

Avaliação do armazenamento de carbono em jovens povoamentos florestais: efeito da técnica de preparação do terreno

Maria Isabel Miranda Gonçalves

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Gestão de Recursos
Florestais*

Orientado por
Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

**Bragança
Dezembro de 2012**

À Inês com muito amor...

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que me ajudaram e apoiaram na concretização deste trabalho.

À minha orientadora, Professora Doutora Felícia Fonseca, pelo seu empenho e ajuda no trabalho de campo e de laboratório, pelas sugestões e motivação nas horas mais difíceis, que tanto contribuíram para a concretização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Tomás de Figueiredo pelo seu apoio no trabalho de campo e no tratamento dos dados estatísticos.

Ao Engenheiro Arsénio Araújo e à colega de mestrado, Anabela Queirós, por me terem acompanhado numa saída de campo.

Ao Dr. Eduardo Roxo, Presidente da Arborea, instituição onde trabalho, por me ter dispensado os dias para as saídas de campo.

Ao Luís por toda a ajuda disponibilizada, pelo seu sentido prático e crítico, mas principalmente pela sua compreensão e apoio.

À minha mãe por todo o seu apoio e dedicação, sem a qual este trabalho teria sido bem mais difícil.

À Inês, o acontecimento mais importante da minha vida, que me deu ânimo para concluir este trabalho.

A todos muito Obrigada!

Resumo

As modificações que se processam ao nível do solo, causadas pelas técnicas de preparação do terreno, muitas vezes de elevada intensidade, podem exercer grande influência sobre a qualidade do solo e na sua capacidade em armazenar carbono. Neste contexto, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar o armazenamento de carbono em jovens povoamentos florestais 7 anos após a sua instalação (em 2009), com recurso a diversas técnicas de preparação de terreno e comparar os resultados com os obtidos 2 anos após a sua instalação (em 2004), de modo a analisar a evolução e recuperação do sistema. Este estudo desenvolveu-se num campo experimental compreendendo os seguintes tratamentos, com diferentes intensidades de mobilização: (1) testemunha sem mobilização (TSMO); (2) sem ripagem e armação do terreno em vala e câmara (SRVC); (3) ripagem localizada e armação do terreno em vala e câmara (RLVC); (4) ripagem contínua e armação do terreno em vala e câmara (RCVC); (5) ripagem contínua seguida de lavoura contínua (RCLC), onde foram plantadas as espécies *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), num compasso de 4 x 2 m (4 m entre linhas e 2 m entre plantas na linha). Para avaliar o carbono total armazenado no sistema determinou-se o carbono armazenado na biomassa das espécies florestais e da vegetação herbácea, no horizonte orgânico e no solo até 60 cm de profundidade. A biomassa das espécies florestais PM e CS foi estimada a partir de equações determinadas com base nos dados recolhidos em 2004, e convertida em carbono, assumindo que 50% da biomassa é carbono. As amostras de vegetação herbácea e de horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m², nos mesmos locais onde se efetuou a recolha das amostras de solo. As amostras de solo foram colhidas nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 e 30-60 cm. Depois da análise dos resultados observou-se que, ao fim de 7 anos, a quantidade de carbono armazenada no solo é inferior à registada em 2004 (2 anos após a instalação) e tanto menor quanto mais intensiva foi a técnica de preparação do terreno. Também o carbono presente na vegetação herbácea diminuiu, tendo-se formado ao longo do tempo um horizonte orgânico (que após a instalação do povoamento não existia), acrescentando carbono ao sistema. Quanto às espécies florestais, verificou-se um aumento no armazenamento de carbono comparativamente a 2004, nomeadamente na espécie PM. Globalmente observa-se uma redução do armazenamento de carbono no sistema, para a qual o compartimento solo

contribuiu largamente, mostrando que, ao fim de sete anos, ainda não recuperou das perturbações causadas pelas técnicas de preparação do terreno, no que respeita ao armazenamento de carbono.

Palavras-chave: Armazenamento de carbono; Povoamentos florestais; Técnicas de preparação do terreno.

Abstrat

The changes that occur at the level of the soil, caused by the techniques of land preparation, which are often of high intensity, may have a major influence on the quality of the soil and its capacity to store carbon. In this context, the present study has as a main goal to evaluate the carbon storage in young forest stands 7 years after their settling (in 2009), using different techniques of land preparation and comparing the results with the ones obtained 2 years after their settling (in 2004), in order to analyse the evolution and recuperation of the system. This study was developed in an experimental rehearsal that comprehended the following treatments, with different mobilization intensities, randomly distributed in 2 blocks: (1) witness without mobilization (TSMO); (2) framing of the land in a ditch and in a hillock (SRVC); (3) localized ripping and framing of the land in a ditch and in a hillock (RLVC); (4) continuous ripping and framing of the land in a ditch and in a hillock (RCVC); (5) continuous ripping followed by continuous crop (RCLC), where two species were planted, the *Pseudotsuga menziesii* (PM) and the *Castanea sativa* (CS), in a 4 x 2 compass (4m between lines and 2m between plants in the line). To evaluate the carbon contained in the system we determined the carbon contained in the biomass of the forest species, in the biomass of the herbaceous vegetation and organic horizon and also in the soil samples at various depths. The biomasses of forest species PM and CS was estimated based on the data collected in 2004 and converted in carbon, assuming that 50% of the biomass is carbon. We proceeded to the collection of the samples of the herbaceous vegetation and of the organic horizon within an area of 0.49m², in the same locations where the collection for the soil samples were made, before the opening of the trenches, in the various treatments. The soil samples were collected in the depths of 0-5cm, 5-15cm, 15-30cm and 30-60cm. After the analyses of the results we observed that, after 7 years, the amount of carbon stored in the soil is inferior than the one registered in 2004 (2 years after its settling) and as less as the technique for land preparation was intensive. Also the carbon present in the herbaceous vegetation lessened, having an organic horizon formed itself as time went by (which did not exist after the settling of the stand), adding carbon to the system. Regarding the forest species, there was an increase in the carbon storage comparatively to 2004, namely in the PM species. Globally we can observe a reduction in the carbon storage in the system to which the soil compartmentalization has largely contributed demonstrating that, after seven years,

it has not yet recuperated from the disturbances caused by the techniques of land preparation, in what concerns carbon storage.

Key-words: Carbon storage; forest stands; Land preparation techniques.

Índice Geral

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	III
Abstrat.....	V
Índice Geral.....	VII
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Quadros.....	X
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento teórico.....	3
2.1. A floresta e o ciclo global de carbono.....	3
2.2. Armazenamento de carbono na biomassa vegetal.....	4
2.3. Armazenamento de carbono no solo.....	5
2.4. Fatores que influenciam a capacidade de armazenamento de carbono no solo.....	6
2.4.1. Textura do solo.....	6
2.4.2. Profundidade do solo.....	6
2.4.3. Temperatura e humidade.....	7
2.4.4. Uso do solo e práticas culturais.....	7
2.5. Impacto das alterações climáticas nos stocks de carbono.....	9
3. Material e Métodos.....	11
3.1. Campo Experimental: caracterização genérica.....	11
3.1.1. Localização.....	11
3.1.2. Caracterização litológica e geológica.....	11
3.1.3. Caracterização climática.....	12
3.1.4. Caracterização do solo.....	13
3.1.5. Técnicas de preparação do terreno ensaiadas.....	13
3.2. Avaliação da massa de carbono no sistema.....	16
3.2.1. Determinação da biomassa das espécies florestais.....	16
3.2.2. Recolha da vegetação herbácea e do horizonte orgânico.....	17
3.2.3. Recolha de amostras de solo.....	18
3.2.4. Recolha de amostras de solo para determinação da densidade aparente.....	19
3.3. Metodologia analítica das amostras.....	20
3.3.1. Propriedades físicas.....	20
3.3.1.1. Densidade aparente.....	20
3.3.1.2. Percentagem de elementos grosseiros.....	20

3.3.1.3.	Amostras da vegetação herbácea e do horizonte orgânico	20
3.3.2.	Propriedades químicas.....	21
3.3.2.1.	Determinação do carbono orgânico no solo.	21
3.3.2.2.	Determinação do carbono na biomassa vegetal e nos resíduos do horizonte orgânico.....	21
3.4.	Análises estatísticas.....	22
4.	Resultados e Discussão	23
4.1.	Armazenamento de carbono no sistema.....	23
4.1.1.	Armazenamento de carbono nas espécies florestais.....	23
4.1.2.	Armazenamento de carbono na vegetação herbácea.....	26
4.1.3.	Armazenamento de carbono no horizonte orgânico.....	27
4.1.4.	Armazenamento de carbono nos horizontes minerais do solo	28
4.1.5.	Armazenamento de carbono total no sistema.....	31
4.2.	Síntese de resultados	33
5.	Conclusões	34
	Referências Bibliográficas	36

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica do campo experimental e dos blocos dentro do campo experimental	11
Figura 2 - Diagrama ombrotérmico. Médias de 30 anos (1971-2000)	12
Figura 3 - Povoamento misto de <i>P. menziesii</i> (<i>PM</i>) e <i>C. sativa</i> (<i>CS</i>), em 2004 (A) e em 2009 (B).....	15
Figura 4 - Esquema representativo das técnicas de preparação do terreno com armação do terreno em vala e câmoros (SRVC, RLVC, RCVC).....	16
Figura 5 - Recolha de amostras de vegetação herbácea	18
Figura 6 - Recolha de amostras de solo.....	19
Figura 7 - Moagem da vegetação herbácea e do horizonte orgânico (A). Identificação das amostras para posterior análise laboratorial (B).....	21
Figura 8 - Carbono total armazenado na biomassa (aérea e subterrânea) das espécies <i>PM</i> e <i>CS</i> no ano 2009.....	23
Figura 9 - Carbono armazenado nos componentes da biomassa aérea (ramos, raminhos e folhas) e subterrânea (raízes) das espécies <i>PM</i> e <i>CS</i> nos anos 2004 e 2009, de acordo com os tratamentos SRVC, RLVC, RCVC e RCLC.....	24
Figura 10 - Proporção de biomassa aérea e radical para as espécies <i>PM</i> e <i>CS</i> , de acordo com os tratamentos no ano 2009	25
Figura 11 - Carbono armazenado na vegetação herbácea (VH) (parte aérea e raízes) nos diversos tratamentos, nos anos 2004 e 2009	26
Figura 12 - Carbono armazenado (kg m^{-2}) no horizonte orgânico (HO) nos diversos tratamentos, no ano 2009.....	27
Figura 13 - Carbono armazenado (kg m^{-2}) na vegetação herbácea (VH) em 2004 e no conjunto vegetação herbácea e horizonte orgânico (VH + HO) em 2009, nos diversos tratamentos	28
Figura 14 - Distribuição percentual da massa de carbono (kg m^{-2}) no solo, por classe de profundidade nos diversos tratamentos.	29
Figura 15 - Variação do teor de carbono por classe de profundidade do solo (kg m^{-2}), relativamente aos valores de 2004.....	30
Figura 16 - Carbono total armazenado (kg m^{-2}) nos vários compartimentos do sistema, nos anos 2004 e 2009.	32

Índice de Quadros

Quadro 1 - Técnicas de preparação do terreno, ensaiadas da menor para a maior intensidade de mobilização.....	14
Quadro 2 - Equações para estimativa da biomassa das espécies <i>PM</i> e <i>CS</i>	17
Quadro 3 - Carbono armazenado nos diversos componentes aéreos e subterrâneos das espécies <i>PM</i> e <i>CS</i> (n=8) de acordo com os tratamentos.....	25
Quadro 4 - Carbono armazenado no solo (kg m^{-2}) por classe de profundidade, nos diversos tratamentos (n=5), nos anos 2004 e 2009.....	30

1. Introdução

Desde que foi reconhecido que as florestas são parte integrante do ciclo de carbono, tem-se prestado mais atenção à sua gestão, uma vez que esta tem grandes implicações na concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (Harmon & Marks, 2002). A capacidade de retenção e armazenamento de carbono (C) pelas florestas, é de tal forma importante para o ciclo global do carbono, que estão consideradas pelo Protocolo de Quioto como sumidouros de carbono e podem ser contabilizadas para cumprir as metas estabelecidas, no Protocolo, para o período 2008-2012. Em termos globais, as florestas são o reservatório de carbono mais importante na biosfera terrestre, devido à sua capacidade de acumular grandes quantidades de CO₂, quer na biomassa vegetal, quer na matéria orgânica do solo (Correia, 2006; Gonzalez & Gallardo, 2007).

