

ARMAZENAMENTO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE LAMEIROS NO NORDESTE DE PORTUGAL

Letícia de Alcântara Dôres

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão de Recursos Florestais no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientada por

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Professor Doutor Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Professor Doutor Carlos Alberto Casali

BRAGANÇA

2020

ARMAZENAMENTO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE LAMEIROS NO NORDESTE DE PORTUGAL

Letícia de Alcântara Dôres

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Gestão de Recursos Florestais no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientada por

Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Professor Doutor Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Professor Doutor Carlos Alberto Casali

BRAGANÇA

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

ARMAZENAMENTO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE LAMEIROS NO NORDESTE DE PORTUGAL

por

Letícia de Alcântara Dôres

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de março de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

Orientador (UFPR)

Prof. Dra. Felícia Maria da Silva Fonseca

Orientadora (IPB)

Prof. Dra. Maria Alice da Silva Pinto

Membro titular (IPB)

Prof. Dr. Luís Filipe de Souza Teixeira Nunes

Membro titular (IPB)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

ARMAZENAMENTO DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE
LAMEIROS NO NORDESTE DE PORTUGAL

Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Dupla Diplomação do Instituto Politécnico de Bragança em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Recursos Florestais. Pesquisa sob orientação da Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (IPB), Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo (IPB) e Professor Doutor Carlos Alberto Casali (UTFPR-DV).

BRAGANÇA

2020

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois nos momentos de medo, desespero e saudade, foi a minha fé que me fortaleceu.

Gostaria de agradecer também a minha família, em especial a minha mãe Marineide e meu pai Edson por sempre me ajudarem e se esforçarem para me proporcionar a melhor educação possível, vocês são meu maior exemplo de força, perseverança e luta. Aos meus irmãos Davino Neto e Victória, ao meu avô Davino, vocês são a base da minha vida e sou grata por todo amor e compreensão. E aos meus tios Walter e Edineide por todo apoio e incentivo.

Obrigada a UTFPR-DV e ESA-IPB pela oportunidade de intercambio de dupla diplomação no programa de mestrado em Gestão de Recursos Florestais.

Gratidão a minha orientadora no IPB Felícia Fonseca por toda parceria, carinho, paciência e orientações, sinto-me privilegiada pela orientação de uma profissional incrível, gratidão ao meu coorientador Tomás Figueiredo, ao José Luiz e Francieli Fernandes por toda ajuda disponibilizada. O mesmo agradecimento vale para meu orientador na UTFPR-DV Carlos Alberto Casali, pela orientação neste trabalho e em todos os outros desenvolvidos no período de 4 anos de parceria acadêmica, obrigada por sempre ser mais que um orientador, um amigo.

Obrigada a minha melhor amiga Bruna Schneider por mesmo longe estar sempre tão presente, ser meu apoio, conselheira e irmã. E obrigada aos meus grandes amigos Andre Priester, Jean Teixeira, Ingrid Mazetto, Douglas Porrua, Marianne Hasse, Yonah Favero e tantos outros que me aconselharam, me ajudaram, me acalmaram em momentos difíceis.

RESUMO

O Nordeste Transmontano Português inclui nas suas paisagens prados e pastagens permanentes, designados localmente por lameiros. Estas pastagens de carácter natural espontâneo ou subespontâneo apresentam importância eminente para a agricultura (pastoreio, culturas agrícolas), preservação da biodiversidade (fauna e flora nativa) e desempenho de serviços ecossistêmicos (sequestro de carbono, processos hidrológicos, entre outros). Deste modo, o presente estudo tem por objetivo quantificar a produtividade e o estoque de carbono, no solo e na vegetação herbácea, em lameiros do Nordeste transmontano. A área experimental localiza-se no Parque Natural Montensinho, Bragança, onde foram selecionados 16 lameiros, em um delineamento experimental de 4 tratamentos com 4 repetições cada: (1) lameiros com rio, em uso (CRU); (2) lameiros com rio, abandonados (CRA); (3) lameiros sem rio, em uso (SRU); (4) lameiros sem rio, abandonados (SRA). Em cada tratamento foram colhidas amostras de biomassa aérea numa área de 70×70 cm e amostras de biomassa radicular num volume de $35 \times 35 \times 20$ cm de solo, para avaliação da produtividade vegetal e do carbono armazenado nos tecidos vegetais. Também se procedeu à colheita de amostras de solo na camada 0-5 cm para avaliação da respiração do solo e ainda nas camadas 0-20 e 20-40 cm para determinação da quantidade de carbono no solo. Os resultados mostram que a produtividade de biomassa aérea (BA) não foi afetada pelos tratamentos ($p > 0,05$), apresentando a biomassa radicular (BR) valores significativamente superiores ($p > 0,05$) nos lameiros sem rio, em uso (SRU). A razão BR / BA foi sempre superior a 1, atingindo os maiores rácios nos tratamentos em uso (CRU e SRU). As raízes apresentam um papel importante no armazenamento de carbono neste tipo de sistemas. Nos lameiros sem rio, o uso resultou num decréscimo significativo de carbono no solo, comparativamente aos restantes tratamentos. A respiração microbiana do solo diminuiu ao longo do tempo e foi idêntica entre tratamentos. Globalmente, os lameiros constituem um importante reservatório de carbono terrestre, podendo contribuir de forma relevante para a mitigação de mudanças climáticas globais.

