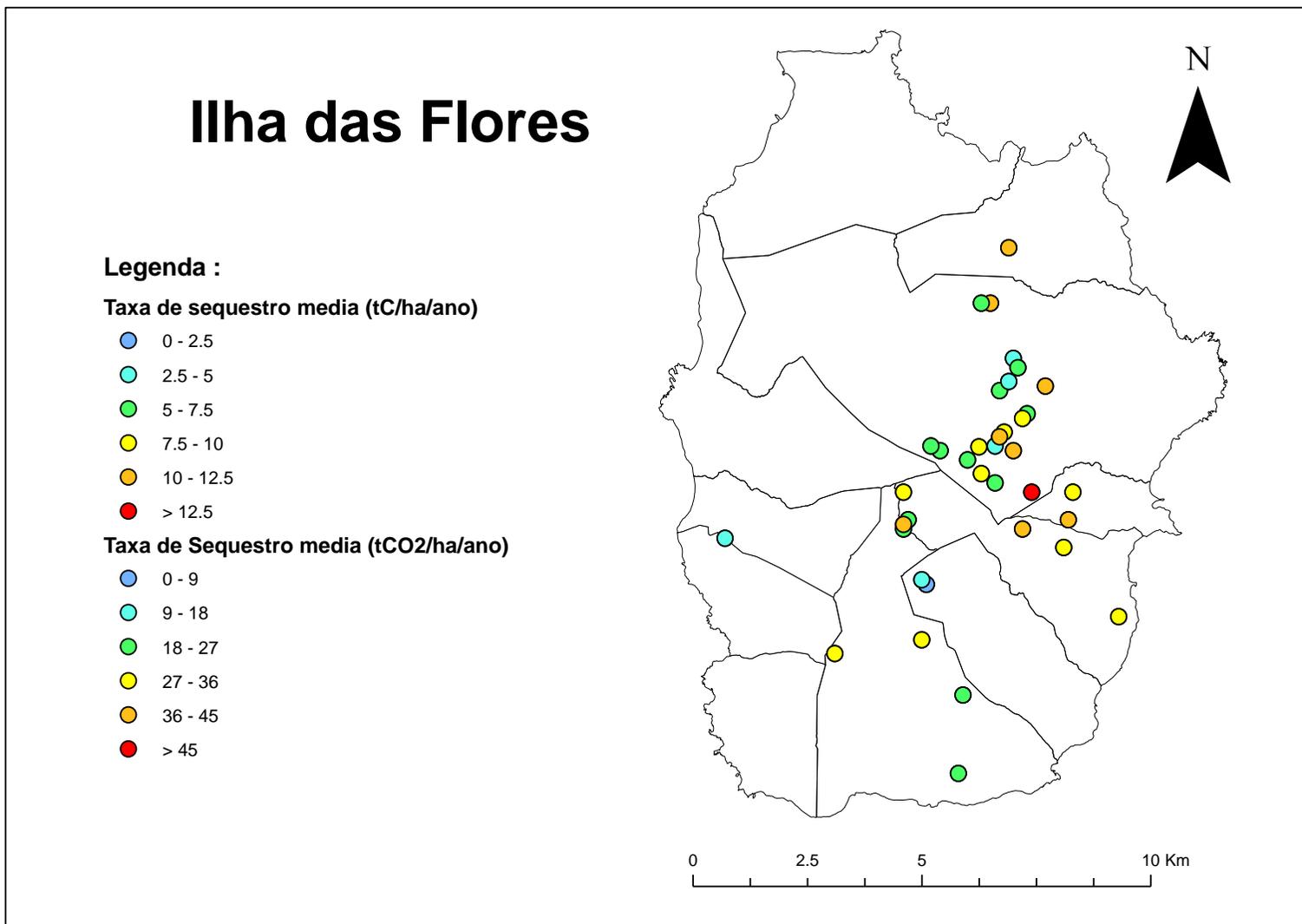


Figura 33 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha das Flores.

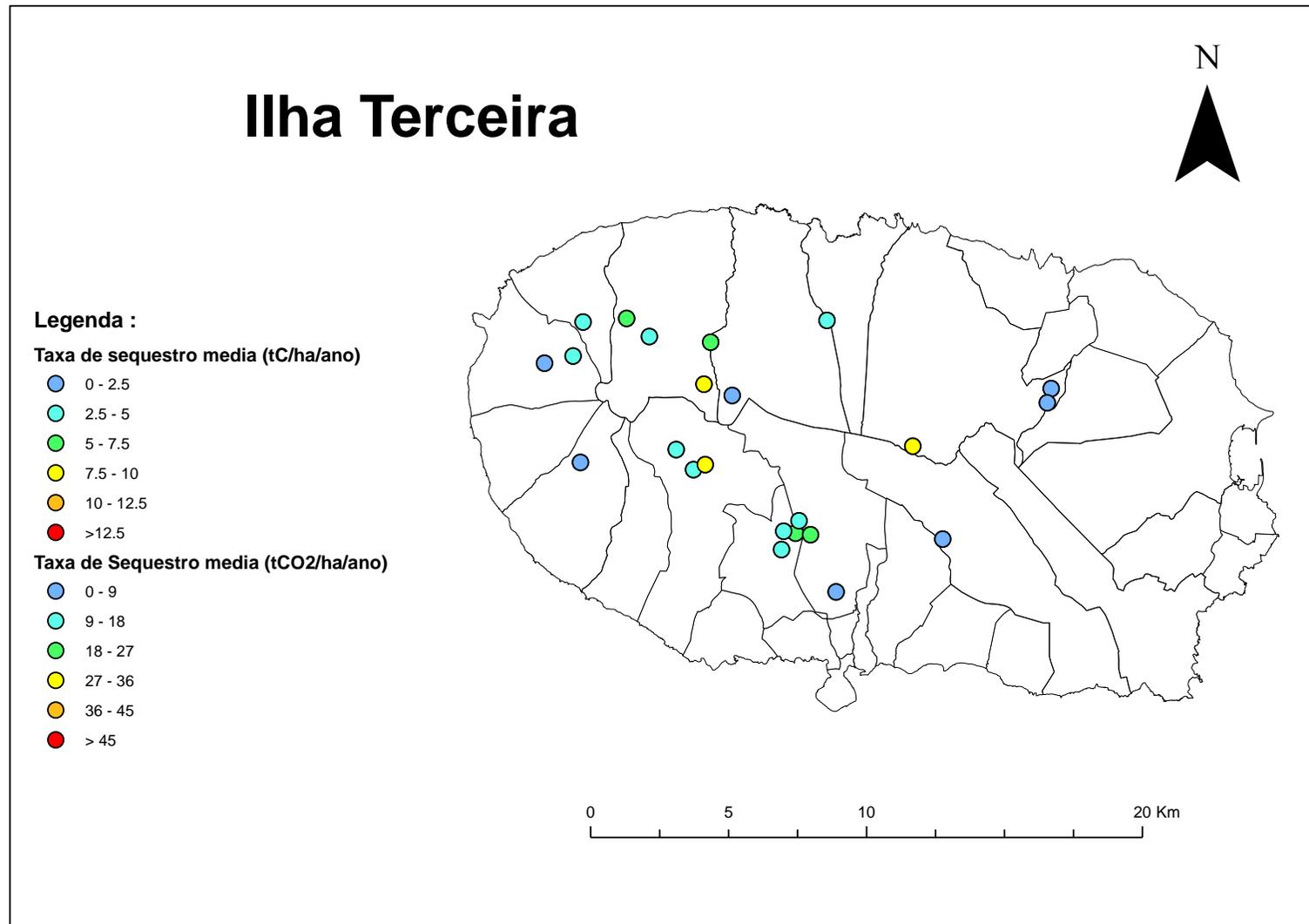


Figura 34 – Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha Terceira.