O carbono presente nos ecossistemas terrestres distribui-se normalmente por quatro compartimentos principais: a biomassa aérea, os sistemas radiculares, o horizonte orgânico e o carbono orgânico do solo (Aceñolaza et al., 2007). O carbono orgânico contido no solo é o principal componente do ciclo do carbono, constituindo assim, a maior reserva de carbono terrestre (Gonzalez & Gallardo, 2007). É conhecido, que a nível global, os solos podem armazenar cerca de duas a três vezes o equivalente ao carbono contido na vegetação e de forma mais estável, podendo mesmo exceder o da atmosfera e o da biomassa dos ecossistemas terrestres, considerados conjuntamente (Madeira et al., 2004; Abril & Noé, 2007; Cerri et al., 2007; Gonzalez & Gallardo, 2007). Existem no entanto, vários fatores que influenciam a capacidade de armazenamento de carbono pelo ecossistema, como sendo as espécies florestais presentes, as características do solo e do clima, e não menos importante, as técnicas de gestão utilizadas (Gonzalez & Gallardo, 2007). De facto, as características do solo e a gestão aplicada são fatores chave, para a produtividade florestal e para a consequente acumulação de carbono no sistema.

As perturbações causadas sobretudo pelas técnicas de preparação do terreno, aplicadas quando da instalação dos povoamentos florestais e em fases posteriores, na exploração dos povoamentos, podem intervir de forma negativa na capacidade de acumulação de carbono no solo. O sistema de gestão das plantações florestais é

determinante na qualidade do solo, fator de entre os que afetam a produtividade florestal é o mais facilmente modificado pelos sistemas de gestão (Fabião et al., 2007).

As técnicas de preparação de terreno implicam a rutura dos agregados do solo e aceleram a oxidação da matéria orgânica, com o aumento do processo erosivo. Geralmente na bibliografia vem descrito, que numa fase inicial (10-20 anos), ocorre uma rápida perda de carbono orgânico, estabilizando lentamente, atingindo um equilíbrio passados 50-60 anos (Galantini & Iglesias, 2007). Parte do aumento do CO₂ atmosférico, nos últimos 150 anos, tem sido atribuída à oxidação da matéria orgânica do solo, no entanto o emprego de técnicas apropriadas de gestão do solo permitiriam voltar a retirar esse carbono da atmosfera (Cerri et al., 2007; Galantini & Iglesias, 2007). Por este motivo e pela capacidade que os solos têm no armazenamento de carbono, tornam-se cada vez mais importantes os estudos que permitam avaliar as variações de carbono no solo.

Pelos motivos e interesse já apresentados, este trabalho pretende avaliar o armazenamento de carbono em jovens povoamentos florestais, 7 anos após a sua instalação, e comparar os resultados com os obtidos 2 anos após a sua instalação, de modo a analisar a evolução e recuperação do sistema.

Para tal avaliou-se o carbono armazenado:

- Ø na biomassa das espécies florestais;
- Ø na biomassa da vegetação herbácea e horizonte orgânico;
- Ø nas amostras de solo a várias profundidades.

2. Enquadramento teórico

2.1. A floresta e o ciclo global de carbono

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera é sem dúvida a maior alteração global que ocorreu nos últimos 150 anos sendo o resultado da queima de combustíveis fósseis e de alterações no uso do solo, em particular da desflorestação (Pereira, 2007). Este aumento tem contribuído, de forma inequívoca, para as alterações climáticas, que poderão ter impactos diretos negativos sobre os ecossistemas terrestres. Atualmente só cerca de metade do CO₂ com origem nas atividades humanas é assimilado pelos compartimentos de carbono da biosfera, pelo que a restante parte vai contribuir para o aumento da sua concentração na atmosfera. O aumento dos gases com efeito de estufa, principalmente do CO₂, tem sido apontado como uma das principais causas das alterações climáticas e do aquecimento global do planeta. O efeito de estufa que ocorre naturalmente é um fenómeno essencial à manutenção da vida no planeta com temperaturas adequadas, impedindo que a superfície da terra arrefeça demasiado (Correia, 2006). No entanto o aumento da concentração destes gases, dos quais o CO₂ contribui com 76% do total, tem resultado num aquecimento global.

O carbono do planeta está armazenado em cinco grandes compartimentos: as reservas geológicas, os oceanos, a atmosfera, os solos e a biomassa vegetal (Aceñolaza et al., 2007). O oceano, a vegetação e o solo são importantes reservatórios que trocam ativamente carbono com a atmosfera. Por sua vez, as emissões são influenciadas por fatores de origem natural e humana e a dinâmica do ciclo de carbono é muito variável, quer no espaço quer no tempo (Correia, 2006). O carbono na terra está essencialmente na forma de compostos orgânicos e carbonatados ou sob a forma de gás na atmosfera (Correia, 2006). Quando se dá a transferência de carbono (através da queima, respiração ou reações químicas) para a atmosfera ou para o mar, as plantas têm a capacidade de assimilar carbono na biomassa vegetal, através da fotossíntese e a sua consequente reintegração na matéria orgânica do solo.

As florestas, devido à sua longevidade e à capacidade de reterem CO₂, servem de tampão às alterações bruscas da concentração desse gás na atmosfera e são consideradas sumidouros de carbono.

2.2. Armazenamento de carbono na biomassa vegetal

As florestas têm um papel de relevo na função de assimilar carbono através da fotossíntese e armazená-lo na sua biomassa. O importante é que o carbono se mantenha nas moléculas orgânicas e não regresse rapidamente à sua forma oxidada, podendo este processo, ser acelerado devido à desflorestação e aos incêndios (Pereira, 2007). Atualmente estima-se que 82% do carbono da biomassa terrestre (parte aérea das plantas e raízes) e cerca de 45% do carbono do solo se encontram nas florestas do mundo (Pereira, 2007).

O sequestro de carbono pode ser quantificado através do CO₂ fixado pelas plantas na fotossíntese, em unidades de massa de carbono por unidade de área e tempo, o que se traduz na produtividade primária bruta (PPB) (Pereira, 2007). Se a esta quantidade subtrairmos a respiração dos organismos do ecossistema, obtemos a produtividade líquida do ecossistema (PLE), que mede a real retenção de carbono (Nunes & Lopes, 2009). Em termos médios, a PLE tem um valor da ordem dos 5% da PPB (Pereira, 2007).

As florestas apresentam grande variabilidade na capacidade de armazenar carbono, dependendo das condições ecológicas da região, do tipo e idade das espécies florestais, das práticas de gestão e do tempo de residência dos resíduos ou produtos resultantes da floresta (Afonso et al., 2005). Em média, as florestas europeias sequestram anualmente 124 g C m⁻², com coeficientes de variação de cerca de 62% (Pereira, 2007). Por exemplo, os pinhais e eucaliptais portugueses podem ser muito produtivos, segundo o Projeto Carboeurope-IP (www.carboeurope.org), um eucaliptal apresentou valores de PLE acima dos 900 g C m⁻² ano⁻¹, enquanto a média da PLE nas florestas mais produtivas da Europa Central não ultrapassa os 600 g C m⁻² ano⁻¹ e um montado alentejano estudado no âmbito do mesmo projeto, indicou ser um sumidouro fraco de carbono. Muito embora, a capacidade de retenção de carbono em alguns pinhais e eucaliptais seja elevada, estes não podem ser vistos como sumidouros a longo prazo, pois as curtas rotações a que a biomassa aérea é removida (em média cada 12 anos), reduz substancialmente o stock de carbono no sistema (Pereira, 2007).

2.3. Armazenamento de carbono no solo

Para além de desempenhar um papel primordial no ciclo hidrológico, no ciclo do carbono e dos nutrientes, o solo contém uma grande parte da biodiversidade terrestre e é a base de sustentação das espécies vegetais e florestais (Bauhus et al., 2002).

Reconhecido por vários autores como tendo potencial para ser o maior reservatório de carbono terrestre (Madeira et al., 2004; Abril & Noé, 2007; Valentini & Jean-François, 2009), o solo assume deste modo um papel de destaque no ciclo global do carbono, tornando-se primordial estimar a sua quantidade. O CO₂ extraído da atmosfera através da realização da fotossíntese pelas plantas, mais tarde entra no solo através dos restos vegetais que se vão acumulando. A maior parte do carbono é armazenada no solo, sob a forma orgânica (Calouro, 2005).

O armazenamento de carbono no solo depende fundamentalmente da quantidade de biomassa que entra para este compartimento e da taxa de decomposição (Post & Know, 2000). Esta por sua vez é influenciada pela temperatura, pela humidade e pela composição da biomassa e dos organismos presentes no solo. Assim, a quantidade de carbono armazenado depende do balanço que se estabelece entre os ganhos de carbono, através da biomassa e as perdas produzidas pela atividade biológica (Calouro, 2005; Abril & Noé, 2007). A matéria orgânica constitui um componente chave dos ecossistemas terrestres e qualquer variação na sua abundância e disponibilidade, vai afetar muitos processos que aqui ocorrem, tendo naturalmente implicações no armazenamento de carbono (Morisada et al., 2004). No entanto, outros fatores limitam a capacidade do solo sequestrar e reter carbono na forma orgânica e definem o potencial de cada local, como por exemplo as propriedades e tipo de solo, a profundidade do perfil, a irregularidade da precipitação e não menos importante as práticas de gestão e uso do solo (Johnson & Curtis, 2001).

2.4. Fatores que influenciam a capacidade de armazenamento de carbono no solo

2.4.1. Textura do solo

A textura do solo mede em porcentagem, a proporção relativa de lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas dentro de certos limites: areia, limo e argila, que no seu conjunto constituem a fração de terra fina do solo. Esta fração fina, em especial as argilas, favorecem a acumulação de matéria orgânica no solo devido a diferentes mecanismos de proteção. O incremento do teor de argila no solo reduz o diâmetro dos poros, limitando o espaço acessível para as bactérias. Paralelamente, os espaços porosos reduzidos, diminuem o acesso dos bacteriófagos à sua fonte de alimento, reduzindo a mineralização do azoto bacteriano.

Pode dizer-se então, que para alguns tipos de solo se observa uma relação significativa entre o material fino do solo e a concentração de carbono. No entanto, esta relação, como já vimos, está dependente do grau de transformação da matéria orgânica do solo (Galantini & Iglesias, 2007). Segundo alguns autores, a textura do solo é uma característica muito importante para a estabilização da matéria orgânica (Galantini & Iglesias, 2007).

2.4.2. Profundidade do solo

A profundidade do solo influencia marcadamente a dinâmica e o balanço de água no solo, uma vez que limita o volume de solo explorado pelas raízes das plantas, a capacidade de armazenamento da água e a reserva de nutrientes disponíveis.

Em solos pouco profundos existe uma maior dependência das plantas em relação ao regime e regularidade da precipitação, assim como em relação ao ganho externo de nutrientes (Galantini & Iglesias, 2007). Nestas condições, a produção vegetal vê-se limitada, diminuindo assim a produtividade primária bruta do ecossistema e a velocidade do ciclo de carbono (Cruzado et al., 2007; Galantini & Iglesias, 2007). Neste tipo de solos a capacidade de acumulação de carbono orgânico é menor, em virtude da menor possibilidade das raízes explorarem o solo em profundidade, e da maior vulnerabilidade das plantações ao déficit hídrico, (Galantini & Iglesias, 2007).

2.4.3. Temperatura e humidade

A temperatura e a humidade são fatores chave que afetam os níveis de carbono orgânico no solo, acentuando-se ainda mais a sua importância, quando estamos perante a influência de um clima mediterrânico (Galantini & Iglesias, 2007). O aumento da precipitação favorece o aumento de matéria vegetal, e a consequente formação de um horizonte orgânico que vai contribuir com mais carbono para o solo. Por outro lado, o aumento da temperatura favorece o incremento da atividade microbiana e a decomposição da matéria orgânica do solo, o que em situações extremas poderá levar à mineralização da matéria orgânica, diminuindo a retenção do carbono orgânico. Deste modo, poderemos dizer que parte da quantidade de carbono no solo, também estará dependente do equilíbrio entre estes dois fatores climáticos (Galantini & Iglesias, 2007).

Num trabalho desenvolvido por Madeira et al. (2004), verificou-se uma correlação positiva e significativa entre a precipitação média anual e a quantidade de carbono no solo, para áreas em que o solo considerado derivava do mesmo material originário. Neste caso, cerca de 50% da variação espacial do carbono orgânico foi explicada através da precipitação média anual.

2.4.4. Uso do solo e práticas culturais

Como já foi referido, a dinâmica do carbono no solo é influenciada por fatores edáficos e poderá ser diminuída ou potenciada, em grande parte, através das práticas culturais e da utilização da terra. Poderá mesmo afirmar-se que o potencial de um ecossistema para armazenar carbono, é primeiramente definido em função da frequência e severidade dos distúrbios causados (Harmon & Marks, 2002). As alterações no uso do solo influenciam a dinâmica da matéria orgânica e o ciclo biogeoquímico dos elementos, modificando a capacidade produtiva desses ambientes (Leite et al., 2003).