Palavras Chave: solo, microbiologia, abandono, corpos hídricos, carbono, biomassa

ABSTRACT

The Portuguese Nodeste Transmontano includes permanent meadows and pastures in its landscapes, known locally as lameiros. These spontaneous or sub-spontaneous natural pastures are eminently important for agriculture (grazing, agricultural crops), preservation of biodiversity (native fauna and flora) and performance of ecosystem services (carbon sequestration, hydrological processes, among others). Thus, the present study aims to quantify the productivity and carbon stock, in the soil and in the herbaceous vegetation, in lameiros of the Northeast of Trás-os-Montes. The experimental area is located in the Montensinho Natural Park, Bragança, where 16 lameiros were selected, in an experimental design of 4 treatments with 4 repetitions each: (1) River lameiros, in use (CRU); (2) River lameiros, abandoned (CRA); (3) Lameiros without river, in use (SRU); (4) Lameiros without river, abandoned (SRA). In each treatment samples of aerial biomass were collected in an area of 70×70 cm and samples of root biomass in a volume of $35 \times 35 \times 20$ cm of soil, to evaluate plant productivity and stored carbon. Soil samples were also collected in the 0-5 cm layer to assess soil respiration and in the 0-20 and 20-40 cm layers to determine the amount of carbon in the soil. The results show that the productivity of aerial biomass (BA) was not affected by the treatments, with root biomass (BR) showing significantly higher values in lameiros without river, in use (SRU). The BR / BA ratio was always higher than 1, reaching the highest ratios in the treatments in use (CRU and SRU). Roots play an important role in carbon storage in this type of system. In lameiros marshes, the use resulted in a significant decrease in carbon in the soil compared to the other treatments. Soil microbial respiration decreased over time and was identical between treatments. Globally, lameiros are an important reservoir of terrestrial carbon and can contribute significantly to the mitigation of global climate changes.

Keywords: soil, microbiology, abandonment, water bodies, carbon, biomass.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	14
OBJETIVOS	15
ORGANIZAÇÃO DA TESE	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 LAMEIROS.....	16
2.2 PRODUTIVIDADE VEGETAL DOS LAMEIROS.....	18
2.3 CARBONO	19
2.3.1 <i>Ciclo do carbono</i>	19
2.3.2 <i>Estoque de carbono</i>	22
2.3.3 <i>Estoque de carbono no solo</i>	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
3.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO DOS LAMEIROS EM ESTUDO	29
3.2.1 <i>Lameiros com presença de rio, abandonados (CRA)</i>	30
3.2.2 <i>Lameiros com presença de rio, em uso (CRU)</i>	31
3.2.3 <i>Lameiros sem presença de rio, abandonado (SRA)</i>	32
3.2.4 <i>Lameiros sem presença de rio, em uso (SRU)</i>	33
3.3 AMOSTRAGEM E AVALIAÇÕES DE CAMPO	34
3.3.1 <i>Colheita de amostras para avaliação da biomassa aérea e da biomassa das raízes da vegetação herbácea</i>	34
3.3.2 <i>Colheita de amostras de solo para avaliação do armazenamento de carbono</i>	35
3.3.3 <i>Colheita de amostras de solo para avaliação da respiração microbiana</i>	36
3.4 ANÁLISES E AVALIAÇÕES LABORATORIAIS.....	37
3.4.1 <i>Determinação da biomassa aérea e radicular da vegetação herbácea</i>	37
3.4.2 <i>Determinação da densidade aparente do solo</i>	37
3.4.3 <i>Determinação do teor de elementos grosseiros</i>	38
3.4.4 <i>Determinação da concentração de carbono orgânico no solo</i>	38
3.4.5 <i>Determinação da respiração microbiana</i>	39

3.4.6 <i>Carbono armazenado no solo e na vegetação herbácea dos lameiros</i>	40
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 PRODUTIVIDADE DOS LAMEIROS	42
4.2 CARBONO ARMAZENADO NOS LAMEIROS	45
4.2.1 <i>Carbono armazenado no solo</i>	45
4.2.2 <i>Carbono armazenado na biomassa aérea e radicular da vegetação herbácea</i>	49
4.2.3 <i>Carbono armazenado nos compartimentos solo e vegetação</i>	50
4.3 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO	51
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS FATORES ANALISADOS	53
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carbono orgânico do solo (COS) no ciclo global do carbono. Fonte: Autor (2020) adaptado de Lefèvre <i>et al.</i> , (2017).	20
Figura 2 – Impacto da gestão da terra na biodiversidade do solo. Fonte: Lefèvre <i>et al.</i> , (2017) adaptado de Wall <i>et al.</i> , (2015).	22
Figura 3 - Localização geográfica do Parque Natural de Montesinho e respetivos regimes de proteção. Fonte: ICNF (2018).	26
Figura 4 - Localização das parcelas propostas para intervenção no âmbito do Projeto HabMonte Fonte: ICNF (2018).	27
Figura 5 – Localização dos lameiros da área de amostragem. Fonte: ICNF, Autor (2020).	28
Figura 6 – Características dos lameiros LAVE 20_13 e LAVE 20_15. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	30
Figura 7 - Características dos lameiros LAVE 20_19 e LAVE 20_25. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	30
Figura 8 - Características dos lameiros LAVE 20_06 e LAVE 20_07. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	31
Figura 9 - Características dos lameiros LAVE 20_08 e LAVE 20_05. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	31
Figura 10 - Características dos lameiros LRIO 21_09 e LAVE 20_11. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	32
Figura 11 - Características dos lameiros LAVE 20_12 e LAVE 20_18. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	32
Figura 12 - Características dos lameiros LRIO 20_02 e LAVE 20_04. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	33
Figura 13 - Características dos lameiros LRIO 20_05 e LRIO 20_09B. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).	33
Figura 14 – Coleta de biomassa aérea (a). Área de vegetação após a coleta (b). Pesagem de amostra de biomassa no campo (c). Fonte: Autor (2019).	34
Figura 15 - Coleta de blocos de solo para avaliação da biomassa das raízes. Fonte: Autor (2019).	35
Figura 16 - Colheita de amostras de solo. Fonte: Fernandes (2019).	36