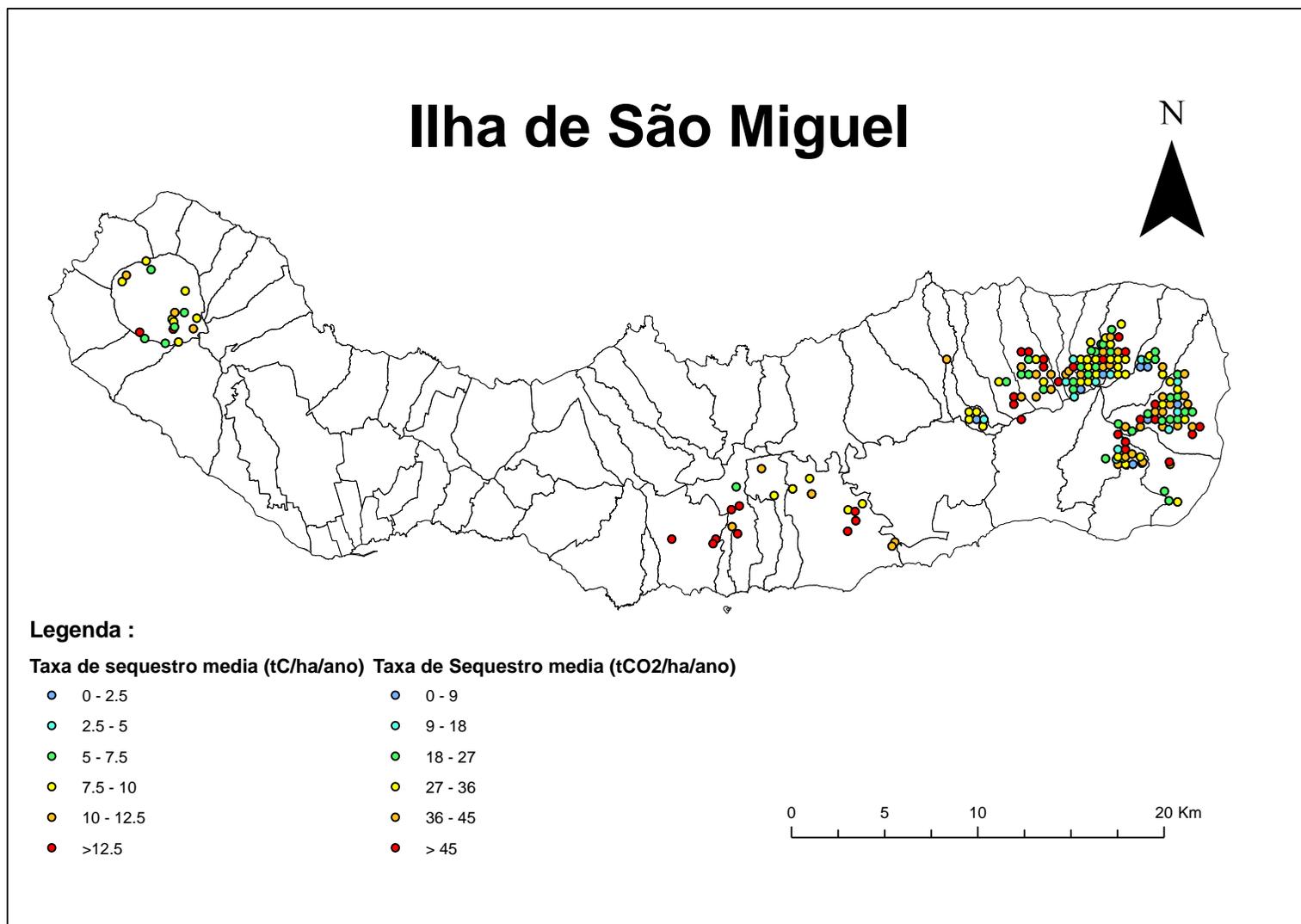


Figura 35 - Taxas médias de sequestro de carbono obtidas para as parcelas de inventário da ilha de S.Miguel.

A análise aos quatro mapas de sequestro de C permite concluir a existência de zonas específicas, ao longo das quatro ilhas, onde os povoamentos de *Cryptomeria japonica* têm um contributo mais ativo do ponto de vista do sequestro de C.

De um modo geral, conclui-se que os valores mais elevados de sequestro de C se encontram na ilha de S. Miguel. Nesta ilha a idade média dos povoamentos é superior (32 anos) à de todas as outras ilhas, o que de acordo com os resultados obtidos na Figura 30 (evolução do sequestro em função da idade do indivíduo) pode ajudar a justificar os valores de sequestro obtidos.

Para além disso, alguns fatores abióticos foram identificados, como possíveis responsáveis por estes valores elevados de sequestro de C.

Nesta ilha, as parcelas localizadas nas vertentes a sul apresentam regra geral valores elevados de taxas de sequestro de carbono, ou seja, têm maior potencial de armazenamento deste elemento. Este facto pode ser explicado porque, de acordo com Ahrens (2011), no hemisfério Norte, os terrenos com orientação da vertente a sul recebem mais radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo do ano, do que em terrenos com orientação de vertente voltada para o Norte. Devido a este fato, as árvores que se situam nas vertentes a sul aumentam a sua atividade fotossintética (Thies *et al.*, 2006), pelo que em áreas geográficas onde ocorra maior insolação resulta um maior desenvolvimento da planta.

Para além disso, a tipologia dos solos poderá justificar as elevadas taxas de sequestro de C registadas nesta ilha. Os valores elevados em teor de cinzas obtidos nas amostras de biomassa do Nordeste – ilha de S. Miguel, podem significar uma maior riqueza nos solos desta ilha, do ponto de vista de nutrientes essenciais que favoreçam um maior desenvolvimento da planta.

O facto das ilhas em estudo possuírem características edáfo-climáticas²⁰ próprias (Pereira, 2009), pode de alguma maneira justificar a diversidade de valores de sequestro de C encontrados entre ilhas.

²⁰ Características definidas através de fatores do meio tais como o clima, o relevo, a litologia, a temperatura, a humidade do ar, a radiação, o tipo de solo, o vento, a composição atmosférica e a precipitação pluvial. As condições edáfo-climáticas são relativas à influência dos solos nos seres vivos, em particular nos organismos do reino vegetal, incluindo o uso da terra pelo homem, a fim de estimular o crescimento das plantas (Dias *et al.*, 2008).

Assim, podemos identificar como locais de maior sequestro de C por parte da espécie na ilha do Faial a freguesia de Salão, pertencente ao concelho da Horta; na ilha das Flores, a freguesia de Caveira, pertencente ao concelho de Santa Cruz das Flores, e especialmente a freguesia de Vila Franca do Campo, na ilha de S. Miguel.

8 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como principal objetivo a avaliação do potencial de sequestro de carbono da floresta de *Cryptomeria japonica* dos Açores.

Na primeira parte da dissertação foi realizada a caracterização experimental das diferentes partes constituintes da árvore (fuste, copa e raiz) da espécie *Cryptomeria japonica* em várias fases do seu crescimento. Nesse trabalho experimental, foi determinado o teor de humidade, o teor de cinzas e a análise elementar. As conclusões mais relevantes foram as seguintes:

- os valores médios do teor de humidade obtidos de 56%, 61,06% e 65,29% para copa, fuste e raiz mostraram que a raiz é a componente que apresenta o valor mais elevado, em virtude de ser o órgão da planta responsável pela absorção e preservação de água. Por outro lado, a copa apresenta os valores mais baixos, pois representa a fração verde da planta, perdendo água mais rapidamente após o corte.
- das partes constituintes analisadas é a copa aquela que apresenta os valores mais elevados de cinza, pois é o órgão da planta responsável pela transformação dos materiais inorgânicos (nutrientes) em componentes vegetais. A raiz apresenta os valores mais divergentes, como resultado de possíveis contaminações de material inorgânico (terra, areia, pedras) nesta componente. De um modo geral, os valores mais altos de teor de cinza registam-se nas amostras do Nordeste, o que provavelmente indica uma maior riqueza de nutrientes neste local.
- os teores de carbono obtidos por análise elementar não variam ao longo da idade da planta, nem variam significativamente por componente da planta. Os valores obtidos para a espécie Criptoméria de 50,56% para o fuste, 52,04% para a copa e 49,82% para a raiz em %bs representam uma estimativa mais precisa dos teores de carbono presentes na matéria seca da planta, pelo que devem ser utilizados em futuros estudos da espécie.

Na segunda parte desta dissertação, foram estimados os *stocks* de carbono da floresta de *Cryptomeria* nos Açores por parte constituinte, por ilha, e para o arquipélago através de dados do inventário florestal dos Açores realizado no ano de 2007. Foram ainda estudadas as relações entre o sequestro de carbono e as variáveis dendrométricas inventariadas nas parcelas e determinados os valores médios de sequestro de C.

Relativamente à determinação dos valores dos *stocks* de carbono associados à floresta de

Cryptomeria dos Açores, as conclusões mais relevantes foram as seguintes:

- o fuste é a componente que apresenta os valores mais elevados de *stock* de C apresentando um valor médio de 150 t C ha^{-1} , ao qual se segue a copa ($56,4 \text{ t C ha}^{-1}$) e a raiz ($51,9 \text{ t C ha}^{-1}$). Estes valores são justificados, tendo em conta o valor percentual de biomassa de cada uma das partes constituintes face ao da biomassa total.
- o valor global de *stock* da floresta de *Cryptomeria* referente ao ano 2007 foi estimado em $2816 \pm 1594 \text{ Gg C}$ para a totalidade da área de ocupação da espécie (10894 hectares), o que representa 2% do *stock* de C da floresta portuguesa, tendo como valor de comparação o valor 120 Tg C estimado por FAO (2011). A ilha de S. Miguel apresentou o maior valor de *stock* de C no arquipélago dos Açores, com $2091 \pm 1040 \text{ Gg C}$.
- os valores médios de sequestro de cada uma das parcelas inventariadas, com base na idade média do povoamento e respetiva área, foi de $8,36 \text{ t C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, valor que traduz uma fixação de $30 \text{ t de CO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$.
- as relações obtidas entre os valores médios de sequestro de C e as variáveis dendrométricas altura total (ht), diâmetro quadrático médio (dg), volume total (vt) e ainda a variável idade permitiram concluir que o sequestro de C aumenta com o aumento destas variáveis ao longo dos primeiros estágios de desenvolvimento da planta, apresentando uma melhor correlação com vf.
- os valores elevados de taxa de sequestro na ilha de S. Miguel parecem ser justificados por 2 fatores abióticos: maior incidência de RFA e riqueza dos solos.