Práticas de gestão não adequadas revelam-se prejudiciais para a fertilidade do solo, podendo na maior parte das vezes agravar os problemas de erosão e lixiviação, com a consequente perda de nutrientes. A remoção da matéria orgânica das camadas superficiais do solo, por arrastamento, conduz a um aumento da compactação e em situações de maior gravidade, pode influenciar a hidrologia local. Estas perdas podem ser agravadas se considerarmos ainda a prática de remoção ou queima da biomassa, que deixará de ser incorporada no solo (Bauhus et al., 2002). A solução no caso da gestão da biomassa de sub-coberto, ou dos resíduos da exploração de um povoamento, que irá

promover a incorporação destes resíduos vegetais no solo, poderá passar pelo seu estilhamento.

Alguns estudos indicam que a substituição de áreas florestais por agricultura, a exploração de produtos florestais e a remoção de outros produtos como a lenha, levam a uma redução da acumulação de carbono (Leite et al., 2003). Por outro lado, práticas como a florestação, as fertilizações, a proteção contra incêndios e insetos nocivos às plantas, pode levar ao incremento do carbono no solo (Harmon et al., 2002).

No caso das espécies florestais, existe uma maior reciclagem de nutrientes do que nas plantas de ciclo anual, devido a terem um sistema radicular permanente e profundo que absorve elementos das camadas subsuperficiais, transportando-os até à superfície através da deposição de resíduos orgânicos (Mafra et al., 2008). É reconhecido também que as florestas naturais poderão acumular maior quantidade de carbono, do que as florestas plantadas e geridas pelo homem (Leite et al., 2003). Torna-se por isso primordial conhecer as particularidades do território, de modo a que a gestão do ecossistema seja orientada não só numa perspetiva puramente económica, mas também de conservação dos recursos.

Em solos explorados pelo homem, grande parte do carbono libertado para a atmosfera resulta das práticas culturais, principalmente a desflorestação, as queimas, os incêndios, as lavouras e o sobrepastoreio (Abril & Noé, 2007; Cerri et al., 2007). As preparações de terreno, nomeadamente as realizadas na instalação de novas arborizações, nem sempre utilizam técnicas adequadas a cada situação, sendo muitas vezes utilizadas técnicas intensivas de mobilização do solo, na convicção de que as mesmas conduzem a uma maior taxa de crescimento e sobrevivência na fase inicial da plantação (Madeira et al., 2002; Fonseca, 2005). No entanto, e numa perspetiva de conservação e gestão sustentável do solo, vários estudos têm comprovado que não é vantajosa a realização de mobilizações intensivas na instalação de plantações (Madeira et al., 2002; Martins & Pinto, 2004; Fonseca, 2005).

As perturbações provocadas no solo, através das lavouras e preparações de terreno, provocam fortes variações na quantidade de carbono orgânico e dos nutrientes no sistema (Madeira et al., 2009). As lavouras modificam a localização da matéria orgânica a diferentes escalas, revirando os perfis e quebrando as unidades estruturais do solo (agregados), estimulando o crescimento da população bacteriana e a decomposição da matéria orgânica, até os materiais orgânicos previamente protegidos se tornarem

acessíveis (Galantini & Iglesias, 2007), conduzindo a perdas ou transferência de nutrientes, nomeadamente o carbono e o azoto (Fonseca et al., 2007).

Num sistema experimental de preparação intensiva do solo para a instalação de *E. globulus* em rotação curta, verificou-se que a perda inicial de carbono, não foi recuperada até ao final da rotação (Fabião et al., 2007), o que comprova neste caso, que o sistema demora algum tempo a recuperar das perturbações. O ideal será sempre ajustar as práticas culturais e de preparação de terreno aos locais, tendo em conta um conhecimento detalhado da distribuição dos solos na paisagem e das características físicas, químicas e biológicas que afetam a produtividade.

Neste contexto reveste-se de grande importância o conhecimento dos solos que apresentam aptidão para plantações intensivas ou com a finalidade de proteção, o que permitirá desenvolver sistemas de gestão adaptados a cada solo, de maneira a melhorar a qualidade do mesmo e a produtividade a longo prazo das florestas (Fabião et al., 2007). As práticas de conservação do solo são assim o princípio fundamental para assegurar o bom funcionamento dos ecossistemas florestais.

2.5. Impacto das alterações climáticas nos stocks de carbono

O clima, em particular a temperatura e a precipitação determinam a sobrevivência das plantas e a sua distribuição geográfica. As variações sazonais destas variáveis têm especial importância em climas como o de Portugal Continental, de influência mediterrânica (Pereira et al., 2001). Durante o período das chuvas (inverno e início da primavera) as temperaturas baixas constituem um fator limitante ao crescimento das plantas, por outro lado no período mais quente a falta de água passa a ser o principal problema, tendo efeitos na produtividade vegetal, logo no crescimento das plantas.

O aquecimento global poderá ter consequências no decréscimo da Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), afetando tanto a biomassa vegetal como o armazenamento de carbono no solo (Pereira et al., 2006). Os efeitos das alterações climáticas nas florestas de Portugal foram estudados no âmbito do projeto “SIAM - Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação”. A estimativa da Produtividade Primária Líquida (PPL), baseada numa distribuição ótima dos tipos de vegetação, sugere um decréscimo da PPL na maior parte do país, devido ao aumento do défice hídrico das plantas (Pereira et al., 2001). Nas zonas do país onde não se espera um decréscimo na disponibilidade hídrica até níveis limitantes, a ocorrência

de invernos mais quentes e o aumento da concentração de CO₂ atmosférico, poderão contribuir para o aumento da PPL no futuro. Estes aumentos poderão ocorrer sobretudo em regiões mais frias e húmidas do país, como o nordeste. A vegetação existente nas zonas mais quentes e secas ficará sujeita a maiores stresses ambientais, até que numa escala temporal adequada, aconteça a natural migração das espécies (Pereira et al., 2001).

A capacidade atual das florestas portuguesas para armazenar carbono é elevada. Contudo, as previsões futuras indicam que esta capacidade poderá diminuir, devido aos decréscimos ou aumentos ligeiros da PPL e à diminuição da produção de biomassa vegetal, por sua vez relacionada com as alterações na distribuição da vegetação e o aumento da frequência de incêndios e da respiração do solo (Pereira et al., 2001). O armazenamento de carbono no solo depende da quantidade de biomassa que entra para este reservatório e da taxa de decomposição, que é influenciada pela temperatura, humidade e composição da biomassa e dos organismos do solo. O aumento da temperatura vai acelerar as taxas de decomposição desde que haja água disponível, em situações de stresse hídrico a respiração é inibida. Num cenário futuro é possível que haja um aumento significativo das taxas de decomposição nos períodos de inverno e primavera, devido ao aumento da temperatura e da disponibilidade de água, mas durante o período de secura estival, é provável que a respiração autotrófica seja baixa. Estas variações vão ter implicações nos stocks anuais de carbono, tanto na componente biomassa, como ao nível do solo (Pereira et al., 2006).

3. Material e Métodos

3.1. Campo Experimental: caracterização genérica

3.1.1. Localização

O campo experimental foi instalado entre novembro de 2001 e março de 2002, em Lamas de Podence, concelho de Macedo de Cavaleiros, distrito de Bragança, com as coordenadas geográficas $41^{\circ} 35' N$ e $6^{\circ} 57' W$, situado entre os 670 e os 701 m de altitude, com relevo que varia de ondulado suave a ondulado (Figura 1). Este ensaio engloba 8 tratamentos (técnicas de preparação do terreno), instalados aleatoriamente em 3 blocos em áreas contíguas. O bloco I situa-se na parte mais elevada do campo experimental, numa área sedimentar, aplanada, com declive médio de 6%, os blocos II e III, em zonas de encosta com declives de 22% e 12%, respetivamente (Fonseca, 2005). O presente trabalho desenvolveu-se nos blocos I e III.

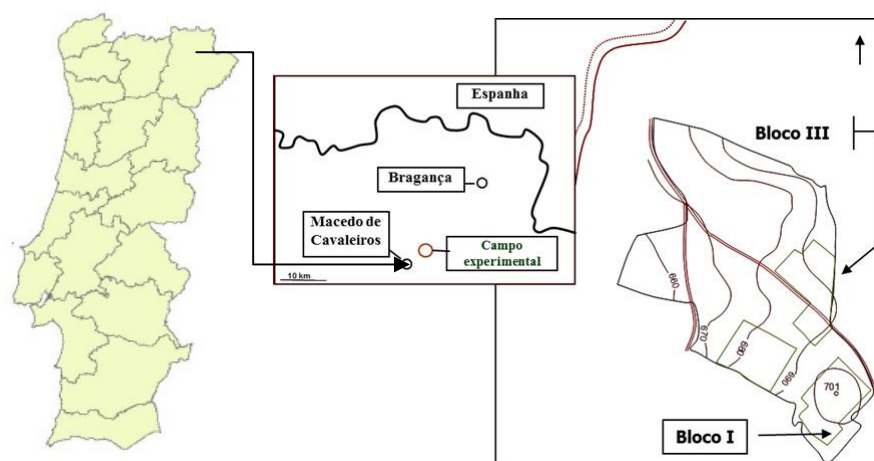


Figura 1 - Localização geográfica do campo experimental e dos blocos dentro do campo experimental.

3.1.2. Caracterização litológica e geológica

A litologia deriva de materiais quartzosos e xistentos, com predominância do xisto no bloco III e quartzo com sedimentos areno-argilosos no bloco I. No campo experimental estão presentes duas formações geológicas, uma que ocupa a zona mais elevada (bloco I), aplanada, que corresponde à Era Terceária do Período Pliocénico, formada por depósitos de cascalheira com matriz areno-argilosa e uma outra formação, que ocupa as zonas de encosta do ensaio (Bloco III) e pertence ao Complexo

Parautóctone do Silúrico Inferior e inclui uma formação Infraquartzítica, xistos cinzentos com intercalações de xistos negros ampelitosos, alternância de pelitos psamitos e grauvaques (Pereira et al., 2000).

3.1.3. Caraterização climática

Com base nos dados da estação meteorológica de Bragança para o período de 1971/2000 (IM, 2012) (Figura 2), a temperatura média anual é de 12,3°C com médias mensais que variam de 21,3°C (julho) a 4,4°C (janeiro). A precipitação média anual é de 758,3 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea. Observa-se a existência de um período quente e seco de julho a agosto, com uma temperatura média de 21,2°C e um período frio e húmido de novembro a abril, com uma temperatura média de 7,1°C. Durante o período quente e seco, a precipitação é escassa com um mínimo de 19,6 mm em julho e um total de 42,4 mm de julho a agosto. A precipitação concentra-se no período húmido e frio, atingindo um pico de 118,6 mm em dezembro.

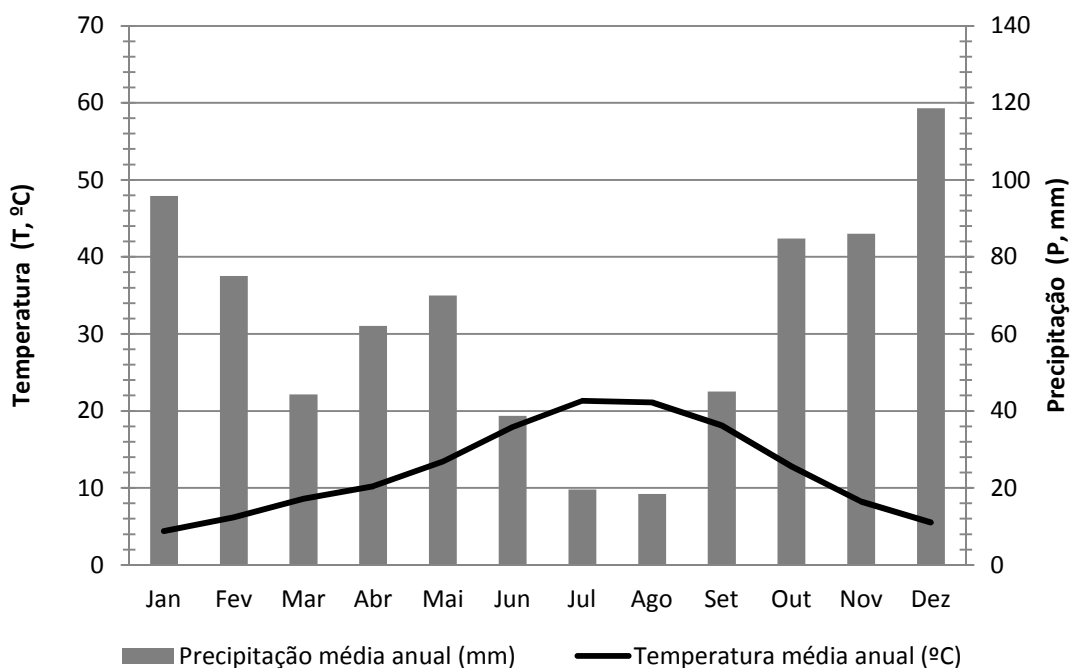


Figura 2 - Diagrama ombrotérmico. Médias de 30 anos (1971-2000).