Figura 17 – Coleta de solo na camada de 0-5 cm de profundidade (a). Armazenamento das amostras em sacos plásticos para transporte (b). Fonte: Autor (2019).	36
Figura 18 – Processo de separação das raízes do solo (a). Lavagem das raízes em água corrente (b). Raízes após a lavagem (c). Fonte: Autor (2019).....	37
Figura 19 – Esquematização da metodologia de avaliação da respiração de microrganismos. Fonte: Autor (2020).....	39
Figura 20 – Amostra de solo encubada em pote de vidro transparente (a). Processo de titulação ácido-base das amostras (b). Amostras antes e depois da titulação (c). Fonte: Autor (2019).....	40
Figura 21 - Biomassa aérea e biomassa das raízes dos lameiros nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada compartimento de biomassa valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).	43
Figura 22 – Relação entre a biomassa das raízes (BR) e da biomassa aérea (BA) da vegetação herbácea dos lameiros nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$). Fonte: Autor (2020).	44
Figura 23 – Concentração de carbono nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).	45
Figura 24 – Densidade aparente nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$). Fonte: Autor (2020).....	46
Figura 25 - Elementos grosseiros nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).	47
Figura 26 - Carbono armazenado na biomassa aérea e das raízes da vegetação herbácea nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Fonte: Autor (2020).....	50

1. INTRODUÇÃO

Os lameiros são pastagens naturais espontâneas ou subespontâneas com importância temporal para a paisagem transmontana de Portugal. Essa vegetação cumpre papéis essenciais para a manutenção e preservação da biodiversidade nativa como a flora autóctone (carvalhais, sardoais e bosques ripícolas) e fauna (lobo ibérico, abutre negro e águia-real), e socioeconômicos (pastoreio de pequenos rebanhos domésticos). Além disso, a vegetação perene, em geral, exerce a função de estocagem de carbono na própria planta e no solo, cumprindo o importante papel de sequestro de C a partir da atmosfera através do processo de fotossíntese. Nos ecossistemas em que o estrato vegetal é predominantemente composto por herbáceas e gramíneas, as raízes são a principal fonte de carbono orgânico no solo (Gonçalves, 2012).

Os lameiros encontram-se em zonas com solos naturalmente mais férteis e geralmente em áreas húmidas, acabando por serem preferencialmente usados na introdução de novas culturas agrícolas ou antagônico a isto, as áreas são abandonadas. Para mais, os lameiros têm sua produtividade associada fortemente aos fatores de localização (altitude), clima (estações do ano), disponibilidade de água (proximidade com rios perenes ou temporários), de modo que sem regas os lameiros dificilmente serão produtivos a ponto de suprir a demanda para pastoreio e produção de feno.

O abandono dos lameiros está associado fortemente ao envelhecimento da população das aldeias e conseqüentemente ao despovoamento, às alterações dos preços dos fatores de produção e dos produtos agrícolas, e ainda à desvalorização social e económica da atividade agropecuária. O processo de abandono dessas áreas promove a homogeneização da paisagem tornando-a menos resiliente a perturbações extremas como incêndios florestais e alterações climáticas (ICNF, 2018).

Considerando o incremento significativo na emissão de gases que aumentam o fenómeno de “efeito estufa” e contribuem para o aquecimento global, dentre eles está o dióxido de carbono (CO₂) que segundo a ONU, foram liberados cerca de 4,2 bilhões de toneladas deste gás na atmosfera em 2018 (Olhoff & Christensen, 2018). É essencial que haja medidas de mitigação desse aumento de CO₂ na atmosfera, sendo a estocagem de carbono na biomassa vegetal por meio da fotossíntese, e posterior devolução ao solo, a mais eficiente. Para isso, é necessário que haja a implantação de áreas verdes, mas

principalmente a preservação das que já existem, destacando as áreas com paisagens naturais por todo seu valor social e ecológico.

Diante de toda a importância que os lameiros exercem sobre a paisagem, e as mudanças que estes vem sofrendo gradativamente, seja por seu abandono ou pela mudança no uso do solo, o seu estudo é relevante para a disseminação da sua preservação e de suma importância tanto para a comunidade acadêmica como para a comunidade que desses recursos dependem. A partir dos resultados obtidos pode-se realizar um balanço do carbono contido no ecossistema dos lameiros, e compreender quais os possíveis impactos do uso ou abandono dessas zonas na capacidade em estocar carbono de maneira eficiente.

Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo analisar as possíveis influências que o abandono e a presença de corpos hídricos em lameiros do nordeste transmontano de Portugal têm sobre a produtividade e o armazenamento de carbono no solo e na vegetação.

Organização da tese

O primeiro capítulo deste trabalho é introdutório, correspondendo a uma inserção ao tema pesquisado, sua importância e objetivos propostos.

O segundo apresenta uma revisão de literatura de relevância para o trabalho, onde se apresenta bibliografias acerca da vegetação estudada, os lameiros, e sobre o carbono, seu comportamento, sua importância ecológica.

Quanto ao terceiro capítulo, remete-se a metodologia utilizada na pesquisa, abrangendo a área de estudo, o delineamento experimental, trabalho de campo, de laboratório e estatística.

O quarto capítulo trata da apresentação dos resultados encontrados e uma discussão com base bibliográfica destes.

Por fim, no quinto capítulo, apresentam-se as conclusões do estudo e recomendações para próximos trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lameiros

A origem da denominação “lameiros” está relacionada com as características locais onde estes se desenvolvem, normalmente com abundância de disponibilidade hídrica, solos de textura fina, elevados teores de matéria orgânica, sendo áreas frequentemente encharcadas. Os lameiros são prados ou pastagens permanentes de montanha, seminaturais, que terão surgido na Alta Idade Média, simultaneamente com a fundação dos povoados de montanha (Moreira *et al.*, 2001). São constituídos por uma vegetação de caráter espontâneo ou subespontâneo (Pereira & Arrobas, 2010). Apresentam elevada importância económica e funções ecológicas e paisagísticas nas regiões de montanha do Norte e Centro de Portugal. São a base da alimentação dos rebanhos pecuários locais, apresentam ação ecológica na regulação do ciclo da água e dos nutrientes, na retenção e aproveitamento da água nas áreas de montanha, na formação e fixação do solo, na minimização da erosão em áreas de grandes declives, funcionam ainda como barreira à propagação de incêndios, devido às manchas descontínuas que criam na paisagem e exibem valor paisagístico, turístico e cultural (Poças *et al.*, 2007). A sua distribuição está principalmente concentrada em regiões montanhosas de Trás-os-Montes, mas são ainda encontrados na Beira Interior e Entre Douro e Minho, normalmente em altitudes superiores a 700/800 m. Os locais de ocorrência dos lameiros caracterizam-se por apresentarem invernos rigorosos com temperaturas mínimas baixas, normalmente negativas, e elevados valores de precipitação, apresentam ainda verões quentes, com estiagem moderada. Considerando a sua localização, onde a acessibilidade e as distâncias entre povoações eram frequentemente um fator restritivo, os sistemas de agricultura tradicionais onde os lameiros se integravam eram estruturados visando o auto abastecimento das comunidades associadas. Assim, os lameiros tinham interação com outras fontes agropecuárias características das montanhas, como as searas de centeio, cultivo de batata, os baldios e giestas (alimentação de bovinos), as hortas e as florestas (Poças *et al.*, 2007).