No sentido de melhorar os resultados obtidos no âmbito do presente estudo e de diminuir a incerteza associada aos mesmos, são sugeridas as seguintes extensões:

- aumentar o nível de conhecimento no que respeita a alguns dados de entrada associados ao cálculo dos *stocks* de carbono na floresta de *Cryptomeria japonica* dos Açores, nomeadamente dados dendrométricos referentes às componentes raiz, copa e Fatores de Expansão de Biomassa, que permitam uma estimativa mais apurada da real contribuição destas componentes no sequestro de carbono da espécie;
- avaliar o papel do solo florestal açoriano na remoção de C, e respiração dos organismos heterotróficos (R_h), o que permitirá obter um valor aproximado da Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE);

- aumentar o nível de conhecimento dos mecanismos de perda de biomassa na floresta açoriana (cortes, remoções de lenha, incêndios, etc), que permitam a determinação do balanço de carbono na floresta pela aplicação da metodologia *gain-loss*, e ainda a obtenção de dados referentes a um novo inventário florestal, mais recente, que permita a determinação da variação dos *stocks* de C para a floresta açoriana (metodologia *stock-change*);
- dado que a indústria madeireira açoriana gera uma enorme quantidade de resíduos florestais, dos quais 93% são de madeira de Criptoméria, determinar a importância dos produtos florestais gerados pela madeira desta espécie no armazenamento de carbono, aumentando assim o nível de conhecimento sobre o balanço de carbono do sector florestal açoriano;
- proceder à validação dos resultados obtidos através da aplicação de outras metodologias de cálculo de sequestro de C descritas nesta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFN (2010). *Apresentação do Relatório Final do IFN 5 Florestat*. Acedido a 23 Junho de 2011, em: <http://www.afn.minagricultura.pt/portal/ifn/relatorio-final-ifn5-florestat-1.html>.

Aires, I., Pio, C., Pereira, J. (2008). Carbon dioxide Exchange above a Mediterranean C3/C4 grassland during two climatologically contrasting years. *Global Change Biology*, 14: 539-555.

Ahrens, C. (2011) *Essentials of Meteorology: An invitation to the Atmosphere*. 519p. 6th Edition, Brooks/Cole, Belmont-California, USA.

Alados, I., Foyo-Moreno, I., Alados-Arboledas, L. (1996). Photosynthetically-active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and forest Meteorology*, 78: 121-131.

Alexandrov, G. e Yamagata, Y. (2002). Net biome production of managed forests in Japan. *Science in China (Series C)*, 45(7):1-6.

Alexandrov, G. (2007). Carbon stock growth in a forest stand: the power of age. *Carbon Balance and Management*, 2 (4): 1-5.

Andersen, H., Reutebuch, S., McGaughey, R. (2006). Active remote sensing. Em: G. Shao and K.M. Reynolds (eds) *Computer Applications in Sustainable Forest Management Chapter 3*, Springer-Verlag, Dordrecht.

Andersson, K., Evans, T., Richards, K. (2009). National forest carbon inventories: policy needs and assessment capacity. *Climatic Change*, 93: 69-101.

Amaral, A., Salas-González, R., Páscoa, F., Tomé, M., Tomé, J. e Soares, P. (2005). Aplicação do modelo de crescimento florestal 3PG a povoamentos de Eucalipto na região centro de Portugal. Em: *Actas do 5º Congresso Florestal Nacional: A floresta e as gentes*. 16-19 Maio. Instituto Politécnico, Viseu.

Arroja, L., Dias, A. Capela, I. (2006). The Role of Eucalyptus Globulus Forest and Products in Carbon Sequestration. *Climatic Change*, 74(1): 123-140

Aubinet, M., Grelle A., Ilbrom A., Rannik U., Moncrieff J., Foken T., Kowalski A., Martin P., Berbigier P., Bernhofer C., Clement R., Elbers J., Granier A., Grunwald T., Morgenstern K., Pilegaard K., Rebmann C., Snijders W., Valentini R., Vesala T. (2000). Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology, *Advances in Ecological Research*, 30: 113–175.

Auxtero, E., Madeira M., Sousa E. (2007). Capacidade de adsorção e de desorção de P em Andossolos dos Açores, Portugal. *Rev. de Ciências Agrárias*. 30(2):55-66.

- Barreiro, S. e Tomé, M. (2009). SIMPLOT: Simulating the impacts of fire severity on sustainability of eucalyptus forests in Portugal. *Ecological Indicators*, 11(1) 36-45.
- Barreto, L. (2010). Simulação do Carbono Retido no Pinhal Bravo e da sua Acreção. *Silva Lusitana*, 18(1): 47 – 58.
- Baldocchi, D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future, *Global Change Biology*, 9: 479–492
- Bauer, G., Persson, H., Persson, T., Mund, M., Hein, M., Kummetz, E., Matteucci, G., Van oene, H., Scarascia-mugnozza, G. (2000). Linking plant nutrition and ecosystem processes Em: E. Schulze (ed), *Carbon and Nitrogen cycling in European Forest Ecosystems. Ecological Studies*, 142: 63-98.
- Beauchemin, P. e Tampier, M. (2008). Emissions from wood-fired combustion equipment. *Report for Ministry of Environment, North Vancouver, British Columbia* 81p.
- Belerique, J., Correia, P., Silva, E. (2006). Contributos para a caracterização da fileira florestal da região autónoma dos Açores Em: *XIII Jornadas florestales de Gran Canaria*, Las Palmas, 27 de Novembro, 14p.
- Bown, H. (2007). *Representing nutrition of Pinus radiata in physiological hybrid productivity models*. PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, 265 p.
- Bradford, B., Kastendick, D. (2010). Age-related patterns of forest complexity and carbon storage in pine and aspen-birch ecosystems of northern Minnesota, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 401–409.
- Calado, L., Dentinho, T. e Silva, V. (2008). Estudo da Viabilidade da Floresta Face à Agro-Pecuária. Apresentação de uma Metodologia de Análise. *Silva Lusitana*, 16 (1):115-122.
- Berry, N. (2008) *Carbon modelling for afforestation and reforestation projects protocol*, Camco Group, Edinburgh Centre for Carbon Management, Edinburgh.
- Carvalhais, N., Reichstein, M., Collatz, G., Mahecha, M., Migliavacca, M., Neigh, C., Tomelleri, E., Benali, A., Papale, D., Seixas, J. (2010). Deciphering the components of regional net ecosystem fluxes following a bottom-up approach for the Iberian Peninsula, *Biogeosciences Discuss.*, 7:4801-4855.
- Chiba, Y. (1998). Simulation of CO₂ budget and ecological implications of sugi (*Cryptomeria japonica*) man-made forests in Japan. *Ecological Modelling*, 111:269–281.

Coops, N., Waring R. and Landsberg J. (1998a). The development of a physiological model (3-PGS) to predict forest productivity using satellite data. Em: G.-J. Nabuurs, T. Nuutinen, H. Bartelink and M. Korhonen (eds). *Forest Scenario Modeling for Ecosystem Management at Landscape Level*. European Forest Institute, Joensuu, Finland. 19:173–191.

Coops, N., Waring R., Landsberg J. (1998b). Assessing forest productivity in Australia and New Zealand using a physiologically- based model driven with averaged monthly weather data and satellite-derived estimates of canopy photosynthetic capacity. *Forest Ecology and Management*,104:113–127.

Correia, A. (2004). *Metodologias para quantificação do balanço de carbono nas florestas em Portugal*. Tese de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 74 p.

Correia, A., Pereira, J., Pita, G., Carneiro, M., Nogueira, C., Silva, J., Rodrigues, A., Fabião, A., Madeira, M., Banza, J. (2005). Balanço de Carbono no Eucaliptal – Comparação entre o fluxo turbulento de CO₂ e a Estimativa do Modelo CO2FIX V3.1. *Actas do 5º Congresso Florestal Nacional: A Floresta e as gentes*. 16-19 Maio. Instituto Politécnico, Viseu.

Correia, A., Mafalda E., Pedro O., João S. (2008). O sequestro de carbono em povoamentos de pinheiro bravo e pinheiro manso no sul de Portugal. *Seminário O sequestro de carbono em Florestas de Pinheiro bravo e Pinheiro manso no sul de Portugal*. 22 Janeiro, FLAD Lisboa.

D'Amato, A., Bradford, J., Fraver, S., Palik, B. (2011). Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *Forest Ecology and Management*, 262:803-816.

DNGF (2009). *Instruções para o Trabalho de Campo do Inventário Florestal Nacional IFN 2005-2006*. Lisboa, 68 p.

DGRF (2006). *Estratégia Nacional para as Florestas*. DGRF, Lisboa.

Dias, A. (2005). *Avaliação do contributo do sector florestal para as alterações climáticas*. Tese de Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento - Universidade de Aveiro. Aveiro, 277p.

Dias, E. (1989). *Flora e vegetação endémica na Ilha Terceira*. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Departamento de Ciências Agrárias - Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo, Açores, 79p.