3.1.4. Caracterização do solo

Para a caracterização dos solos da área experimental foram adotadas as definições taxonômicas da FAO/UNESCO (1987) e retirados os conceitos de Agroconsultores & Coba (1991).

As unidades de solos dominantes na região de Trás-os-Montes e Alto Douro são os Leptosolos com 70,8% e os Cambissolos com 13,3%, sendo que na área do campo experimental, os solos originais integram-se nas associações de unidades Leptosolos dístricos órticos de xistos (bloco III) e Cambissolos dístricos crômicos de sedimentos detríticos não consolidados (bloco I) (Agroconsultores & Coba 1991).

Os Leptosolos são solos que apresentam uma espessura limitada, com rocha dura contínua e coerente ou material muito calcário ou uma camada contínua cimentada a profundidade igual ou inferior a 50 cm da superfície, ou solos de material pedregoso não consolidado tendo menos de 20% de terra fina até uma profundidade de 75 cm, sem horizontes de diagnóstico além de um horizonte mólico, úmbrico ou ócrico, com ou sem horizonte B câmbico; Sem propriedades hidromórficas a menos de 50 cm da superfície; sem propriedades sálicas (FAO / UNESCO, 1987; Agroconsultores & Coba, 1991). Os Cambissolos são solos de profundidade mais frequente entre os 50 e os 70 cm, não limitados a menos de 50 cm da superfície por rocha dura contínua e coerente. A característica dominante consiste na presença de um horizonte B câmbico e, a menos de que soterrado por mais de 50 cm por novo material, sem outro horizonte de diagnóstico a não ser um A ócrico e um A úmbrico; sem propriedades sálicas e sem propriedades hidromórficas até 50 cm da superfície (Agroconsultores & Coba, 1991; Fonseca, 2005).

3.1.5. Técnicas de preparação do terreno ensaiadas

O ensaio experimental engloba 3 blocos (embora este trabalho se tenha desenvolvido apenas no bloco I e III) em que se repetem 8 técnicas de preparação do terreno (tratamentos) com diferentes graus de intensidade de mobilização e armação do terreno (Quadro 1).

Quadro 1 - Técnicas de preparação do terreno, ensaiadas da menor para a maior intensidade de mobilização.

Tratamentos	Gradagem	Ripagem contínua	Ripagem localizada	Vala e Cômoro com 2 lavouras	Lavoura contínua	Aivequilhos	Covas
TSMO							
SMPC	✓						✓
RCAV	✓	✓				✓	
SRVC	✓			✓			
RLVC	✓		✓	✓			
RCVC	✓	✓		✓			
RCLC	✓	✓			✓		
TERO	✓	✓			✓		

TSMO - Testemunha sem mobilização;

SMPC - Sem mobilização, com plantação à cova com broca rotativa, com profundidade 50/60 cm, conforme a possibilidade de abertura no terreno;

RCAV - Ripagem contínua profunda, até cerca de 70 cm, abertura da linha de plantação com ripper equipado com aivequilhos;

SRVC - Sem ripagem prévia, com armação do terreno em vala e cômoro por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens;

RLVC - Ripagem localizada profunda, até cerca de 70 cm, com armação do terreno em vala e cômoro por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens;

RCVC - Ripagem contínua profunda, até cerca de 70 cm, com armação do terreno em vala e cômoro por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens;

RCLC - Ripagem contínua profunda, até cerca de 70 cm, seguida de lavoura contínua, até cerca de 90 cm;

TERO - Testemunha para erosão, ripagem contínua profunda, até cerca de 70 cm, seguida de lavoura contínua no sentido do maior declive (devido ao reduzido comprimento das parcelas no sentido de maior declive, esta lavoura foi executada por um trator agrícola).

As parcelas experimentais apresentam dimensões de 375 m² cada (25 x 15 m) perfazendo uma área experimental de cerca de 1 hectare, onde foram plantadas as espécies *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), num compasso de 4 x 2 m (4 m entre linhas e 2 m entre plantas na linha), com 12 plantas cada (24 PM e 24 CS), por parcela (Figura 3).



Figura 3 - Povoamento misto de *P. menziesii* (PM) e *C. sativa* (CS), em 2004 (A) e em 2009 (B).

À parte do tratamento TERO, todos os tratamentos foram aplicados segundo as curvas de nível (Fonseca, 2005).

O presente estudo apenas se desenvolveu em 5 tratamentos, sendo eles: TSMO, SRVC, RLVC, RCVC e RCLC, uma vez que nos tratamentos de mobilização ligeira (SMPC e RCAV), a mortalidade das plantas foi muito elevada, quantificando-se em mais de 90% (Fonseca, 2005).

Nos tratamentos com armação do terreno em vala e câmore criaram-se três situações distintas: linha de plantação (LP), entre linha de plantação (EL) e câmore (CO). A EL dos tratamentos SRVC e RLVC não sofreu perturbação do solo, pois a ripagem localizada em RLVC foi realizada na faixa onde se procedeu à armação do terreno em vala e câmore. Já a EL do tratamento RCVC foi perturbada pela ripagem contínua em toda a área da parcela. Nestes tratamentos, depois de efetuada a ripagem de acordo com o tratamento, criaram-se 4 valas paralelas distanciadas de 4 m, com cerca de 30 cm de profundidade e 80 cm de largura ao longo de 25 m (largura da parcela) com duas passagens da máquina. O material resultante da primeira passagem da abertura das valas foi depositado a juzante sobre solo não mexido ou sujeito a ripagem e o material resultante da segunda passagem, parte foi depositado sobre o primeiro e parte na vala da primeira passagem, criando um câmore com uma altura de cerca de 40 cm (Figura 4). A abertura de covachos para a instalação das plantas (linha de plantação) foi realizada no terço inferior do câmore para o lado da vala (Fonseca, 2005).

Armação do terreno em vala e cômoro (SRVC, RLVC, RCVC)

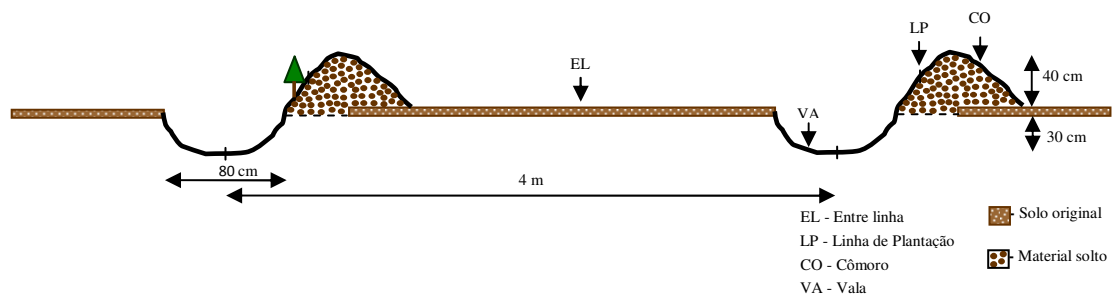


Figura 4 - Esquema representativo das técnicas de preparação do terreno com armação do terreno em vala e cômoro (SRVC, RLVC, RCVC). Adaptado de Fonseca (2005).

3.2. Avaliação da massa de carbono no sistema

Para a avaliação do armazenamento de carbono no sistema foi determinada a biomassa das espécies florestais, analisadas amostras de vegetação herbácea (VH), de horizonte orgânico (HO) e de solo a várias profundidades.

3.2.1. Determinação da biomassa das espécies florestais

A biomassa das espécies florestais foi dividida em 5 componentes (tronco, ramos, raminhos, folhas e raízes) e estimada através de equações estabelecidas com base nos dados de biomassa e parâmetros dendrométricos avaliados em 2004 (Fonseca, 2005) (Quadro 2). De modo a tornar possível a comparação dos dados obtidos nos anos 2004 e 2009, para ambos os anos estimou-se a biomassa a partir das equações aqui apresentadas e converteu-se a biomassa em carbono, assumindo que 50% da biomassa é carbono, como aliás é frequentemente aceite por vários autores (e.g. Laclau, 2003; Nunes & Lopes, 2009).

Quadro 2 - Equações para estimativa da biomassa das espécies *PM* e *CS*.

Espécie	Componente	n	a	b	r ²	Equações
<i>PM</i>	Tronco	8	0,214	1,831	0,981***	$B_1 = 0,214 \times d^{1,831}$
	Ramos	8	0,010	2,528	0,866**	$B_2 = 0,010 \times d^{2,528}$
	Raminhos	8	0,033	2,124	0,894**	$B_3 = 0,033 \times d^{2,124}$
	Folhas	8	0,287	1,899	0,909**	$B_4 = 0,287 \times d^{1,899}$
	Raízes	8	0,071	2,198	0,915***	$B_5 = 0,071 \times d^{2,198}$
	Biomassa Total	8	0,541	2,018	0,943***	$BT = 0,541 \times d^{2,018}$
<i>CS</i>	Tronco	8	1,865	1,263	0,581*	$B_1 = 1,865 \times d^{1,263}$
	Ramos	8			0,720*	$B_2 = 0,151 \times d^2 - 5,462 \times d + 76,311$
	Raminhos	8	2,449	0,081	0,907**	$B_3 = 2,449 e^{0,081}$
	Folhas	8	0,323	1,787	0,822*	$B_4 = 0,323 \times d^{1,787}$
	Raízes	8			0,839**	$B_5 = 6,803 \times d - 72,774$
	Biomassa Total	8			0,961***	$B_2 = 0,408 \times d^2 + 3,522 \times d + 19,627$

d - diâmetro do caule ao nível do solo

n=8 - árvores amostradas no terreno

3.2.2. Recolha da vegetação herbácea e do horizonte orgânico

As amostras de vegetação herbácea e de horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m², nos mesmos locais onde posteriormente se efetuou a colheita das amostras de solo. Nos tratamentos com armação do terreno em vala e cômodo (SRVC, RLVC e RCVC), foram selecionados de forma aleatória 5 locais na linha de plantação e 5 na entre linha por tratamento e bloco. Seguiu-se a colheita da vegetação herbácea e do horizonte orgânico, quando presentes. É de referir que na linha de plantação a vegetação herbácea era praticamente inexistente, verificando-se apenas a presença de um horizonte orgânico. Nos tratamentos TSMO e RCLC, devido à homogeneidade das parcelas, foram apenas colhidas 5 amostras de vegetação herbácea e 5 de horizonte orgânico, por tratamento e bloco (Figura 5).



Figura 5 - Recolha de amostras de vegetação herbácea.

A biomassa da vegetação herbácea foi dividida em biomassa aérea e biomassa das raízes, a parte aérea foi colhida no terreno e a respetiva concentração de carbono foi obtida a partir de análises laboratoriais das amostras. A biomassa das raízes foi quantificada com base na relação *root / shoot*, determinada a partir dos dados de 2004 considerando-se um rácio de 0,23 para o cálculo e assumindo, da mesma forma, que 50% da biomassa é C.

3.2.3. Recolha de amostras de solo

Nos mesmos locais onde se colheu a vegetação herbácea e o horizonte orgânico, procedeu-se à colheita de amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 e 30-60 cm, uma vez que a concentração de carbono varia de forma mais acentuada nas camadas superficiais.

Tal como para a recolha da vegetação herbácea e do horizonte orgânico, nos tratamentos com armação do terreno em vala e câmor (SRVC, RLVC e RCVC) as colheitas foram efetuadas em 10 locais (5 na linha de plantação e 5 na entre linha de plantação) por tratamento e bloco, nas diferentes profundidades, num total de 240 amostras. Nos tratamentos TSMO e RCLC, dada a homogeneidade das parcelas, as recolhas foram efetuadas em 5 locais, por tratamento e bloco, para as profundidades definidas, num total de 80 amostras (Figura 6).

É de referir, que nos tratamentos com mobilização moderada (SRVC) e no solo original (TSMO) do bloco III, na profundidade 30-60 cm, surgiram algumas dificuldades na recolha das amostras, pois os solos apresentavam grandes quantidades de elementos grosseiros, existindo mesmo locais, onde não foi possível essa recolha.