Essa vegetação secular mantida por populações humanas que exploram os lameiros para feno e pastoreio de pequenos rebanhos domésticos, compõe um aspecto exclusivo

para o Norte e Nordeste Transmontano Português. Seus recursos florísticos são de alta riqueza e complexidade, com diversas espécies nativas como a erva-língua (*Serapias lingua*), o satirião-real (*Dactylorhiza maculata*), a rara *Paradisea lusitanica*, a *Ajuga pyramidalis* ssp. *meonantha* e o tomilho (*Thymus pulegioides*) (ICNF, 2019).

A vegetação arbustiva e arbórea nativa com maior presença nas áreas dos lameiros e circundantes é composta principalmente por indivíduos de carvalho (*Quercus pyrenaica*), vidoeiro (*Betula celtiberica*), urzes (*Erica* spp.), carqueja (*Chamaespartium tridentatum*), sargaço (*Halimium allyssoides*), roseiras bravas (*Rosa* spp.), giestas (*Cytisus* spp.), *Genista* spp, tojos (*Ulex* spp.), azinheira (*Quercus rotundifolia*), carvalho cerquinho (*Quercus faginea*), rosmaninho (*Lavandula pedunculata*), esteva (*Cistus ladanifer*), trovisco (*Daphne gnidium*) e o sobreiro (*Quercus suber*) (Agroconsultores & Coba, 1991).

A fauna que compõe o ecossistema dos lameiros é diversa e por vezes endêmica, composta por uma representável diversidade de roedores e insetívoros, como o rato-cego (*Microtus lusitanicus*) e o rato-dos-lameiros (*Arvicola terrestris*). Ainda há a presença frequente de indivíduos de petinha-ribeirinha (*Anthus spinoletta*), a cegonha-negra (*Ciconia nigra*), os tartaranhões (*Circus cyaneus* e *Circus pygargus*) ou o lagarto-de-água *Lacerta schreiberi*, espécies animais de relevância conservacionista (ICNF, 2019). Outro animal de grande importância ecológica devido à sua fragilidade à presença de civilização é o lobo ibérico, que tem parte da sua população portuguesa concentrada no Parque Natural de Montesinho, Parque onde abundam os lameiros, e depende quase exclusivamente da preservação do habitat natural para salvaguardar a espécie (Carreira, 2010).

O êxodo rural, a reestruturação demográfica e económica das zonas rurais e a perda de importância da atividade pecuária (por perda de mão-de-obra e por diminuição da importância dos bovinos na força de tração animal), pós II Guerra Mundial, somada ainda à tendência para o despovoamento das regiões de montanha, e ao cenário de crescente limitação do recurso água, resultaram em intensas alterações nos sistemas tradicionais de agricultura (Poças *et al.*, 2007). Além disso, os lameiros foram sendo reduzidos e ameaçados pela progressiva desertificação rural, devido a uma população envelhecida. A

atividade agrícola de montanha não produz rendimento econômico suficiente que possa manter a permanência dos jovens, que saem em busca de melhores condições de vida, o envelhecimento e diminuição da população tornam difícil a manutenção e exploração destes sistemas, contribuindo para o abandono dessas áreas (Pereira & Sousa, 2006).

Segundo o ICNF (2018), o processo de abandono é mais evidente em áreas especialmente afastadas dos centros urbanos de Bragança e Vinhais, devido não só ao fator distância, mas também à complexidade orográfica dessas zonas. Essas zonas que representam elevado valor natural e paisagístico, também apresentam elevada suscetibilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais devido aos declives acentuados, à elevada quantidade de cargas combustíveis e à vegetação contínua composta por materiais inflamáveis.

2.2 Produtividade vegetal dos lameiros

Nas condições ecológicas e climáticas onde se encontram as áreas de ocorrência dos lameiros, há uma grande variação sazonal da capacidade produtiva. O inverno, caracteriza-se por ser um período limitante, no qual é consumida parte da produção vegetal primaveril que foi reservada sob a forma de feno, e procura-se promover a produção vegetal das pastagens através da rega. A produtividade vegetal depende primordialmente da abundância de água, da aplicação de nitrogênio, e da gestão dos cortes, seja por animais (pastoreio), ou feno (Pereira & Sousa, 2005).

O lameiros são caracterizados de acordo com a disponibilidade hídrica e regime de aproveitamento: lameiros de regadio (distribuídos ao longo de cursos de água perenes), lameiros de regadio imperfeito (distribuídos ao longo de cursos de água intermitentes ou com canal reduzido) e lameiros de sequeiro ou secadal (junto a cursos de água temporários), estes últimos não dispõem de regas e geralmente estão localizados em zonas de maior altitude (Ribeiro & Monteiro, 2014). De acordo com o uso, os lameiros são classificados em: lameiros de erva (exclusivamente para corte), lameiros de feno (para corte e armazenamento e pastoreio), e lameiros de pasto (destinados exclusivamente ao pastoreio) (Poças *et al.*, 2007; Ribeiro & Monteiro, 2014).