- Dias E. (1996). *Vegetação Natural dos Açores - Ecologia e sintaxonomia das florestas naturais*. Tese de Doutoramento. Departamento de ciências agrárias - Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo, Açores, 302p.
- Dias, S., Ferreira, A., Gonçalves, A. (2008). Definição de Zonas de Aptidão para Espécies Florestais com Base em Características Edafo-Climáticas. *Silva Lusitana*, 16: 17-35.
- DRF (2008). 1º Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira – IFRAM1. Funchal, 120p.
- DRRF (2007). Inventário Florestal da Região Autónoma dos Açores. Secretaria Regional da Agricultura e Florestas – SRAF.
- DRRF (2010). *Plano de Marketing e Comercialização para a Madeira Cryptomeria Japonica dos Açores, Relatório Progresso*. Ponta Delgada, Açores.
- Dong, J., Kaufmann, R. K., Myneni, R. B., Tucker, C. J., Kauppi, P. E., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V., Hughes, M. K. (2003). Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. *Remote Sensing of Environment*, 84: 393-410.
- ECS (2004a). *CEN/TS 14774-3, Solid biofuels – Methods for determination of moisture content – oven dry method*. European Committee for Standardization, Brussels.
- ECS (2004b). *CEN/TS 14775, Solid biofuels – Methods for the determination of ash content*. European Committee for Standardization, Brussels.
- Encinas, J., Silva, G., Ticchetti, I. (2002). Variáveis Dendrométricas. *Comunicações Técnicas Florestais V4, nº1*, Brasília.
- FAO (2009). *State of the World's Forests, 2009*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 143p.
- FAO (2010). *Global Forest Resources Assessment 2010*. Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Paper 163. Rome, 340p.
- FAO (2011). *State of The World's Forests, 2011*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 164p.
- Faria, C., Belerique, J., Nobrega, C., Penacho, L., Rocheta, M., Almeida, M. (2007). Preliminary evaluation of provenance and progeny trials of *Cryptomeria japonica* populations in Azores islands. *IUFRO – Tree Biotechnology conference*, Ponta Delgada, Azores. 3 a 8 de Junho.
- Fialho, J. (2006). A Laurissilva. *Folha Viva, Jornal dos clubes da Floresta do Projecto Prosepe*. Floresta conVida, nº34, ano IX, Janeiro/Março, págs 4 e 5.

- Fontes, L., Landsberg, J., Tomé, J., Tomé, M., Pacheco, C. A., Soares, P., Araújo, C. (2006). Calibration and testing of a generalized process-based model for use in Portuguese eucalyptus plantations. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(12): 3209-3221.
- Francis, K. (2000). Estimating Biomass and Carbon content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*, 36 (3-4): 346-350.
- Friedlingstein, P., Cox, P., Betts, R., Bopp, L., Von Bloh, W., Brovkin, V., Cadule, P., Doney, S., Eby, M., Fung, I., Bala, G., John, J., Jones, C., Joos, F., Kato, T., Kawamiya, M., Knorr, W., Lindsay, K., Matthews, H., Raddats, T., Rayner, P., Reick, C., Zeng, N., (2006). Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from C4MIP Model intercomparison. *Journal of Climate*, 19(14):3337-3353.
- Fukuda, M., Iehara, T., Matsumoto, M. (2003). Carbon stock estimates for Sugi and Hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management*, 184: 1-16.
- Göckede, M., Michalak, A., Vickers, D., Turner D., Law B. (2010a). Atmospheric inverse modeling to constrain regional scale CO₂ budgets at high spatial and temporal resolution, *Journal of Geophysical Research*, 115: D15113.
- Göckede, M., Turner, D., Michalak, A., Vickers, D., Law B. (2010b). Sensitivity of a subregional scale atmospheric inverse CO₂ modeling framework to boundary conditions, *Journal of Geophysical Research*, 115: D24112.
- Goetz, S., Prince, S. (1998). Variability in carbon exchange and light utilization among boreal forest stands: implications for remote sensing of net primary production. *Canadian Journal of Remote Forest Research*, 28: 375-389.
- Gourdji, S., Hirsch, A., Mueller, K., Yadav, V., Andrews, A., Michalak, A. (2010). Regional-scale geostatistical inverse modeling of North American CO₂ fluxes: a synthetic data study, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 6151-6167.
- Gower, S., Vogel, J., Norman, J., Kucharik, C., Steele, S., Stow, T. (1997). Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 102 (D24): 29,029-29,041.
- Hosoda, K. (1998). Growth performance of Sugi plantation at various snow zones – a case study in Rokuman mount experimental site. *Report of the FFPRI Kansai Office No. 40* (Citado por: Sasaki e Kim, 2008).

Hosoda, K. (1999). Growth performance of Sugi plantation in Sanin region – a case study at Shinotani Mount experimental site. *Report of the FFPRI Kansai Office No. 41* (Citado por: Sasaki e Kim, 2008).

IPCC (2000). Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Technical Support Unit, Hayama.

IPCC (2001a). Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguera M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York, 881 p.

IPCC (2003). Good Practice guidance for land-use, land-use change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, Technical Support Unit, Hayama.

IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC (2007a). Climate Change 2007: *The physical Science Basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S., Qin D., Maunig M., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller, H., Chen Z. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC (2007b). Climate Change 2007: *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B., Davidson O, Bosch P., Dave R., Meyer D. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC (2010). Acedido a 12 de Março de 2010 em: www.ipcc-nggip.iges.or.jp.html.

Ito, S., Nakagawa, M., Buckley, G., Nogami, K. (2003). Species richness in sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in southeastern Kyushu, Japan: the effects of stand type and age on understory trees and shrubs. *Journal of Forest Research*, 8:49–57.

IUFRO (2005). The Role of Forests in Carbon Cycles, Sequestration, and Storage *Issue 3: The Economics of Carbon Sequestration in Forests*. Obersteiner, M., Benitez, P., McCallum, I., Lexer, M., Nilsson, S., Schlamadinger, B., Sohngen, B., Yamagata, Y. (eds.), Mariabrunn, Vienna, Austria.

Karizumi, N. (1977). Root biomass. In: Shidei, T., Kira, T. (eds.), *Primary Productivity of Japanese Forests: Productivity of Terrestrial Communities*, JIBP Synthesis, University of Tokyo Press, Tokyo, 45-52p.

- Karjalainen, T., Pussien, A., Liski, J., Nabuurs, G. J., Edgers, T., Lapveteläinen, T., Kaipainen, T. (2003). Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget. *Forest Policy and Economics*, 5: 141-155.
- Kimmins, J., Comeau, P., Kurz, W. (1990). Modelling the interactions between moisture and nutrients in the control of forest growth. *Forest Ecology and Management*, 30:361-379.
- Körner, C. (2003). Slow in, rapid out – carbon flux studies and Kyoto targets. *Science*, 300(5623):1242-1243.
- Landsberg, J. (1986). *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 198 p.
- Landsberg, J. (2003). Modelling forest ecosystems: state of the art, challenges, and future directions. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 385-397.
- Liski, J., Perruchoud, D., Karjalainen, T. (2002). Increasing carbon stocks in the forest soils of Western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169:159-175.
- Lopes, D., Aranha, J., (2006). Avaliação do conteúdo de carbono na matéria seca de diferentes componentes de árvores de *Eucalyptus Globulus* e de *Pinus Pinaster*. *Silva Lusitana*, 14(2): 149 – 154.
- Lopes, D. (2005). *Estimating Net Primary Production in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster Ecosystems in Portugal*. Doctor Thesis, Kingston University and Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 291p.
- Lopes, D., Nunes, L., Rodrigues, A., Gomes, C., Pereira, M., Teixeira, A., Fernandes, C., Brito, C. (2009). Simulação de impactos das alterações climáticas na produção primária líquida de povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo no Norte de Portugal. In: A floresta num mundo globalizado. *Actas do 6º Congresso Florestal Nacional*, 108-115p, Ponta Delgada, Açores, Portugal.
- Lopes, M. (2004). *Alterações Climáticas: avaliação económica no apoio à decisão política*. Tese de Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento – Universidade de Aveiro. Aveiro, 217p.
- Machado, S., Figueiredo, A. (2003). *Dendrometria*. Curitiba, Brasil, 309p.
- Madeira, V., Fabião, A., Pereira, J., Araújo, C., Ribeiro, C. (2002). Changes in carbon stocks *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology and Management*, 171 (1-2): 78-85.