Figura 6 - Recolha de amostras de solo.

Na determinação da massa de carbono (MC) do solo por unidade de área (kg m^{-2}) utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{MC} = \text{C} \times \text{MTF}$$

C - concentração de carbono (g kg^{-1});

MTF - massa de terra fina (kg)

Na determinação da quantidade total de carbono nos solos dos tratamentos com armação do terreno em vala e cômodo, ponderou-se com as percentagens de área, representativas da linha de plantação (LP) e entre linha (EL).

3.2.4. Recolha de amostras de solo para determinação da densidade aparente

Esta recolha foi efetuada nos locais e profundidades referidas no ponto anterior, utilizando-se amostras não perturbadas colhidas com um cilindro de 100 cm^3 de volume. Na recolha das amostras surgiram dificuldades semelhantes às já descritas anteriormente.

3.3. Metodologia analítica das amostras

3.3.1. Propriedades físicas

As análises físicas foram efetuadas no Laboratório de Solos da ESAB.

3.3.1.1. Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada em amostras não perturbadas colhidas com o cilindro de volume conhecido, após a secagem a 105°C.

A densidade foi avaliada através da fórmula:

$D_{ap} = \text{peso solo seco a } 105^{\circ}\text{C} / \text{volume em cm}^3 \times \text{massa volúmica da água}$

Onde:

D_{ap} - densidade aparente (g cm^{-3})

Massa volúmica da água = 1 g cm^{-3}

Volume do cilindro = 100 cm^3

O conhecimento da densidade aparente do solo é importante, pois permite determinar por unidade de área o armazenamento de carbono no solo.

3.3.1.2. Percentagem de elementos grosseiros

A amostra total (elementos grosseiros e terra fina) foi seca em estufa a 45°C, seguida de passagem por crivo de malha de 2 mm. Os elementos grosseiros foram incluídos num só lote e expressos em percentagem em relação ao peso total da amostra.

3.3.1.3. Amostras da vegetação herbácea e do horizonte orgânico

As amostras foram pesadas após secagem em estufa a 65°C, até peso constante, de modo a obter o peso da matéria seca por unidade de área (kg m^{-2}), para posterior determinação do teor em carbono.

Procedeu-se à sua moagem e à colocação em sacos devidamente identificados, para análise laboratorial (Figura 7).

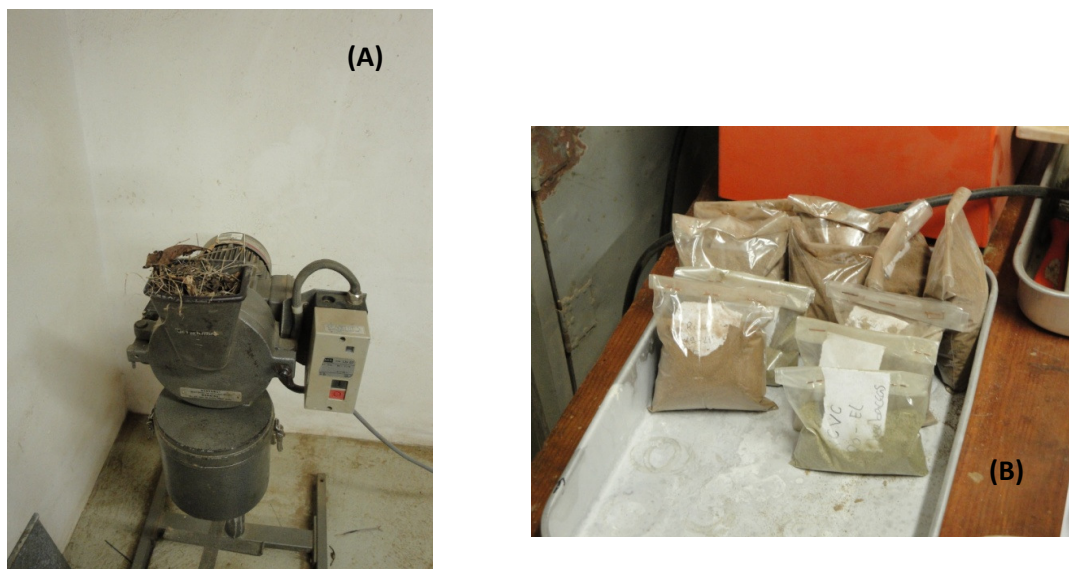


Figura 7 - Moagem da vegetação herbácea e do horizonte orgânico (A). Identificação das amostras para posterior análise laboratorial (B).

3.3.2. Propriedades químicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da UTAD, de modo a seguir a mesma metodologia das análises já efetuadas no trabalho desenvolvido em 2004 (Fonseca, 2005).

3.3.2.1. Determinação do carbono orgânico no solo

O carbono orgânico foi determinado em analisador elementar de carbono, por combustão a 1100°C e detecção por NIRD, em uso no Laboratório de Solos da UTAD. A quantidade de matéria orgânica foi calculada por multiplicação do teor de carbono pelo fator 1,724, geralmente aceite, tendo em atenção a percentagem média de carbono dos compostos orgânicos do solo.

3.3.2.2. Determinação do carbono na biomassa vegetal e nos resíduos do horizonte orgânico

O teor de carbono da biomassa vegetal e dos resíduos do horizonte orgânico foi determinado através da incineração de 1g amostra submetida a 450°C, durante 6 horas.

3.4. Análises estatísticas

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com base em análises de variância e testes de comparação múltipla de médias (Tukey, 5%). Nesta análise utilizaram-se como fatores os tratamentos e os anos.

4. Resultados e Discussão

4.1. Armazenamento de carbono no sistema

A capacidade de sequestro de carbono pelo sistema é controlada pela quantidade de CO₂ fixada pela vegetação e que pode ser acumulada a longo prazo no ecossistema, (biomassa perene e matéria orgânica no solo) (Correia et al., 2005).

Tendo em conta a importância das florestas e as perturbações causadas pela gestão das mesmas, realizou-se um estudo sobre o efeito de diversas técnicas de preparação do terreno, utilizadas na instalação de povoamentos florestais mistos de *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), no armazenamento de carbono. A avaliação do carbono armazenado nos povoamentos florestais foi realizada no ano 2004 (Fonseca, 2005) e no ano 2009, nos compartimentos solo, horizonte orgânico, biomassa da vegetação herbácea e biomassa das espécies florestais.

4.1.1. Armazenamento de carbono nas espécies florestais

A quantidade de carbono armazenada na biomassa das espécies florestais (biomassa aérea e subterrânea) em 2009 é superior para a espécie *Pseudotsuga menziesii* (PM), a qual não apresenta diferenças significativas entre o tratamento SRVC (mobilização moderada do solo) e o tratamento RCLC (mobilização intensiva do solo). A espécie *Castanea sativa* (CS) mostra valores significativamente superiores para o tratamento de mobilização de maior intensidade (RCLC) (Figura 8).

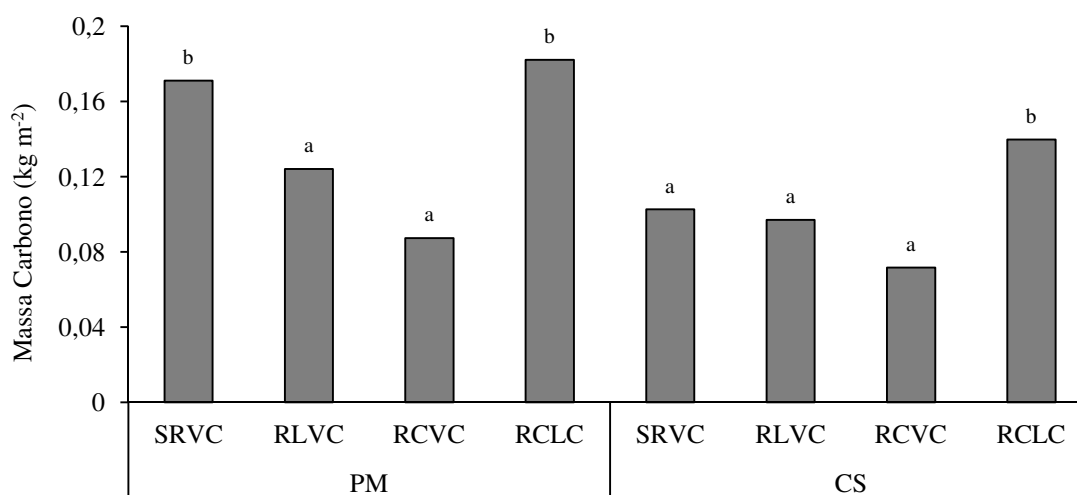


Figura 8 - Carbono total armazenado na biomassa (aérea e subterrânea) das espécies PM e CS no ano 2009. Para a mesma espécie, colunas com letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ($p < 0,05$).

Por comparação dos resultados obtidos em 2004 e 2009 verifica-se que ocorreu um incremento significativo de carbono, tanto para a espécie *PM* como para a espécie *CS*, o que é mais visível no tratamento RCLC (Figura 9).

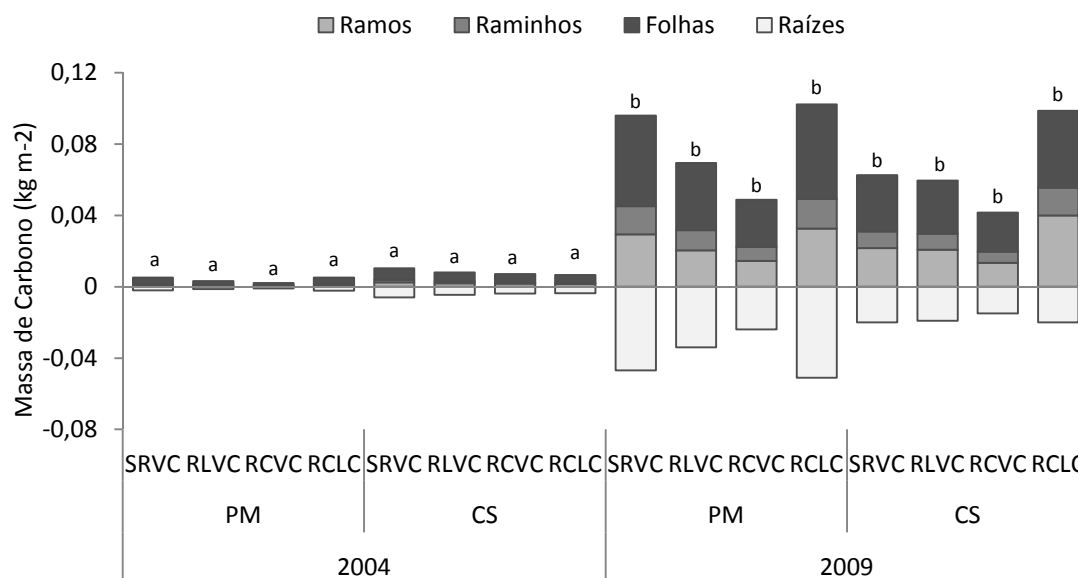


Figura 9 - Carbono armazenado nos componentes da biomassa aérea (ramos, raminhos e folhas) e subterrânea (raízes) das espécies *PM* e *CS* nos anos 2004 e 2009, de acordo com os tratamentos SRVC, RLVC, RCVC e RCLC. Para o mesmo tratamento, colunas com letras diferentes diferem significativamente os anos ($p < 0,05$).

A seleção das espécies florestais a instalar é um aspeto importante a ter em consideração, principalmente quando os povoamentos são instalados com o objetivo de sequestrar carbono (Silver et al., 2000). Árvores com um crescimento mais rápido, como é o caso da espécie *PM*, poderão acumular maior quantidade de carbono em igual período de tempo, se comparadas com outras de crescimento mais lento.

Nos tratamentos aqui em apreciação, a proporção biomassa aérea / biomassa radical em 2009 (Figura 10) segue a mesma tendência de evolução comparativamente a 2004 (biomassa aérea cerca de 2 a 3 vezes superior à biomassa radical), embora a biomassa radical armazene carbono por períodos de tempo mais longos (Fonseca, 2005). Na espécie *CS* esta proporção é maior do que na espécie *PM*.