De um modo geral, as características referidas anteriormente influenciam diretamente a produtividade dos lameiros, onde os de pasto, que ocupam áreas planálticas e não são regados são menos produtivos, mas têm alta capacidade de sustentar a pecuária durante o período de primavera (época de maior produtividade vegetativa) e no início do verão, enquanto os lameiros de feno são protegidos para a produção de feno, e estes geralmente são regados durante um período do ano, e por consequência são mais produtivos e constituídos por espécies de maior teor nutricional. Os lameiros de corte, de produtividade ainda superior, são regados durante o ano todo, têm maior fertilidade e são submetidos exclusivamente ao corte (durante o verão) (Pereira & Sousa, 2005). Alguns autores apontam ainda a influência positiva que o pastoreio exerce sobre a produtividade vegetal dos lameiros, a composição florística e a qualidade nutricional do feno (Moreira *et al.*, 2001; Ribeiro & Monteiro, 2014; Rodrigues *et al.*, 2014).

Nestes sistemas, as raízes têm um papel relevante na produção de biomassa, influenciando largamente o teor de matéria orgânica do solo e conseqüentemente o armazenamento e dinâmica do carbono no solo. Bayer *et al.* (2011) afirmam que a produção de raízes e exsudatos é especialmente importante na dinâmica do carbono, uma vez que a retenção de carbono no solo é majoritariamente decorrente das raízes. Além disso, as raízes são responsáveis por introduzir matéria orgânica diretamente no subsolo (Gonçalves, 2012). As gramíneas de maneira geral, apresentam enorme potencial para o suprimento de carbono no solo, pela característica de sistema radicular extenso, e constantemente renovado (Rossi *et al.*, 2012).

2.3 Carbono

2.3.1 Ciclo do carbono

O dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) são os principais gases atmosféricos com bases de carbono. Os organismos autotróficos (especialmente plantas) e os micróbios foto e quimio autotróficos sintetizam o CO₂ atmosférico no material orgânico. O material orgânico morto (principalmente na forma de resíduos vegetais e exsudatos) é incorporado no solo pela fauna do mesmo, implicando a entrada de carbono no solo através da transformação do material orgânico por microrganismos heterotróficos (Lefèvre *et al.*,

2017). O processo de transformação de materiais orgânicos resulta em um produto complexo de biogeoquímicos de resíduos vegetais e de decomposição microbiana em vários estágios (Lützow *et al.*, 2006), que podem permanecer associados a minerais do solo ou dentro de agregados do mesmo por décadas, séculos ou até mesmo milênios (Schmidt *et al.*, 2011).

O CO₂ é emitido novamente para a atmosfera quando a matéria orgânica do solo (MOS) é decomposta (ou mineralizada) por microrganismos. O carbono (C) também é parcialmente exportado dos solos para os rios e oceanos como carbono orgânico dissolvido (COD) ou por erosão. Na generalidade, a quantidade de carbono orgânico armazenada no solo (COS) depende do equilíbrio entre a quantidade de C importada (por meio de material orgânico, fertilizantes, transporte de solo, humificação, agregação e sedimentação) para o solo e a exportada do solo (erosão, mudança no uso da terra, queimadas, volatilização e decomposição -aeróbia ou anaeróbia-), como gases resultantes da respiração e da mineralização microbiana e, em menor quantidade, da lixiviação do solo como COD (Figura 1). O C também pode ser perdido ou inserido através da erosão ou deposição do solo, o que leva à redistribuição do C no solo a nível local, paisagístico e regional (Lefèvre *et al.*, 2017).

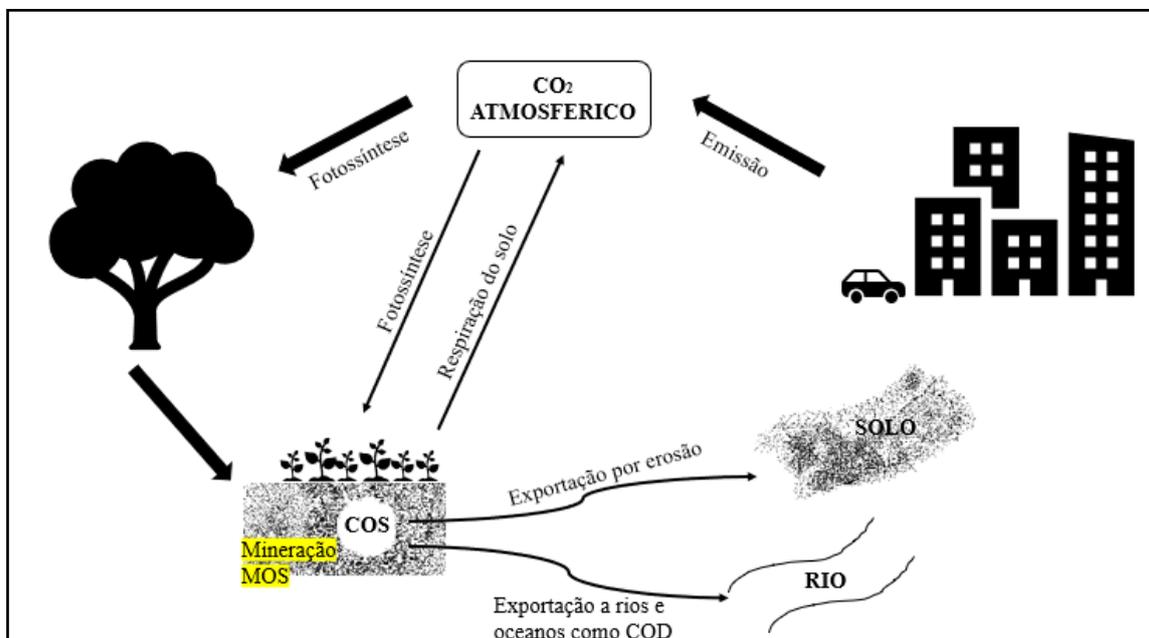


Figura 1 – Carbono orgânico do solo (COS) no ciclo global do carbono. Fonte: Autor (2020) adaptado de Lefèvre *et al.*, (2017).