- Mahecha, M., Reichstein, M., Jung, M., Seneviratne, S., Zaehle, S., Beer, C., Braakhekke, M., Carvalhais, N., Lange, H., Maire, G., Moors, E. (2010). Comparing observations and process-based simulations of biosphere-atmosphere exchanges on multiple timescales. *Journal of Geophysical Research*, 115: No G2.
- Mäkelä, A., Hari, P. (1986). *Stand growth model based on carbon uptake and allocation in individual trees. Ecological Modelling*, 33:205-229.
- Mateus, J., Pita, G., Rodrigues, A. (2006). Evolução Sazonal dos Regimes de Evapotranspiração e da Assimilação do Carbono numa plantação de *Eucalyptus globulus*. *Silva Lusitana*, 14 (2): 135-147.
- Matsumura, N., Kotani, H., Tsuduki, N. (1999). *Analysis of the Impacts of Thinning on Old-Aged Sugi and Hinoki Plantations – Case Studies at Nichino Kawa Mount Growth Experimental Site. Report of the FFPRI Shikoku Office*, 33 – 36 (Citado por: Sasaki e Kim, 2008).
- MCPFE (2003). State of Europe's Forests 2003. The MCPFE Report on Sustainable Forest Management in Europe. MCPFE Liaison Unit Vienna and UNECE/FAO, Vienna, Austria 114 p.
- Mohren, G., Van Gerwen, C., Spitters, C. (1984). Simulation of primary production in even-aged stands of Douglas fir. *Forest Ecology and Management*, 9:27-49.
- Moiteiro, C., Feio, S., Rojas, R., Bragança, H. (2008). Antimicrobial activity of azorean cryptomeria japonica essential oils. *Revista Portuguesa de Farmácia, vol.LII, nº 3 (suplemento), P-027, p. 75, 1º Encontro Nacional de Química Terapêutica, Porto 13-15 Novembro 2008.*
- Molin, P. (2010). *Estimation of vegetation carbon stock in Portugal using land use / land cover data*, MSc in Geospatial Technologies, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Institute for Geoinformatics - University of Münster, Universitat Jaume.
- Monteiro, G., Dias, E. (2009). Contributo para a conservação da espécie *Azorina vidalii* (Wats.) Feer. In: 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo-Verde, 6 a 11 de Julho 2009, Cidade da Praia, Cabo-Verde.
- Murdiyarto, D., Skutsch, M., Guariguata, M., Kanninen, M., Luttrell, C., Verweij, P., Stella, O. (2008). Measuring and monitoring forest degradation for REDD. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia, 6p.
- Nabuurs, G., Schelhaas, M. (2002). Spatial distribution of whole-tree carbon stocks and fluxes across the forests of Europe: where are the options for bio-energy?, *Biomass and Energy*, 24: 311-320.

- Nunes, L., Lopes, D. (2009, Novembro). Quantificação do carbono fixado em povoamentos mistos no norte de Portugal. *Millenium on-line, Revista do ISPV n°37*. Acedido a 12 de Abril de 2011, em: <http://www.ipv.pt/millenium/Millenium37>.
- Ohashi, M., Gyokusen, K., Saito, A. (2000). Contribution of root respiration to total soil respiration in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) artificial forest. *Ecological Research*, 15: 323–333.
- Paul, K., Polglase, P., Richards, G. (2003). Predicted change in soil carbon following afforestation or reforestation, and analysis of controlling factors by linking a C accounting model (CAMFor) to models of forest growth (3-PG), litter decomposition (GENDEC) and soil C turnover (RothC). *Forest Ecology and Management*, 177(1-3):485-501.
- Pereira, D. (2009). *Modelação em SIG dos ótimos ecológicos no desenvolvimento de Cryptomeria japonica nos Açores*. Tese de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 142p.
- Pereira, J. S., Pita, G., Silva, J., Fabião, A., Carneiro, M., Nogueira, C., Rodrigues, A., Madeira, M., Ribeiro E. (2003). Full carbon balance in an eucalypt plantation in Portugal. In: *Symposium The Carbon Balance of Forest Biomes*, Society of Experimental Biology/ British Ecology Society, Southampton.
- Pereira, J., Correia, A., Pita, G., Carneiro, M., Nogueira, C., Silva, J., Rodrigues A., Fabião, A., Madeira, M., Banza, J., (2007). Balanço de Carbono no Eucaliptal- Comparação entre o Fluxo Turbulento de CO₂ e a Estimativa do Modelo CO₂FIX V3.1, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Pereira, T., Seabra T., Maciel H., Torres P. (2011). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2009, Submitted under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, Agência Portuguesa do Ambiente Lisboa, 15 Abril 2011.
- PNAC, I.A. (2002). Plano Nacional para as alterações climáticas. Síntese - Cenários e esforço de Redução. Instituto do Ambiente, Lisboa, 24p.
- Ponte, N., Lourenço P., Pacheco J., Silva, L., Medeiros, V. e Aranha J. (2011). Avaliação da quantidade de biomassa em povoamentos florestais de *Cryptomeria japonica* e *Pittosporum undulatum* nos Açores. V Jornadas Insulares da Macaronésia.
- Portaria n° 114/2006 de 15 de Setembro. *Diário da República n° 179 – I Série*. Presidência do Concelho de Ministros. Lisboa.
- Purves, D., Pacala, S. (2008). Predictive Models of forest Dynamics. *Science* 320, 1452-1453.

- Rautiainen, A., Saikku, L., Kauppi, P. (2009). Carbon gains and recovery from degradation of forest biomass in European Union during 1990–2005. *Forest Ecology Management*, 259(7): 1232-1238.
- Raven, J., Karley, A. (2006). Carbon sequestration: Photosynthesis and Subsequent Processes, *Current Biology*, 16(5):165-167.
- Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H., Alcamo, J., Barker, T., Kammen, D., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Elasha, B., Stern, N., Waever, O. (2009). Synthesis Report from Climate Change Global Risks, Challenges, & Decisions. University of Copenhagen. Copenhagen.
- Ritson, P., Sochaki, S., (2003). Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, south-western Australia. *Forest Ecology and Management*, 175: 103-117.
- Rödenbeck, C., Houweling, S., Gloor, M. e Heimann, M. (2003). CO₂ flux history 1982-2001 inferred from atmospheric data using a global inversion of atmospheric transport. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3:1919 – 1964.
- Rodrigues, A., Pita, G. e Mateus, J. (2005). Fluxos Turbulentos de Dióxido de Carbono e Vapor de Água em Floresta de Eucalipto em Portugal. *Silva Lusitana*, 13(2):169-180.
- Rodrigues, A., Pita, G., Mateus J., Kurz-Besson, C., Casquilho, M., Cerasoli, S., Gomes, A., Pereira J. (2010). Eight years of continuous carbon fluxes measurements in a Portuguese eucalypt stand under two main events: Drought and felling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151:493-507.
- Rodrigues, M., Madruga, J., Azecedo, E. (2004). O Ordenamento Florestal dos Açores – Desenvolvimento Radicular de espécies Florestais Introduzidas: Influência da tipologia dos solos e das condições microclimáticas, *Actas do congresso de La palma, 1 de Julho de 2004*.
- Running, S., Coughlan, J. (1988). A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modelling*, 42:125-154.
- Ryan, M., Binkley, D., Fownes, J. (1997). Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research*, 27:213–262.
- Sasaki, N., Kim, S. (2008). Biomass Carbon Sinks in Japanese Forests: 1966-2012. *Forestry (2009)*, 82 (1): 105-115.
- Silva, J. (2007). Açores e Madeira: A floresta das ilhas. Coleção Árvores e florestas de Portugal, 1ª Edição, Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa 6: 362p.

Silva, M. (2009). Análise do balanço entre sequestro e emissão de CO₂ resultante do circuito de produção e consumo de biomassa florestal numa central de co-geração. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Soares, P., Tomé, M., Skovsgaard, J. P., Vanclay, J. (1995). Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 71: 251-265.

SRAM (2007). Desafios do Protocolo de Quioto na Região Autónoma dos Açores – Diagnóstico e Perspetivas. Ponta Delgada, 176p.

Takeuchi, I. (2005). The growth of diameters and stand stem volumes in old man-made Sugi (*Cryptomeria japonica*) stands. *Journal of the Japanese Forest Society*, 87: 394-401 (Citado por: Sasaki e Kim, 2008).

TCG (2009). Measuring and Monitoring Terrestrial Carbon – *The state of the Science and implications for the Policy Makers*, Terrestrial Carbon Group, H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Washington D.C., USA.

Thies, M., Weinacker, H., Weinacker, R., Pfeifer, N. (2006). *Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry*, Vienn, 14th-15th February 2006, 7p.

Tickle, P., Coops, N., Hafner, S. (2001). Assessing forest productivity at local scales across a native eucalypt forest using a process model, 3PG-SPATIAL. *Forest Ecology and Management*, 152(1-3):275-291.

UNDP (2009). Forest Carbon Accounting: Overview and Principles. UNDP-UNEP CDM Capacity Development Project for Eastern & Southern Africa. Addis Ababa, Ethiopia.

UNECE/FAO (2000). Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries), UN-ECE/FAO contribution to the global forest resources assessment 2000. *Geneva Timber and Forest Study Papers No 17*, New York and Geneva, 445p.

UNFCCC (2003). Estimation, reporting and accounting of harvested wood products - technical paper. FCCC/TP/2003/7, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 44 p.

UNFCCC (2004). Good practice guidance and other issues relating to land use, land-use change and forestry. FCCC/SBSTA/2004/L.26, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, 2 p.

UNFCCC (2008). Kyoto Protocol Reference Manual: On Accounting of Emissions and Assigned Amount. United Nations Framework Convention on Climate Change, 130p.