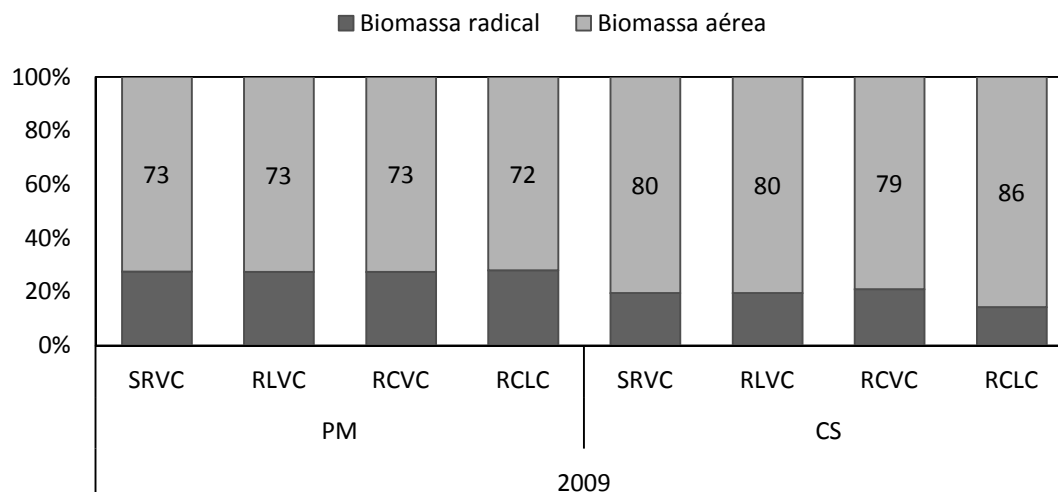


Figura 10 - Proporção de biomassa aérea e radical para as espécies PM e CS, de acordo com os tratamentos no ano 2009.

No que respeita aos componentes aéreos, observa-se maiores quantidades de carbono nas folhas (com cerca de 40% do total do carbono), em relação aos restantes componentes isolados (tronco, ramos e raminhos) nas duas espécies, e um aumento dos valores acumulados em relação a 2004 (Quadro 3).

Quadro 3 - Carbono armazenado nos diversos componentes aéreos e subterrâneos das espécies PM e CS (n=8) de acordo com os tratamentos. Para o mesmo tratamento, médias seguidas com letras diferentes diferem significativamente os anos ($p < 0,05$).

Ano	Espécie	Tratamento	C (kg m ⁻²)					Total
			Tronco	Ramos	Raminhos	Folhas	Raízes	
2004	PM	SRVC	0,0021 ^a	0,0008 ^a	0,0008 ^a	0,0035 ^a	0,0021 ^a	0,0092 ^a
		RLVC	0,0013 ^a	0,0005 ^a	0,0005 ^a	0,0022 ^a	0,0013 ^a	0,0057 ^a
		RCVC	0,0009 ^a	0,0003 ^a	0,0003 ^a	0,0015 ^a	0,0009 ^a	0,0040 ^a
		RCLC	0,0020 ^a	0,0009 ^a	0,0008 ^a	0,0034 ^a	0,0022 ^a	0,0094 ^a
	CS	SRVC	0,0065 ^a	0,0025 ^a	0,0014 ^a	0,0065 ^a	0,0059 ^a	0,0228 ^a
		RLVC	0,0052 ^a	0,0020 ^a	0,0010 ^a	0,0050 ^a	0,0045 ^a	0,0177 ^a
		RCVC	0,0047 ^a	0,0018 ^a	0,0009 ^a	0,0043 ^a	0,0039 ^a	0,0157 ^a
		RCLC	0,0041 ^a	0,0016 ^a	0,0009 ^a	0,0041 ^a	0,0037 ^a	0,0144 ^a
2009	PM	SRVC	0,0279 ^b	0,0294 ^b	0,0158 ^b	0,0508 ^b	0,047 ^b	0,1710 ^b
		RLVC	0,0208 ^b	0,0204 ^b	0,0114 ^b	0,0376 ^b	0,034 ^b	0,1241 ^b
		RCVC	0,0145 ^b	0,0145 ^b	0,0080 ^b	0,0263 ^b	0,024 ^b	0,0873 ^b
		RCLC	0,0288 ^b	0,0326 ^b	0,0168 ^b	0,0528 ^b	0,051 ^b	0,1821 ^b
	CS	SRVC	0,0199 ^b	0,0216 ^b	0,0094 ^b	0,0317 ^b	0,020 ^b	0,1026 ^b
		RLVC	0,0185 ^b	0,0208 ^b	0,0090 ^b	0,0299 ^b	0,019 ^b	0,0971 ^b
		RCVC	0,0150 ^b	0,0135 ^b	0,0062 ^b	0,0220 ^b	0,015 ^b	0,0716 ^b
		RCLC	0,0210 ^b	0,0401 ^b	0,0156 ^b	0,0431 ^b	0,020 ^b	0,1397 ^b

Analisando as espécies separadamente, verifica-se que quando se considera conjuntamente a parte aérea e subterrânea, a espécie *PM* é a que apresenta teores de carbono mais elevados. Durante a fase inicial do desenvolvimento de um povoamento, grande parte da energia é canalizada para a produção de biomassa da copa (folhas, ramos e raminhos), com o passar do tempo, as copas começam a competir entre si, aumentando a produção relativa do tronco e diminuindo gradativamente a biomassa das folhas e ramos (Watzlawick & Caldeira, 2004).

4.1.2. Armazenamento de carbono na vegetação herbácea

O armazenamento de carbono na vegetação herbácea diminuiu em relação a 2004, para todos os tratamentos, o que poderá ser explicado através da formação de um horizonte orgânico, que dificultou o crescimento da vegetação herbácea e que em 2004 não estava presente (Figura 11).

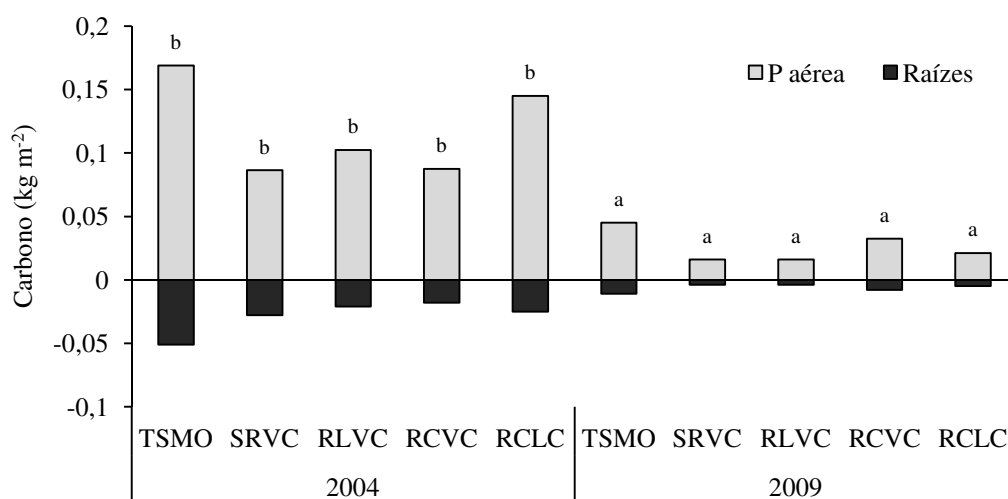


Figura 11 - Carbono armazenado na vegetação herbácea (VH) (parte aérea e raízes) nos diversos tratamentos, nos anos 2004 e 2009. Para o mesmo tratamento, colunas com letras diferentes diferem significativamente os anos ($p < 0,05$).

O contributo da parte aérea e das raízes da vegetação herbácea é pouco expressivo, na ordem dos 0,69% do total do carbono armazenado no sistema. De facto, o crescimento da vegetação herbácea pode ser condicionado pela presença de espécies arbóreas, neste caso as espécies florestais *PM* e *CS*, que à medida que vão crescendo, vão dando origem a um horizonte orgânico formado pela folhada e outras partes vegetais da árvore. Pode-se dizer que de uma maneira geral, o padrão normal na vida

dos povoamentos florestais com boa ocupação do espaço aéreo, será o de criar cada vez mais ensombramento à medida que as árvores se vão desenvolvendo, o que determinará um menor desenvolvimento da vegetação em subcoberto (Madeira et al., 2002).

4.1.3. Armazenamento de carbono no horizonte orgânico

A formação de um horizonte orgânico é de uma importância primordial na dinâmica do carbono nos ecossistemas florestais, quer como fonte de matéria orgânica, quer como reservatório de nutrientes a longo prazo (Cruzado et al., 2007). A quantidade de resíduos orgânicos presentes no solo tem variações em função das características climáticas, sendo a temperatura média anual e o déficit de água os fatores mais limitantes (Cruzado et al., 2007). O seu estado de decomposição também difere de forma considerável entre os diversos tipos de ecossistemas e usos da terra. Nos solos agrícolas, os resíduos provenientes da biomassa aérea e das raízes são misturados à superfície do solo por ação mecânica das mobilizações. Nos solos com vegetação permanente, são deixados à superfície onde vão sofrendo mineralização, podendo em parte ser misturados com o solo mineral por ação dos animais (Fonseca, 2005).

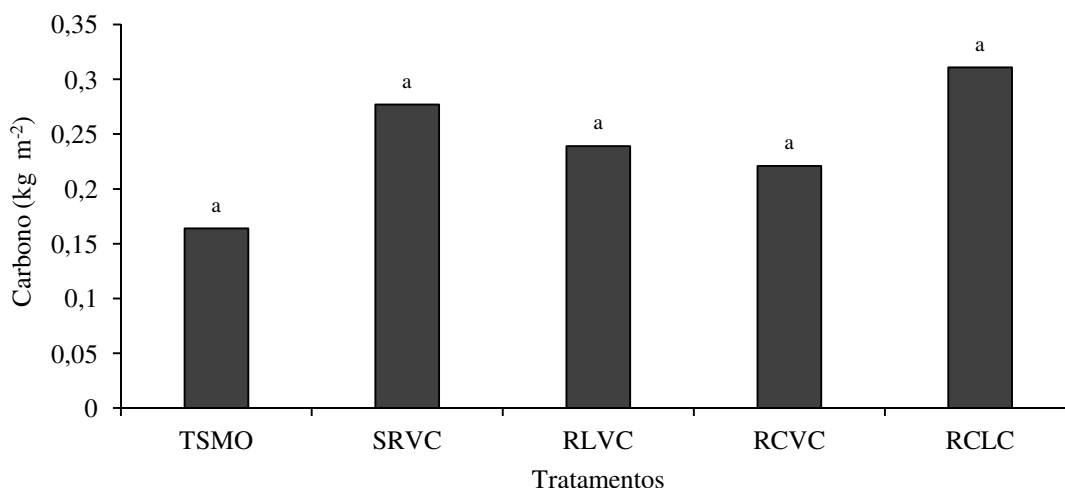


Figura 12 - Carbono armazenado (kg m⁻²) no horizonte orgânico (HO) nos diversos tratamentos, no ano 2009. Colunas com letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ($p < 0,05$).

Como era expetável, de 2004 a 2009 formou-se um horizonte orgânico à superfície do solo, o qual acrescentou carbono ao sistema. O tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC) e o tratamento de mobilização moderada (SRVC) são os que apresentam valores de carbono mais elevados no compartimento em apreciação (Figura

12). Esta constatação poderá em parte ser explicada pela maior acumulação de biomassa nas espécies neste tratamento, o que equivalerá a maior produção de resíduos orgânicos.

Quando se analisa a acumulação de carbono no conjunto vegetação herbácea e horizonte orgânico no ano 2009, verifica-se que em relação ao ano 2004, ocorreu um acréscimo de carbono no sistema (Figura 13).

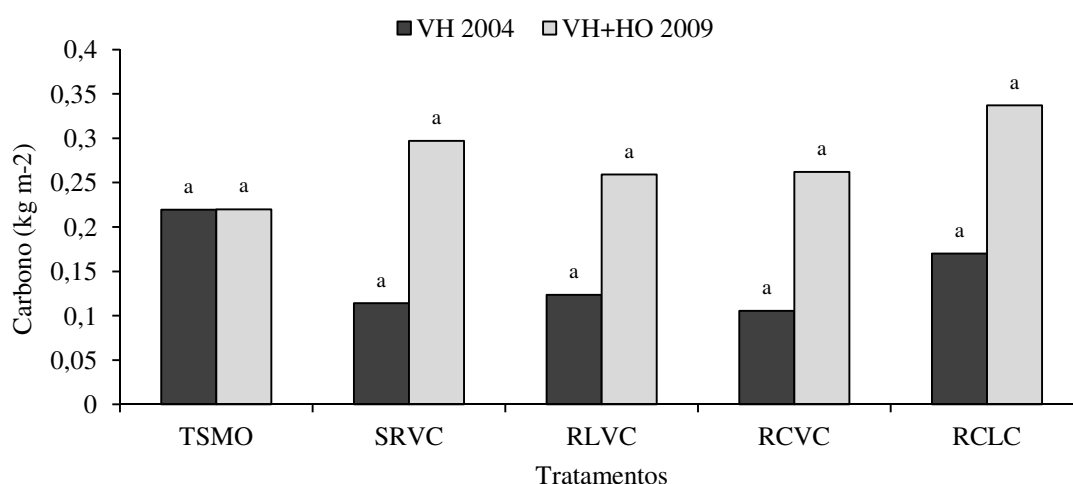


Figura 13 - Carbono armazenado (kg m^{-2}) na vegetação herbácea (VH) em 2004 e no conjunto vegetação herbácea e horizonte orgânico (VH + HO) em 2009, nos diversos tratamentos. Para a mesma variável, colunas com letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ($p < 0,05$).