Segundo Schmidt *et al.* (2011) os solos armazenam pelo menos três vezes mais carbono (na MOS) do que o encontrado na atmosfera ou em plantas vivas. O COS é o principal componente da MOS e é um elemento de extrema importância para a produção de alimentos e para a diminuição e mitigação das mudanças climáticas. Um alto teor de COS fornece às plantas os nutrientes e a água de que estas precisam, influenciando positivamente a fertilidade do solo, melhorando a produtividade dos alimentos, também é um indicador da qualidade do solo, devido à sua alta capacidade de melhorar a estabilidade estrutural do solo, influenciando a porosidade, aeração, filtragem e retenção de água. Entretanto, a sua mineralização pode ser uma fonte importante de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), indicando que a alteração na MOS (e consequentemente no COS) não altera apenas os serviços ecossistêmicos na produção agrícola, mas também na capacidade do solo resistir e mitigar mudanças ambientais (FAO / ITPS, 2018).

O chamado efeito estufa é um fenômeno natural ocasionado a partir do acúmulo de gases na atmosfera, formando uma barreira que aprisiona a radiação solar infravermelha. Processo esse que mantém o planeta aquecido, possibilitando a vida na Terra. No entanto, quando é aumentada a concentração dos GEE, maior é a radiação que fica retida na atmosfera, levando ao aquecimento global (Rosendo & Rosa, 2012). Pesquisas atuais relacionadas com a dinâmica do carbono no solo e a sua influência no fluxo global do mesmo indicam, à microescala, a importância da necessidade do COS para a renovação do C microbiano até à profundidade de 20 cm de solo (Vogel *et al.*, 2014), e na ligação entre as comunidades microbianas e as propriedades dinâmicas e inertes do solo relacionadas com o ciclo do C e a interação do mesmo em outras dinâmicas bioquímicas (Gärdenäs *et al.*, 2011).

A liberação de CO₂ a partir do solo para a atmosfera ocorre por meio da decomposição dos resíduos orgânicos e pela oxidação da MOS. O fluxo de CO₂ liberado pela edafofauna e pela rizosfera é chamado de respiração do solo (respiração microbiana - respiração basal) e representa o segundo maior fluxo de carbono terrestre para a atmosfera (Raich & Potter, 1995). A respiração do solo é sazonalmente variável, sendo controlada por fatores ambientais como temperatura, umidade, teor de nutrientes e

concentração de oxigênio no solo. Consequentemente, efeitos das mudanças climáticas (especialmente aumento de temperatura e mudança do regime das chuvas) influenciam diretamente a respiração do solo (Lefèvre *et al.*, 2017).

As perdas na biodiversidade (vegetal, micro, meso e macro fauna do solo) afetam múltiplas funções ecossistêmicas, incluindo decomposição do COS, retenção e ciclagem de nutrientes (FAO / ITPS, 2018). O mal manejo e práticas de uso da terra associadas e as mudanças ambientais podem afetar as comunidades subterrâneas globalmente, e haver o declínio na biodiversidade do solo reduzindo e prejudicando esses benefícios (Figura 2) (Wall *et al.*, 2015).



Figura 2 – Impacto da gestão da terra na biodiversidade do solo. Fonte: Lefèvre *et al.*, (2017) adaptado de Wall *et al.*, (2015).

2.3.2 *Estoque de carbono*

Anteriormente à era industrial, as concentrações atmosféricas de CO₂ encontravam-se entre 180 e 290 ppm (Hönisch *et al.*, 2009). O aumento de CO₂ atmosférico entre 1750 e 2011 foi de 240 Pg C, 40% superior ao anterior à industrialização. No ano de 2018 o crescimento de emissões fósseis e antrópicas (energia, produção de cimento) foi de cerca

de 10 Gt C ano⁻¹ (Olhoff & Christensen, 2018). Em 2019 a concentração global de CO₂ atmosférico atingiu 407,38 ppm em média, sendo superior em relação a 2018 (Peters *et al.*, 2019). Esse aumento da concentração de CO₂ atmosférico se deve principalmente à queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, especialmente o desmatamento (IPCC, 2014).

Quando se trata do carbono do solo, deve-se considerar dois lados: o facto de que as atividades antropogênicas podem transformá-lo num sumidouro ou fonte líquida de GEE. E como fonte, o solo emite GEE para a atmosfera, onde retêm a radiação térmica que aumenta o efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global. Os GEE baseados em carbono emitidos pelo solo são CO₂ e CH₄. Por outro lado, os solos também têm um enorme potencial de armazenamento dos principais GEE (especialmente C; sequestro de carbono no solo), onde sob condições aeróbicas, as bactérias metanotróficas no solo proliferam e usam o metano como fonte de carbono num processo chamado metanotrofia (oxidação do metano) (Lefèvre *et al.*, 2017).

O sequestro de COS é o processo pelo qual o carbono da atmosfera é retido através das plantas ou resíduos orgânicos armazenados no solo. Esse sequestro de COS é realizado basicamente em três etapas: 1) a captura de CO₂ da atmosfera através da fotossíntese das plantas; 2) a transferência do CO₂ para a biomassa vegetal; e 3) o deslocamento do carbono da biomassa vegetal para o solo onde é armazenado em forma de COS na reserva mais instável (de maior rotatividade - de dias a poucos anos), que engloba resíduos orgânicos recentemente incorporados e podem ser facilmente decompostos pela edafofauna, normalmente causando emissões de CO₂ para a atmosfera. Desta forma, é essencial o planejamento de medidas de sequestro de COS além da captação de CO₂ da atmosfera, é necessário reter C em componentes estáveis (Lefèvre *et al.*, 2017).

2.3.3 Estoque de carbono no solo

O C pode ser fixado no solo por diferentes processos. Fisicamente, o C pode ser estabilizado através do seu isolamento em macro e micro agregados do solo, onde fica inacessível aos organismos. Quimicamente, o C pode ser fortemente ligado às argilas

através de ligações químicas fortes que também impedem o seu consumo pelos organismos. Bioquimicamente, o carbono pode ser sintetizado em estruturas complexas de moléculas que podem impedir a decomposição. Esses três mecanismos dependem de uma série de fatores bióticos, abióticos e do manejo do solo, que determinam a efetividade da estabilização do carbono no mesmo (Six *et al.*, 2006). De um modo geral, o ciclo do C e o sequestro de C são mais intensos nos horizontes superficiais do solo, por outro lado, o carbono estabilizado, com tempos de rotação maior, constitui uma maior proporção do COS total encontrado nos horizontes mais profundos do solo (Rumpel *et al.*, 2012).