URL01: <http://www.e-education.psu.edu/meteo469/node/160>

URL02: <http://www.sbcouncil.org/forest-carbon/?catName=forest-carbon>

URL03: http://www.ecoprogresso.pt/negocio_consultoria_cele_Sobre_o_cele.asp

URL04: <http://www.forestmodels.com>

URL05: <http://earth.google.com/intl/pt/>

URL06: <http://sig.sram.azores.gov.pt/SRAM/site/SRIA>

URL07: http://www.intersemillas.es/catalogo_detalle_especie.php?tipo=6&id=8

URL08: <http://tree-roots-guides.blogspot.com/2011/04/tree-roots-anchor.html>

Vose, J., W. Swank (1990). A conceptual model of forest growth emphasizing stand leaf area. Pages 278-287 *In: Process modeling of forest growth responses to environmental stress*. R.K. Dixon, R.S. Meldahl, G.A. Ruark and W.G. Warren (eds.). Timber Press, Portland, Oregon.

Vonesh, E., Carter, R. (1992). Mixed-effects nonlinear regression for unbalanced repeated measures. *Biometrics*, 48(1): 1-17.

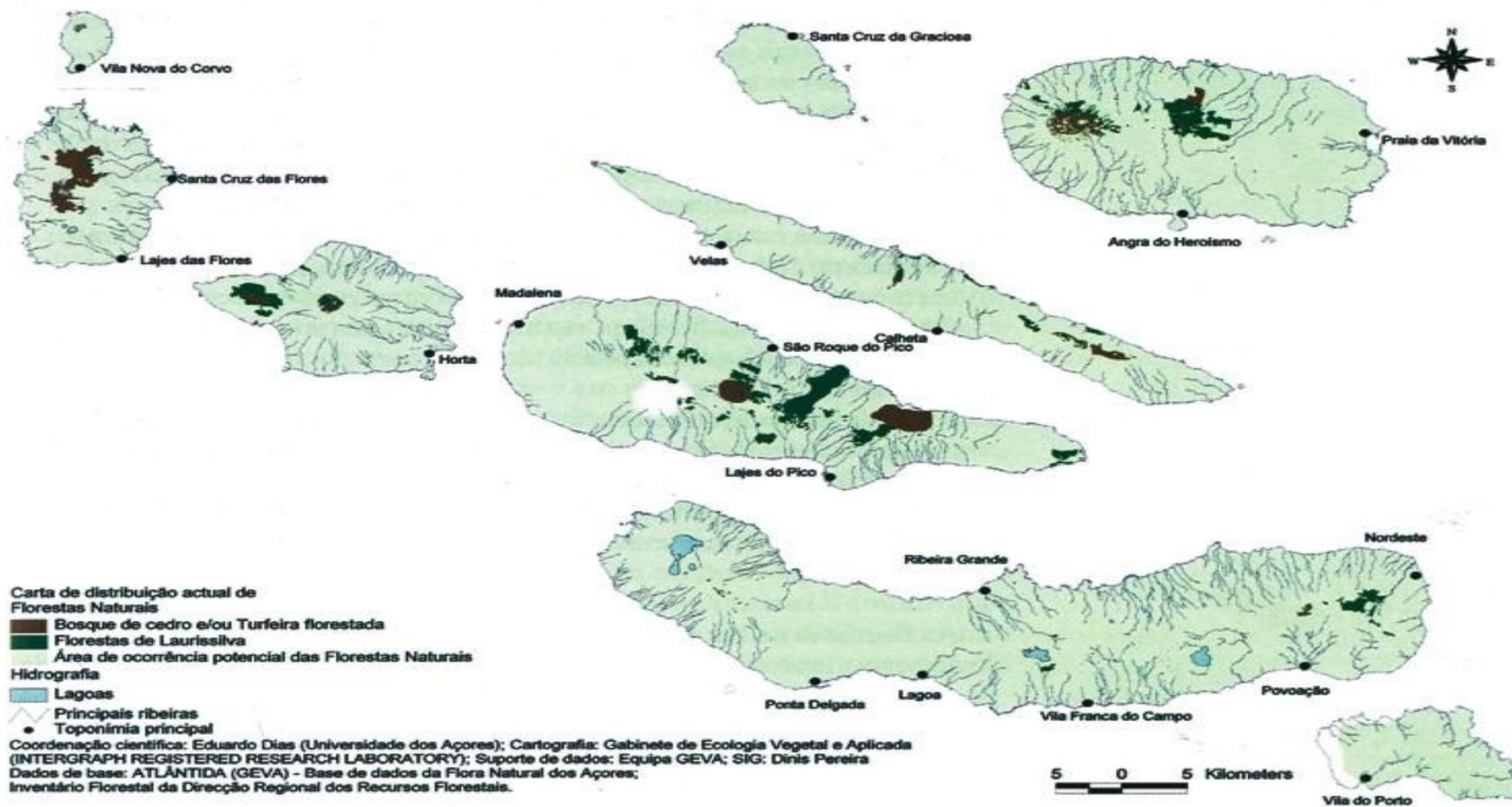
Yanagihara, H., Yoshimoto, A. (2005). Statistical procedure for assessing the amount of carbon sequestered by sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation. In: *Multipurpose inventory for the aged artificial forest*. Nobori, Y., Takahashi, N., Yoshitomo, A. (eds). *Japan Society of Forest Planning Press*, Utsunomiya, 125–140p.

Yashiro, Y., Lee, Y., Ohtsuka T., Shizu, Y., Saitoh, T., Koizumi, H. (2010). Biometric – based estimation of the net ecosystem production in a mature japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation beneath a flux tower. *Journal of Plant Research*, 123: 463-472.

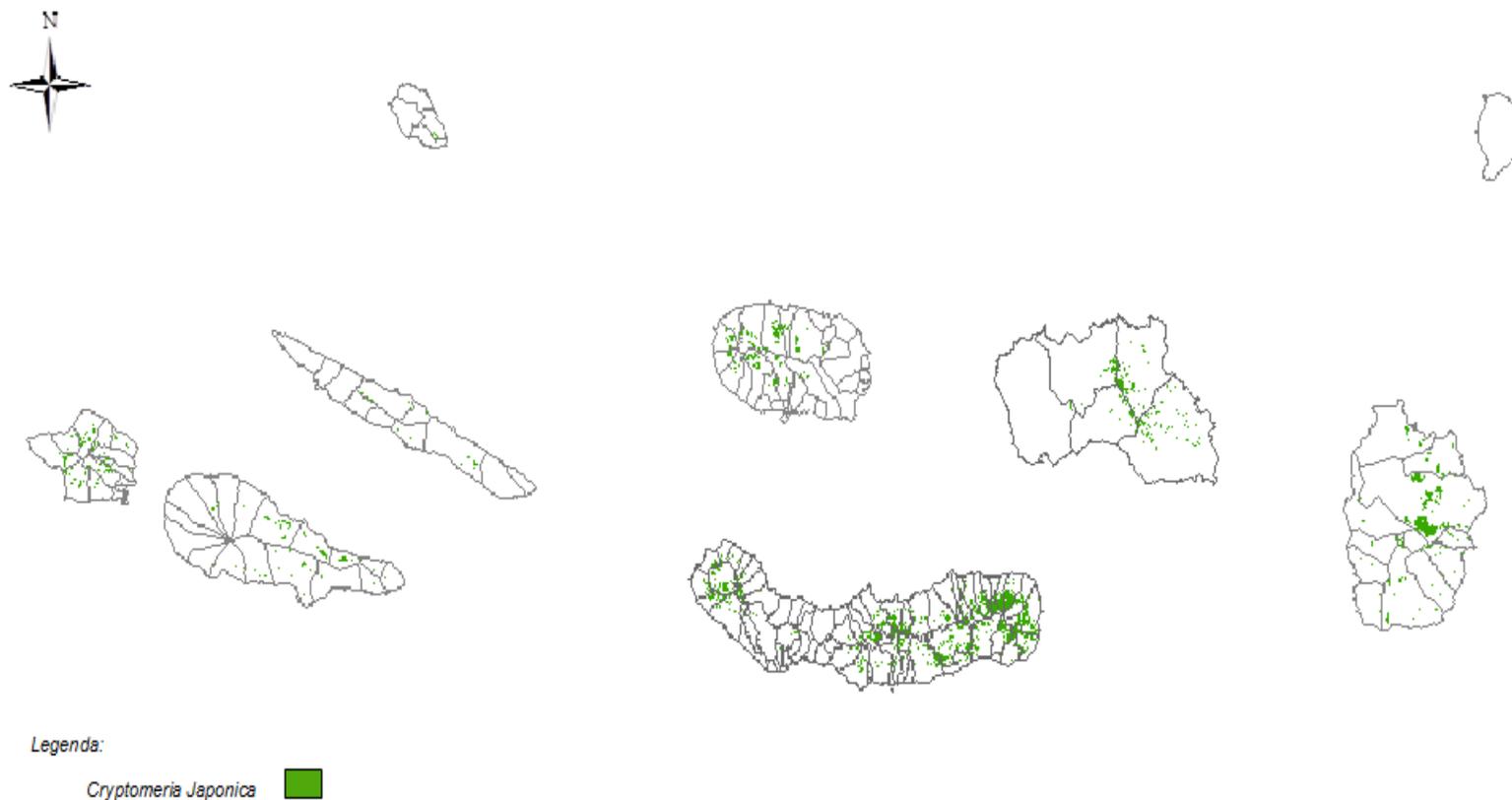
Anexos

Anexo A – Mapas e Tabelas da Floresta Açoriana

A1 – Carta de distribuição atual de Florestas Naturais do arquipélago Açoriano (Silva, 2007).