4.1.4. Armazenamento de carbono nos horizontes minerais do solo

A capacidade de armazenamento de carbono pelos solos é muito variável estando dependente de vários fatores, como as propriedades físicas e químicas do solo, o clima, o tipo de uso do solo, as práticas culturais, entre outras (Galantini & Iglesias, 2007). A quantidade de carbono orgânico armazenado no solo resulta de um equilíbrio entre entradas e saídas de carbono, condicionadas pela decomposição microbiana e mineralização da matéria orgânica (Aceñolaza et al., 2007).

De um modo geral, no ano 2009 observa-se uma redução da acumulação de carbono em todas as classes de profundidade e em todos os tratamentos, comparativamente ao solo original (TSMO) e aos valores registados em 2004 (Quadro 4). A mineralização da matéria orgânica e as trocas gasosas com a atmosfera processam-se mais rapidamente nas camadas superficiais, sendo nas profundidades 0-5 e 5-15 cm onde se observam os teores mais baixos de carbono, o que poderá ser explicado pelo

incremento da oxigenação, uma vez que se verificou uma redução da massa volúmica aparente, por efeito da mobilização (Fonseca, 2005). Mais de 62% do carbono situa-se nas camadas mais profundas (15-60 cm), atingindo o tratamento RCLC nesse intervalo de profundidade, cerca de 65% do total de carbono armazenado no solo (Figura 14).

A mobilização do solo altera a localização da matéria orgânica a diferentes escalas, quer ao nível do perfil do solo (em profundidade), quer ao nível das unidades estruturais do solo, quebrando os agregados e estimulando a sua decomposição, ao tornar acessíveis à ação dos micro-organismos, materiais orgânicos anteriormente protegidos (Galantini & Iglesias, 2007).

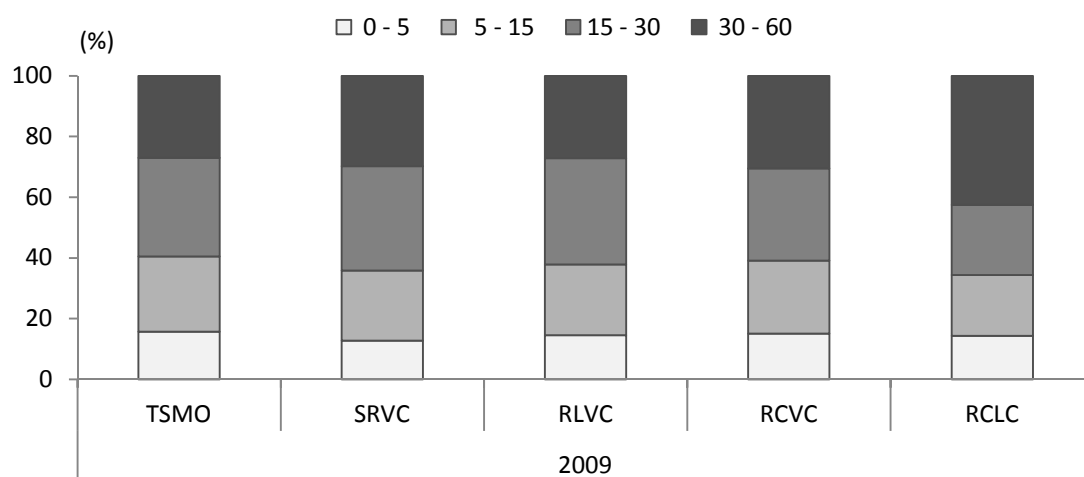


Figura 14 - Distribuição percentual da massa de carbono (kg m^{-2}) no solo, por classe de profundidade nos diversos tratamentos.

Apesar de não se verificarem diferenças significativas entre os teores de carbono armazenados no solo entre os anos 2004 e 2009, estes tendem a ser mais baixos no ano 2009 em todos os tratamentos. Até aos 30 cm de profundidade, o tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), apresenta quantidades de carbono mais baixas comparativamente aos restantes tratamentos (Quadro 4). Ao contrário, na camada mais profunda (30-60 cm) a quantidade de carbono armazenada é sistematicamente mais elevada para o tratamento referido.

Quadro 4 - Carbono armazenado no solo (kg m^{-2}) por classe de profundidade, nos diversos tratamentos ($n=5$), nos anos 2004 e 2009.

Ano	Tratamento	Profundidade (cm)				Total
		0 - 5	5 - 15	15 - 30	30 - 60	
2004	TSMO	0,81	1,33	1,67	1,37	5,18
	SRVC	0,66	1,35	1,58	1,59	5,17
	RLVC	0,60	1,20	1,43	1,85	5,07
	RCVC	0,62	1,25	1,53	1,59	4,99
	RCLC	0,39	0,78	1,28	1,70	4,14
2009	TSMO	0,82	1,28	1,69	1,41	5,20
	SRVC	0,55	0,99	1,48	1,28	4,30
	RLVC	0,58	0,92	1,39	1,08	3,97
	RCVC	0,60	0,97	1,22	1,23	4,02
	RCLC	0,48	0,67	0,78	1,43	3,37

Em comparação com os valores de 2004, pode verificar-se que a quantidade de carbono presente no solo original (TSMO) teve um ligeiro acréscimo no tempo, principalmente nas camadas mais profundas (15-30 e 30-60 cm) (Figura 15). Relativamente aos restantes tratamentos, independentemente da intensidade da mobilização, os teores de carbono no solo de 2004 para 2009, diminuíram em todas as profundidades, excetuando no tratamento RCLC, em que houve um ligeiro aumento na profundidade 0-5 cm, o que poderá atribuir-se à acumulação de folhada, mas sobretudo à formação de raízes finas das árvores e da vegetação herbácea, que são determinantes na acumulação de carbono nas camadas minerais do solo (Madeira et al, 2009).

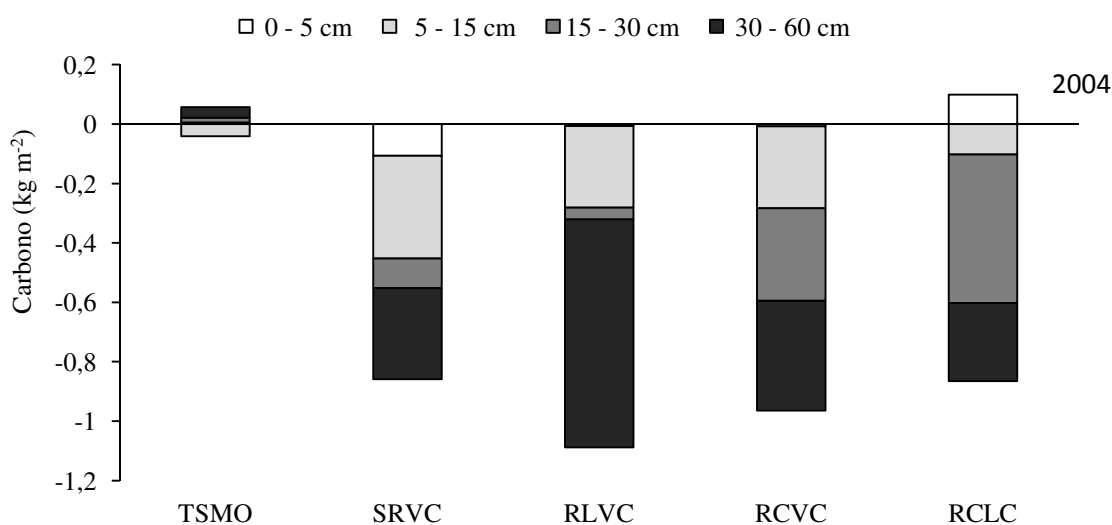


Figura 15 - Variação do teor de carbono por classe de profundidade do solo (kg m^{-2}), relativamente aos valores de 2004.

O decréscimo do teor de carbono no solo, após a instalação dos povoamentos, é frequentemente atribuído à preparação do terreno. Neste sentido quanto mais intensa for a perturbação mecânica causada no solo, maior será o impacto no decréscimo do carbono, por aceleração na decomposição da matéria orgânica e aumento das perdas por erosão hídrica (Turner & Lambert, 2000). Diversos autores verificaram que as mobilizações influenciam os teores de carbono no solo, registrando-se redução da quantidade acumulada com o aumento da intensificação das mobilizações (Madeira et al., 2002; Fonseca, 2005; Abril & Noé, 2007; Fabião et al., 2007). Madeira et al. (2002) verificaram que numa plantação de eucalipto, o tempo de uma rotação (mais ou menos 11 anos), não foi suficiente para repor os níveis de carbono no solo correspondentes à situação original.

4.1.5. Armazenamento total de carbono no sistema

Globalmente observa-se uma redução do armazenamento de carbono de 2004 para 2009, com exceção do tratamento TSMO (solo original) (Figura 16).

O carbono armazenado na biomassa das espécies florestais registou um aumento em todos os tratamentos, com especial relevância no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), devido como já foi referido, ao grande desenvolvimento das árvores. Também se registaram ganhos relacionados com a formação de um horizonte orgânico, através da deposição da folhada e outros resíduos provenientes das árvores e da vegetação herbácea. No que respeita à vegetação herbácea e ao solo, verificou-se o inverso, ou seja a tendência foi para diminuir no tempo (Figura 16).

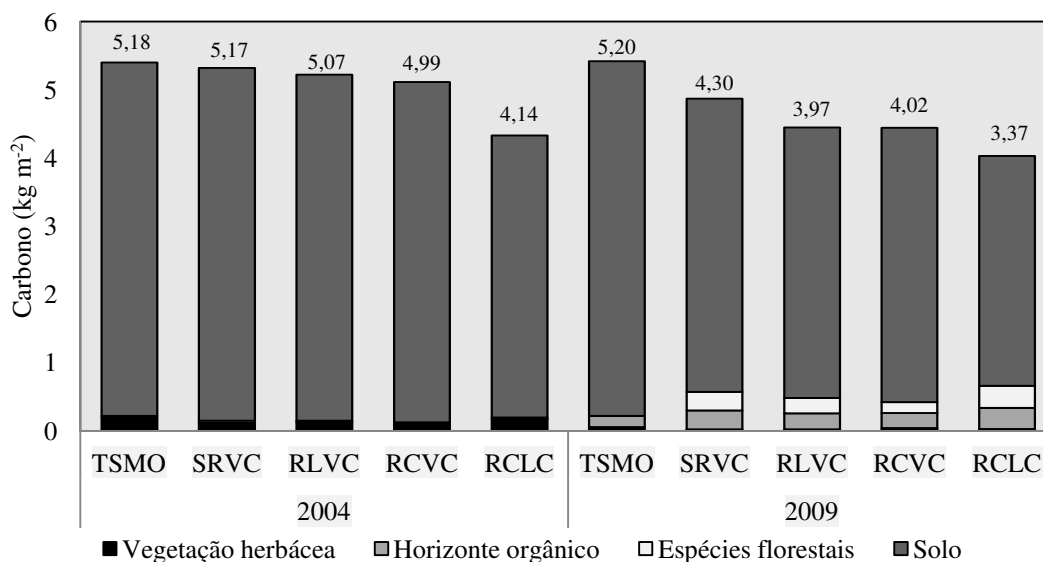


Figura 16 - Carbono total armazenado (kg m^{-2}) nos vários compartimentos do sistema, nos anos 2004 e 2009.

Os resultados apresentados na Figura 16 mostram que em 2009, à semelhança de 2004, mais de 87% do carbono armazenado no sistema encontra-se no solo, atingindo valores superiores a 95% no solo original (TSMO). Desta forma, o solo foi o compartimento que mais contribuiu para a redução do total de carbono armazenado no sistema. Em comparação com o solo original (TSMO), as maiores perdas de carbono foram registadas no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), apesar dos ganhos de carbono correspondentes às espécies florestais e ao horizonte orgânico. Ponce-Hernández (1999) refere que ao contrário da maioria dos ecossistemas tropicais onde o armazenamento de carbono é processado principalmente na biomassa, nos sistemas temperados e frios o solo constitui o principal reservatório.