O inadequado manejo do solo, ainda utilizado em muitos agroecossistemas (como monoculturas, uso extensivo de lavoura, insumos químicos), degrada a frágil rede de interações da comunidade biológica, o que tem um impacto negativo nos depósitos de COS. Quando as perdas de COS não podem ser totalmente justificadas pelas propriedades físicas do solo, a hipótese é que a estabilidade do COS depende da atividade e diversidade dos organismos edáficos (Gardi & Jeffery, 2018). Visando as perdas contínuas na diversidade microbiana do solo, o entendimento das relações entre a biodiversidade do solo e o ciclo do C é essencial para delinear como a perda de diversidade sob a contínua alteração do ecossistema por ações antrópicas pode influenciar os processos globais (Graaff *et al.*, 2015).

Segundo a FAO (2009), a gestão das pastagens é a segunda tecnologia agrícola mais importante na mitigação de mudanças climáticas globais, visto que englobam cerca de 30% da superfície terrestre, ocupando por volta de 3,4 bilhões de hectares, onde 73% estão afetados pela degradação dos solos, e por volta de 1 bilhão de pessoas dependerem dessas áreas para sustento econômico. As práticas de gestão do solo podem afetar as taxas de mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente a quantidade de carbono no solo, causadas principalmente por pastoreio, fogo e fertilização (Rosendo & Rosa, 2012). O estoque de carbono no solo, para além de depender da concentração de carbono, depende também do teor de elementos grosseiros (partículas com dimensões superiores a 2 mm) e da densidade aparente do solo.

O carbono orgânico exerce certa influência sobre a resistência do solo, que pode estar relacionado com seu efeito determinante na formação e estabilização dos agregados

do solo (Silva *et al.*, 2006; Braida *et al.*, 2010). A matéria orgânica pode aumentar ou reduzir a resistência do solo, dependendo do seu efeito conjunto sobre a densidade. Quando os efeitos de redução da densidade do solo são aumentados com a porosidade, a resistência à compressão diminui (Braida *et al.*, 2010).

Para Sofia (2015), os elementos grosseiros exerce o papel de indicador de erosão do solo, de modo que, quanto maior a quantidade de elementos grosseiros nas camadas superiores do solo, maior o indicativo de que houve a remoção de materiais mais finos (terra fina < 2 mm) do solo por meio de agentes erosivos. Considerando que o C no solo está essencialmente associado às argilas e à matéria orgânica, ao haver perda de terra fina, há conseqüentemente perda de carbono. Ou seja, o aumento da quantidade de elementos grosseiros no solo contribui para uma redução da quantidade de C no mesmo.

Nos solos, a liberação de CO₂ para a atmosfera ocorre através da decomposição biológica dos resíduos orgânicos ou oxidação da MOS. O fluxo de CO₂ liberado pela edafofauna e rizosfera para a atmosfera é chamado de respiração do solo (ou respiração microbiana-respiração basal) e representa o segundo maior fluxo de carbono terrestre (Raich & Potter, 1995). A respiração do solo é sazonalmente variável, sendo controlada por fatores ambientais como temperatura, umidade, teor de nutrientes e concentração de oxigênio no solo. Sendo assim, efeitos das mudanças climáticas (especialmente aumento de temperatura e mudança de regime de chuvas) influenciam diretamente a respiração do solo (Lefèvre *et al.*, 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito do Projeto HabMonte - Projeto de Prevenção Estrutural e Conservação de Habitats Naturais Protegidos e Espécies Prioritárias do Parque Natural de Montesinho - desenvolvido pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), no Parque Natural de Montesinho (PNM), com o intuito de proteção e conservação da biodiversidade da flora autóctone e fauna endêmica. O PNM foi criado a partir do Decreto-Lei n.º 355/79, de 30 de agosto, e posteriormente reclassificado pelo Decreto Regulamentar n.º 5-A/97, de 4 de abril, como uma Área Protegida (Figura 3).

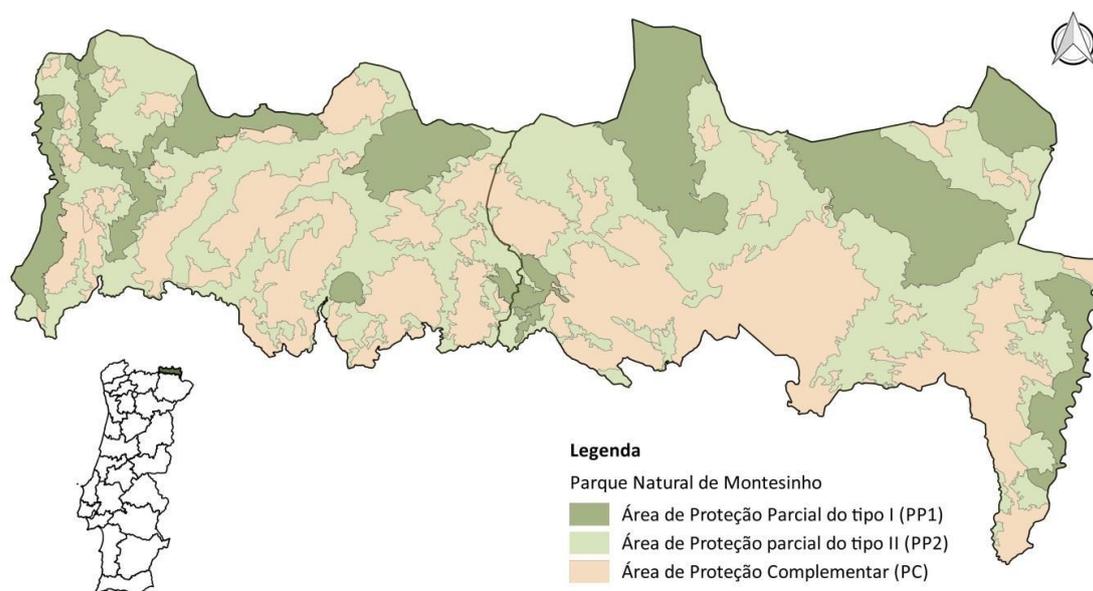


Figura 3 - Localização geográfica do Parque Natural de Montesinho e respetivos regimes de proteção. Fonte: ICNF (2018).