A2 – Carta de distribuição atual de povoaamentos de produção de *Cryptomeria japonica*.



**Anexo B – Metodologia para determinação das densidades verde e seca da espécie
*Cryptomeria***



Figura 36 – Exemplo de material grosseiro retirado para determinação das densidades verde e seca da *Cryptomeria japonica* (Ponte et al., 2011).



Figura 37 - Determinação do volume “verde” da *Cryptomeria japonica* por Imersão (Ponte et al., 2011).

Anexo C – Parcelas de Inventário


Região Autónoma dos Açores
Secretaria Regional da Agricultura e Pescas
 Direcção Regional dos Recursos Florestais

INVENTÁRIO FLORESTAL DA REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES
 2ª Fase - Amostragem de povoamentos
 (Ficha de Campo)

LOCALIZAÇÃO DA PARCELA

Parcela n.º Área da parcela (ha) Ilha
 Coord X Estrato Concelho
 Coord Y Data de medição Freguesia
 Carta Militar Local

CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

Exposição Altitude Declive (%) Sit. Fisiográfica

CARACTERIZAÇÃO FUNDIÁRIA

Regime de Propriedade Acessibilidade

Figura 38 – Ficha de campo da parcela 4_AH do Inventário Florestal da região autónoma dos Açores.

CÁLCULO DAS VARIÁVEIS POR CLASSE DE DAP										
Classe de dap	Freq.	dg (cm)	d base (cm)	Idade	HT (m)	H bcopa (m)	E (mm)	L (mm)	Vol (m ³)	Vol_classe (m ³)
7,5-12,4	0									0,000
12,5-17,4	15	15,7	22,9	38	14,5	9,2	2,0	5,7	0,135	2,018
17,5-22,4	15	20,3	34,9	40	15,1	11,0	2,3	11,3	0,223	3,349
22,5-27,4	6	23,6	36,3	46	14,9	8,7	4,5	12,0	0,291	1,745
27,5-32,4	1	28,6	36,5	41	16,6	10,4	3,0	14,0	0,460	0,460
32,5-37,4	0									0,000
37,5-42,4	0									0,000
42,5-47,4	0									0,000
47,5-52,4	0									0,000
52,5-57,4	0									0,000
57,5-62,4	0									0,000
62,5-67,4	0									0,000
> 67,4	0									0,000
Totais	37	19,5	30,3	40	14,9	9,9	3	9	0,205	7,571

QUADRO RESUMO										
Parcela	Estrato	Idade (anos)	N (are./ha)	dg (cm)	HT (m)	Vol (m ³ /ha)	AMA (m ³ /ha.ano)	G (m ² /ha)	Hdom (m)	Hbcopa (m)
4_AH	CC4	40	1850	19,5	14,9	379	9,42	55,11	16,5	9,9

Figura 39 – Parcela 4_AH do Inventário Florestal da região autónoma dos Açores.

Anexo D – Resultados Experimentais

D1 - Determinação do Teor de Humidade a 105°C

Tabela 17 - Resultados experimentais da determinação do Teor de Humidade a 105°C das amostras de *Cryptomeria japonica* (ilha Terceira).

Amostras	mt [g]	m ₂ [g]	m _{3,1} [g]	m _{3,2} [g]	m _{3,3} [g bs]	H ₁₀₅ [%btq]	Média [%btq]
A11	44,2425	45,2477	44,6468	44,6427	44,6410	60,36	
A12	41,0783	42,1025	41,5022	41,5003	41,4971	59,11	59,56
A13	39,5004	40,5093	39,9190	39,9149	39,9118	59,22	
A21	44,2441	45,2479	44,5680	44,5675	44,5670	67,83	
A22	41,0794	42,1001	44,4120	44,4114	44,4110	67,41	67,70
A23	39,5004	40,5630	39,8451	39,8440	39,8420	67,85	
A31	44,2437	45,2612	44,5313	44,5231	44,5220	72,65	
A32	39,5010	40,5336	39,7833	39,7830	39,7826	72,73	72,34
A33	41,0792	42,0961	41,3684	41,3680	41,3677	71,63	
B11	39,8733	40,8980	40,3571	40,3503	40,3487	53,61	
B12	34,6192	35,6707	35,1214	35,1164	35,1124	53,10	53,53
B13	34,6889	35,7190	35,1716	35,1647	35,1639	53,89	
B21	40,0753	41,1439	40,5680	40,5667	40,5648	54,19	
B22	34,6196	35,6305	35,0872	35,0819	35,0816	54,30	54,01
B23	39,8725	40,8786	40,3402	40,3400	40,3394	53,53	
B31	40,0754	41,0997	40,3810	40,3801	40,3798	70,28	
B32	34,6207	35,7012	34,9490	34,9488	34,9464	69,86	69,81
B33	39,8737	40,9424	40,2040	40,2029	40,2020	69,28	
C11	37,5527	38,5920	38,0428	34,0380	38,0353	53,56	
C12	43,3346	44,4040	43,8359	43,8310	43,8284	53,82	53,82
C13	35,0377	36,0720	35,5198	35,5158	35,5127	54,08	
C21	33,4412	34,4464	33,7710	33,7704	33,7699	67,30	
C22	43,3346	44,3453	43,7107	43,7025	43,7020	63,65	65,27
C23	35,0379	36,0826	35,4091	35,4055	35,4051	64,85	
C31	33,4408	34,4497	33,8890	33,8879	33,8878	55,69	
C32	43,3329	44,3781	43,8032	43,8033	43,8030	55,02	54,42
C33	35,0378	36,0952	35,5400	35,5396	35,5397	52,53	
D11	33,4406	34,4973	33,8929	33,8898	33,8864	57,81	
D12	39,2783	40,3074	39,7182	39,7114	39,7109	57,96	57,65
D13	40,1655	41,1691	40,5999	40,5962	40,5952	57,18	

D21	40,1662	41,2638	40,8950	40,8949	40,8942	33,60	
D22	39,2772	40,3093	39,9550	39,9531	39,9524	34,51	33,86*
D23	42,4850	43,4873	43,1529	43,1520	43,1515	33,45	
D31	37,5486	38,5646	37,9133	37,9125	37,9120	64,23	
D32	40,0730	41,1359	40,4705	40,4699	40,4695	62,70	64,01
D33	39,8724	40,9034	40,2322	40,2321	40,2320	65,11	
E11	39,7316	40,7867	40,2100	40,2067	40,2057	55,07	
E12	40,0743	41,1074	40,5398	40,5360	40,5327	55,63	55,44
E13	42,4834	43,5054	42,9437	42,9384	42,9370	55,62	
E21	39,7338	40,8026	40,1923	40,1867	40,1866	57,63	
E22	37,5535	38,5749	37,9946	37,9939	37,9927	57,00	57,29
E23	34,6893	35,7100	35,1312	35,1265	35,1258	57,24	
E31	44,2406	45,3042	44,6104	44,6071	44,6070	65,55	
E32	39,4994	40,5978	39,8798	39,8787	39,8772	65,60	65,85
E33	34,6168	35,6434	34,9643	34,9634	34,9619	66,38	

*Valor não considerado no cálculo humidade média dos fustes, por ser muito baixo quando comparado com os restantes

D2 - Determinação do Teor de Cinzas

Tabela 18- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de *Cryptomeria japonica* (ilha Terceira).