A decomposição dos resíduos orgânicos está essencialmente dependente da atividade biológica, que por sua vez é influenciada pelos elementos do clima como a temperatura e a precipitação (Post & Know, 2000). É do domínio comum que a acumulação de carbono aumenta com o aumento da precipitação média anual e nos solos onde a disponibilidade de água é elevada, sendo a quantidade de carbono orgânico encontrado nos solos de Portugal extremamente variável (Correia et al., 2005).

Existe uma grande variação no período de tempo e na taxa a que o carbono se pode acumular no solo, dependendo da produtividade vegetal, dos fatores climáticos, das características físicas, químicas e biológicas do solo, do passado histórico dos ganhos de carbono e das perturbações que ocorrem no mesmo (Post & Know, 2000).

Após a florestação ocorrem inevitavelmente variações na qualidade, quantidade e distribuição espacial do carbono no solo (Madeira et al., 2002; Paul et al., 2002).

Em regiões de clima temperado/mediterrânico, como é o caso de Portugal, o tempo decorrido após a plantação tem efeitos na variação do carbono no solo (até 10 cm de profundidade), com decréscimos anuais de 0,38% em plantações com idade inferior a 10 anos, como é o caso da idade do povoamento objeto de estudo, e de 0,04% em plantações com idades superiores (Paul et al., 2002).

Quanto maiores forem as perdas de carbono a seguir aos trabalhos de instalação de um povoamento, mais tempo o sistema demora em restaurar essas perdas (Laclau, 2002).

4.2. Síntese de resultados

Os resultados mostram que mais de 87% do total de carbono armazenado no sistema encontra-se no solo, sendo que mais de 68% do carbono está armazenado nos primeiros 30 cm, tendência que se manteve comparando com os valores de 2004.

Os primeiros 5 cm de solo são os que apresentam menor quantidade de carbono, verificando-se um acréscimo em profundidade com o aumento da intensidade da mobilização. O contributo da vegetação herbácea e respetivas raízes é pouco expressivo, residindo as maiores diferenças em relação a 2004, na formação de um horizonte orgânico que acrescentou carbono ao sistema e no aumento da biomassa das espécies florestais, logo maior quantidade de carbono armazenada no sistema, sendo a espécie *PM* a que apresentou valores mais elevados.

No entanto e apesar destes acréscimos, globalmente verificou-se uma redução no teor total de carbono armazenado no sistema, em relação a 2004 e comparado com a situação de solo original (TSMO), e tanto mais acentuada quanto mais intensiva foi a mobilização do solo.

5. Conclusões

Com este trabalho pretendeu avaliar-se o armazenamento de carbono em povoamentos florestais mistos, 7 anos após a sua instalação, e efetuar a comparação dos resultados com os obtidos inicialmente (2 anos após a instalação), de modo a compreender os efeitos causados pela aplicação de diversas técnicas de preparação de terreno, em condições de clima mediterrâneo. Para o efeito, avaliou-se a evolução do armazenamento de carbono nos vários compartimentos do sistema (espécies florestais, vegetação herbácea, horizonte orgânico e solo), apresentando-se neste capítulo as principais conclusões baseadas na síntese de resultados do capítulo 4.

O armazenamento de carbono no sistema, ao longo do tempo, foi afetado pelas diversas técnicas de preparação do terreno, utilizadas na instalação do povoamento.

- O efeito da técnica de preparação do terreno na produção de biomassa foi mais pronunciado nos tratamentos SRVC e RCLC para a espécie *PM* e no tratamento RCLC para a espécie *CS*, sendo nestes tratamentos onde ocorreram maiores ganhos de biomassa. Estes valores comparados com os obtidos inicialmente (em 2004) indicam, como seria de esperar, que as árvores sobreviventes tiveram um acréscimo de biomassa.
- A proporção biomassa aérea / biomassa radical das espécies florestais ao fim de 7 anos (em 2009) segue a mesma tendência de evolução comparativamente à situação inicial (em 2004), sendo a biomassa aérea cerca de 2 a 3 vezes superior à biomassa radical.
- O armazenamento de carbono na biomassa aérea e subterrânea da vegetação herbácea é pouco expressivo.
- Comparativamente a 2004 verificou-se a formação de um horizonte orgânico, resultante da deposição de folhada e outros resíduos orgânicos no solo, o qual acrescentou carbono ao sistema, para a mesma unidade de área.

- Mais de 87% do total de carbono armazenado no sistema encontra-se no solo, verificando-se um acréscimo em profundidade com o aumento da intensidade da mobilização, sendo o resultado da inversão das camadas de solo.
- Nos tratamentos de mobilização intermédia (SRVC e RLVC), foi onde se verificaram menores perdas na quantidade total de carbono no sistema e no tratamento mais intensivo (RCLC) onde se verificaram maiores perdas, estando estas variações essencialmente relacionadas com o compartimento solo.
- Ao fim de sete anos, apesar dos ganhos verificados ao nível das espécies florestais e do horizonte orgânico, regista-se uma redução da quantidade total de carbono armazenada no sistema. Esta redução deve-se essencialmente às perturbações causadas no solo pelas técnicas de preparação do terreno, sendo no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), onde se verificou a maior redução nos teores totais de carbono por unidade de área.
- À semelhança de 2004, também se pode colocar em evidência que os tratamentos de mobilização intermédia (SRVC e RLVC) foram os que apresentaram menores perdas totais de carbono no tempo.

As conclusões deste trabalho permitem colocar em evidência que as perturbações causadas no solo pelas técnicas de preparação do terreno, refletem-se ao longo do tempo e não apenas no momento da instalação dos povoamentos. Poderá levar alguns anos até que o sistema consiga encontrar novamente o equilíbrio, pois decorridos sete anos ainda continua a verificar-se uma redução na quantidade de carbono no solo.

Seria de todo o interesse prolongar este estudo no tempo, de modo a verificar a consistência das tendências observadas e quantificar no tempo a evolução positiva do sistema.

Referências Bibliográficas

- Abril A. & Noé L., 2007. Balance de carbono del suelo según el uso de la tierra en la región Árida-Semiárida Central da Argentina. p. 22-35. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- Aceñolaza, P., Zamboni, L.P., Lancho, J.F.G., 2007. Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del bajo Paraná (R. Argentina). p. 39-51. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- Afonso, O., Magalhães, M., Madeira, M., 2005. A capacidade do *Pinus pinaster* Aiton. para acumulação de carbono orgânico. Estudo de quatro casos de povoamentos na Mata Nacional de Leiria. 5º Congresso Florestal Nacional, Instituto Politécnico de Viseu.
- Agroconsultores & Coba, 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.
- Bauhus, J., Khanna, P.K., Hopmans P., Weston, C., 2002. Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? - a case study from native eucalypt forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 171:59-74.
- Calouro, F., 2005. Actividades Agrícolas e Ambiente. Sociedade Portuguesa de Inovação, 1:19-24.
- Cerri, P.E.C., Feigl, J.B., Bernoux, M., Cerri, C.C., 2007. Estimativas de sequestro de carbono em solos do Brasil: pastagem bem manejada, cultivo de cana-de-açúcar sem queima e sistema de plantio direto. p. 107-121. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- Correia, A.P., Pereira J.S., 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- 5º Congresso Florestal Nacional, Instituto Politécnico de Viseu.

- Correia, P.C.A., 2006. Floresta, Ciclo do Carbono e Alterações Climáticas. [Consult. 21 de Abril de 2010]. Disponível em: www.naturlink.pt
- Cruzado, C.P., Salineiro, P.M., Soalleiro R.R., 2007. Captura de C en terrenos agrícolas reforestados con *Pinus radiata* en el norte de España. p. 195-212. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- Fabião, A., Madeira, M., Cortez, N., Magalhães, M.C., Ribeiro, C., 2007. As plantações de eucalipto e o solo. p. 137-174. In Alves, A.M., Pereira, J.S., Silva, J.M.N., eds. - O eucaliptal em Portugal: impactes ambientais e investigação científica. Lisboa: ISAPress.
- FAO/UNESCO. 1987. Soil Map of the World. Revised Legend. Amended fourth draft.
- Fonseca F., Martins A., Figueiredo de T., Nogueira C., Guerra A., 2007. Implicações das técnicas de preparação do terreno na qualidade do solo em sistemas florestais. p. 498-504. Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo.
- Fonseca, F., 2005. Técnicas de preparação do terreno em sistemas florestais - implicações no solo e no comportamento das plantas. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro. Tese de Doutoramento.
- Galantini J. A.; Iglesias J. O., 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región pampeana de Argentina. p 169-182. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- González M.I., Gallardo, J.F., 2007. Capacidad de secuestro de C de suelo de castaños del oeste Español. p. 183-193. La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. RED POBAICA.
- Harmon, M.E. & Marks B., 2002. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir-western hemlock forest in the Pacific Northwest, USA: results from a simulation model. Can. J. For. Res., 32:863-877.

- Instituto de Meteorologia, IP., 2012. Normais Climatológicas. Bragança. Período 1971/2000.
- Johnson, W.D., Curtis, S.P., 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management*, 140:227-238.
- Laclau, P., 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 180:317-333.
- Leite, C.F.L., Mendonça, S. E., Neves, L.C.J., Machado, A.O.L. P. & Galvão, C.C.J., 2003. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832.
- Madeira, M., Azevedo A., Soares P., Tomé M. & Araújo M.C., 2002. Efeitos da lavoura profunda e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus Globulus*. *Revista de Ciências Agrárias*, Vol.2 (1/2):158-169.
- Madeira, M., Fabião, A., Páscoa, F., 2009. Carbono e nutrientes na biomassa aérea arbórea, vegetação sob coberto e solo numa cronossequência de povoamentos de pinhal bravo. *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. 32 (2):154-170.
- Madeira, M., Ricardo, P.R., Correia A., Garcez, A., Monteiro, F., Raposo, A.J., Constantino, T.A. & Duarte, M.J., 2004. Quantidade de carbono orgânico nos solos de Portugal Continental e particularidades nos solos do Noroeste e dos montados Sul. *Edafologia*, Vol. 11 (3):279-293.
- Mafra, L.A., Guedes, F.F.S., Filho, K.O., Santos, P.C.J., Almeida, A.J. & Rosa, D.J., 2008. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Sociedade de Investigações Florestais*, Vol. 32 (2):217-224.

- Martins, A. & Pinto M.G., 2004. Efeitos da ripagem localizada versus ripagem contínua nas propriedades do solo e na resposta das plantas em novos povoamentos florestais. *Silva Lusitana*, 12 (2):191-202.
- Morisada K., Ono K., Kanomata H., 2004. Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma*, 119:21-32.
- Nunes, L., Lopes, D., 2009. Quantificação do carbono fixado em povoamentos mistos no Norte de Portugal. Repositório Científico do Instituto Politécnico de Viseu. *Revista Millenium*, Número 37 (<http://hdl.handle.net/10400.19/335>).
- Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G. & Khanna, P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. *For. Ecol. and Manage*, 168:241-257.
- Pereira, E., Ribeiro, A. & Castro, P., 2000. Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50000: Notícia Explicativa da Folha 7-D Macedo de Cavaleiros. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.
- Pereira, J.S., 2007. Floresta e Sociedade - Uma história em comum. Público, Comunicação Social, SA, Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 4: 127-142.
- Pereira, J.S., Correia, V.A., Correia, C.A., Ferreira, T.M., Onofre, N., Freitas H., Godinho, F., 2006. Florestas e Biodiversidade. p. 320-324. In Santos, F.D. e Miranda P., eds. - Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adptação. Projecto SIAM II, Gradiva Lisboa.
- Pereira, J.S., Correia, V.A., Correia, P.A., Branco, M., Bugalho, M., Caldeira C.M., Cruz, S.C., Freitas, H., Oliveira, C.A., Pereira, C.M.J., Reis, M.R., Vasconcelos, J.M., 2001. Florestas e Biodiversidade. p. 369-413. In Santos, F.D.; Forbes K.; Moita R., 2001. Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adptação - SIAM. Gradiva Lisboa.

- Ponce-Hernández, R., 1999. Assessing the carbon stock and carbon sequestration potential of current and potential land use systems and the economic rationality of land use conversions. *FAO World Resources Reports*, 86:79-94.
- Post, W.M. & Know, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6:317-327.
- Silver, W.L., Ostertag, R. & Lugo, A.E., 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 8 (4): 394-407.
- Turner, J. & Lambert, M.J., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. and Manage.*, 133:231-247.
- Valentini, R., Jean-François, S., 2009. CarboEurope - IP: An assessment of the European terrestrial carbon Balance. *Ernst-Detlef Schulze*, 1:10-1.
- Watzlawick, L.F., Caldeira, M.V.W., 2004. Estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. *Biomassa & Energia*, Vol. 4:371-380.