Amostras	m _c [g]	m _{3,3} [g bs]	m _{4,1} [g bs]	m _{4,2} [g bs]	A _d [%bs]	Média [%bs]
A11	44,2425	44,6410	44,2519	44,2518	2,33	
A12	41,0783	41,4971	41,0879	41,0877	2,24	2,23
A13	39,5004	39,9118	39,5092	39,5091	2,11	
A21	44,2441	44,5670	44,2451	44,2451	0,31	
A22	41,0794	41,4120	41,0801	41,0802	0,24	0,30
A23	39,5004	39,8420	39,5015	39,5016	0,35	
A31	44,2437	44,5220	44,2526	44,2524	3,13	
A32	39,5010	39,7826	39,5106	39,5104	3,34	3,36
A33	41,0792	41,3677	41,0895	41,0896	3,60	
B11	39,8733	40,3477	39,8886	39,8885	3,20	
B12	34,6192	35,1124	34,6343	34,6342	3,04	2,97
B13	34,6889	35,1639	34,7014	34,7015	2,65	
B21	40,0753	40,5648	40,0766	40,0764	0,22	
B22	34,6196	35,1128	34,6209	34,6209	0,26	0,24
B23	39,8725	40,3400	39,8738	39,8736	0,24	

B31	40,0754	40,3798	40,0835	40,0833	2,60	
B32	34,6207	34,9464	34,6274	34,6273	2,03	2,46
B33	39,8737	40,2020	39,8828	39,8829	2,80	
C11	37,5527	38,0353	37,5633	37,5631	2,15	
C12	43,3346	43,8274	43,3487	43,3488	2,88	2,69
C13	35,0377	35,5127	35,0521	35,0521	3,03	
C21	33,4412	33,7699	33,4419	33,4420	0,24	
C22	43,3346	43,7020	43,3361	43,3361	0,41	0,31
C23	35,0379	35,4051	35,0390	35,0389	0,27	
C31	33,4408	33,8878	33,4418	33,4416	0,18	
C32	43,3329	43,8030	43,3338	43,3339	0,21	0,22
C33	35,0378	35,5397	35,0391	35,0391	0,26	
D11	33,4406	33,8864	33,4638	33,4639	5,23	
D12	39,2783	39,7109	39,2965	39,2966	4,23	4,77
D13	40,1655	40,5952	40,1865	40,1864	4,86	
D21	40,1662	40,8950	40,1703	40,1703	0,56	
D22	39,2772	39,9531	39,2799	39,2798	0,38	0,51
D23	42,4850	43,1520	42,4887	42,4888	0,57	
D31	37,5486	37,9120	37,5508	37,5507	0,58	
D32	40,0730	40,4695	40,0755	40,0754	0,61	0,59
D33	39,8724	40,2321	39,8746	39,8745	0,58	
E11	39,7316	40,2057	39,7606	39,7606	6,12	
E12	40,0743	40,5327	40,1016	40,1014	5,91	5,66
E13	42,4834	42,9370	42,5057	42,5059	4,96	
E21	39,7338	40,1866	39,7361	39,7360	0,49	
E22	37,5535	37,9927	37,5579	37,5578	0,98	0,73
E23	34,6893	35,1265	34,6924	34,6925	0,73	
E31	44,2406	44,6070	44,2519	44,2520	3,11	
E32	39,4994	39,8772	39,5087	39,5085	2,41	2,98
E33	34,6168	34,9619	34,6288	34,6286	3,42	

Tabela 19- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de *Cryptomeria japonica* (Nordeste – ilha de S. Miguel).

Amostras	m_c [g]	m₃ [g bs]	m_{4,1} [g bs]	m_{4,2} [g bs]	A_d [%bs]	Média [%bs]
A11	35,0366	35,9440	35,0707	35,0706	3,75	
A12	42,4829	43,4458	42,5179	42,5177	3,61	3,69

A13	39,4980	40,4200	39,5321	39,5322	3,71	
A21	37,5513	38,4606	37,5624	37,5622	1,20	
A22	34,6882	35,6133	34,6974	34,6975	1,01	1,06
A23	33,4409	34,3937	33,4500	33,4501	0,97	
A31	42,4853	43,4200	42,5161	42,5159	3,27	
A32	40,1669	41,0997	40,2021	40,2022	3,78	3,93
A33	43,3354	44,2587	43,3791	43,3792	4,74	
B11	40,1635	41,0871	40,2018	40,2018	4,15	
B12	43,3333	44,2734	43,3707	43,3705	3,96	4,03
B13	41,0763	42,0098	41,1135	41,1134	3,97	
B21	40,0730	40,9292	40,0954	40,0952	2,59	
B22	39,2743	40,1440	39,2975	39,2973	2,64	2,60
B23	39,7315	40,5979	39,7538	39,7538	2,57	
B31	39,8743	40,7978	39,8999	39,8998	2,76	
B32	41,0787	41,9860	41,0988	41,0989	2,23	2,43
B33	34,6200	35,5440	34,6412	34,6413	2,31	
C11	34,6183	35,5225	34,6708	34,6707	5,80	
C12	44,2412	45,1499	44,2918	44,2916	5,55	5,63
C13	33,4397	34,3919	33,4927	33,4924	5,53	
C21	39,5012	40,4181	39,5137	39,5138	1,37	
C22	41,0781	41,9970	41,0894	41,0895	1,24	1,25
C23	42,4858	43,4120	42,4964	42,4962	1,12	
C31	39,7373	40,7115	39,7523	39,7522	1,53	
C32	34,6239	35,5629	34,6380	34,6380	1,50	1,54
C33	33,4443	34,3836	33,4590	33,4591	1,58	
D11	39,7320	40,2038	39,7572	39,7570	5,30	
D12	40,0741	40,5585	40,0995	40,0993	5,20	5,22
D13	39,8717	40,3439	39,8962	39,8961	5,27	
D21	34,6201	35,0028	34,6248	34,6246	1,18	
D22	43,3357	43,7329	43,3403	43,3402	1,13	1,09
D23	35,0388	35,4397	35,0425	35,0426	0,95	
D31	34,6901	35,2731	34,6940	34,6940	0,67	
D32	39,7337	40,3181	39,7378	39,7377	0,68	0,69
D33	33,4412	34,0042	33,4455	33,4452	0,71	
E11	39,2741	39,7361	39,3023	39,3022	6,08	
E12	37,5509	38,0062	37,5787	37,5785	6,06	6,01
E13	34,6880	35,1646	34,6173	34,7160	5,87	
E21	40,1677	40,5823	40,1688	40,1689	0,29	

E22	39,2772	39,6917	39,2779	39,2779	0,17	0,25
E23	39,8738	40,2818	39,8751	39,8750	0,29	
E31	35,0405	36,0585	35,0446	35,0443	0,37	
E32	42,4888	43,4528	42,4941	42,4943	0,57	0,44
E33	34,6924	35,6624	34,6962	34,6961	0,38	

Tabela 20- Resultados experimentais da determinação do teor de cinzas das amostras de *Cryptomeria japonica* (Ponta Delgada).

Amostras	m_c [g]	m₃ [g bs]	m_{4.1} [g bs]	m_{4.2} [g bs]	A_d [%bs]	Média [%bs]
A11	39,5002	40,4391	39,5404	39,5405	4,29	
A12	33,4421	34,3631	33,4826	33,4826	4,40	4,26
A13	39,2776	40,2766	39,3184	39,3185	4,09	
A21	40,0773	41,0787	40,0810	40,0809	0,36	
A22	43,1876	44,1477	43,1904	43,1904	0,29	0,32
A23	39,8750	40,8785	39,8780	39,8781	0,31	
A31	43,1890	44,1532	43,1956	43,1956	0,68	
A32	35,0403	36,0320	35,0471	35,0472	0,70	0,67
A33	33,4434	34,4170	33,4498	33,4496	0,64	
B11	37,5532	38,5302	37,5958	37,5956	4,34	
B12	34,6896	35,6505	34,7318	34,7317	4,38	4,35
B13	35,0383	36,0244	35,0812	35,0811	4,34	
B21	34,6218	35,5701	34,6268	34,6267	0,52	
B22	42,4860	43,4585	42,4901	42,4901	0,42	0,51
B23	39,7357	40,6874	39,7413	39,7414	0,60	
B31	34,6237	35,5817	34,6295	34,6293	0,58	
B32	39,5025	40,4235	39,5067	39,5068	0,47	0,54
B33	40,1687	41,1120	40,1742	40,1740	0,56	
C11	43,3354	44,2555	43,3787	43,3788	4,72	
C12	40,1669	41,1070	40,2119	40,2117	4,77	4,90
C13	39,8747	40,8160	39,9240	39,9239	5,23	
C21	41,0801	42,0663	41,0839	41,0836	0,35	
C22	40,1680	41,1646	40,1720	40,1720	0,40	0,36
C23	43,1878	44,1383	43,1909	43,1909	0,33	
C31	40,0787	41,0894	40,0838	40,0838	0,50	
C32	42,4876	43,4249	42,4921	42,4922	0,49	0,49
C33	39,2785	40,2597	39,2835	39,2833	0,49	

D11	41,0794	41,9800	40,1307	40,1305	5,67	
D12	39,7351	40,6425	39,7888	39,7885	5,88	5,69
D13	40,0761	41,0040	40,1270	40,1271	5,50	
D21	35,0384	36,0323	35,0439	35,0437	0,53	
D22	39,4999	40,4272	39,5042	39,5040	0,44	0,51
D23	33,4415	34,3854	33,4466	33,4467	0,55	
D31	34,6910	35,6522	34,6947	34,6946	0,37	
D32	37,5537	38,5071	37,5577	37,5578	0,43	0,40
D33	43,3365	44,3023	43,3402	43,3402	0,38	
E11	34,6212	35,5451	34,6611	34,6610	4,31	
E12	43,1880	44,1373	43,2302	43,2303	4,46	4,30
E13	42,4870	43,3900	42,5246	42,5243	4,13	
E21	41,0787	42,0048	41,0857	41,0855	0,73	
E22	34,6222	35,5958	34,6304	34,6305	0,85	0,75
E23	39,7361	40,7289	39,7427	39,7426	0,65	
E31	39,8754	40,8224	39,8802	39,8801	0,50	
E32	40,0779	41,0469	40,0834	40,0833	0,56	0,52
E33	42,4873	43,4278	42,4923	42,4922	0,52	