O PNM é um dos maiores parques naturais de Portugal Continental, localiza-se na região de Trás-os-Montes no Nordeste do país (41°43'47'' a 41°59'24'' N e 6°30'53'' a 7°12'9'' W), abrangendo 74 230 hectares, cerca de 9 000 habitantes, distribuídos por 92 aldeias. Trata-se de um território de montanha composto por um conjunto de paisagens

naturais, seminaturais e humanizadas, onde existe elevada diversidade biológica, reconhecida a nível regional, nacional e europeu (ICNF, 2018).

A altitude do PNM varia de 438 a 1489 m. O clima da região é Csb segundo a classificação de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006), definido como clima mediterrânico, com verões secos e frescos e invernos frios e chuvosos. A temperatura média anual varia de 8°C a 12°C e a precipitação média anual de 1000 a 1600 mm, concentrada entre outubro e março (IPB/ICN, 2006). Segundo a descrição de Agroconsultores & Coba (1991), os lameiros ocupam solos integrados nas unidades Fluvisolos, Cambissolos, Regossolos e Antrossolos, sendo o xisto a litologia mais representativa da área do PNM.

O Projeto HabMonte, está a desenvolver intervenções que visam favorecer diversos habitats naturais e seminaturais como prados e pastagens permanentes (lameiros), bosques caducifólios mesofílicos, bosques perenifólios, bosques hidrófilos e higrófilos e comunidades arbustivas, em áreas do PNM identificadas por Parcela da Coroa, Parcela de Montesinho e Parcela da Lombada (Figura 4).



Figura 4 - Localização das parcelas propostas para intervenção no âmbito do Projeto HabMonte
Fonte: ICNF (2018).

O presente estudo desenvolveu-se na Parcela da Lombada (Nordeste do PNM), local onde está a decorrer um Projeto Piloto de recuperação e estudo de prados e pastagens permanentes, localmente designados por lameiros (Figura 5). A área de amostragem engloba 16 lameiros que obedecem a critérios de abandono / uso e presença / ausência de corpos hídricos (rio). Com base nestes critérios, foram estabelecidos 4 tratamentos com 4 repetições cada (Figura 5 e Quadro 1).

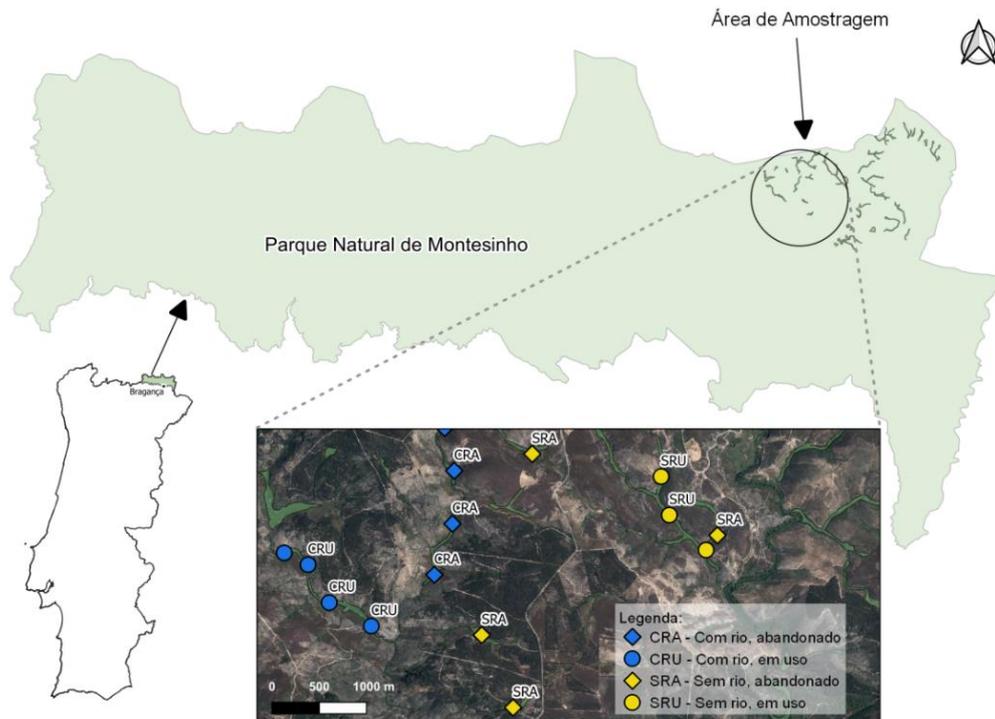


Figura 5 – Localização dos lameiros da área de amostragem. Fonte: ICNF, Autor (2020).

Quadro 1 – Descrição dos tratamentos e identificação dos lameiros de acordo com o Projeto HabMonte.

Tratamento	Descrição	Identificação dos lameiros (Projeto HabMonte)
CRA	Lameiro com rio, abandonado	LAVE 20_13; LAVE 20_15; LAVE 20_19; LAVE 20_25
CRU	Lameiro com rio, em uso	LAVE 20_06; LAVE 20_07; LAVE 20_08; LAVE 20_05
SRA	Lameiro sem rio, abandonado	LRIO 21_09; LAVE 20_11; LAVE 20_12; LAVE 20_18
SRU	Lameiro sem rio, em uso	LRIO 20_02; LRIO 20_04; LRIO 20_05; LRIO 20_09B

3.2 Breve caracterização dos lameiros em estudo

A descrição dos 16 lameiros foi realizada, de acordo com a posição geográfica, declive, vegetação ripícola e herbácea, afloramentos rochosos e vegetação nas áreas envolventes (Figuras 6 a 13). Os lameiros estão identificados pelos acrónimos utilizados pelo Projeto HabMonte.

3.2.1 Lameiros com presença de rio, abandonados (CRA)

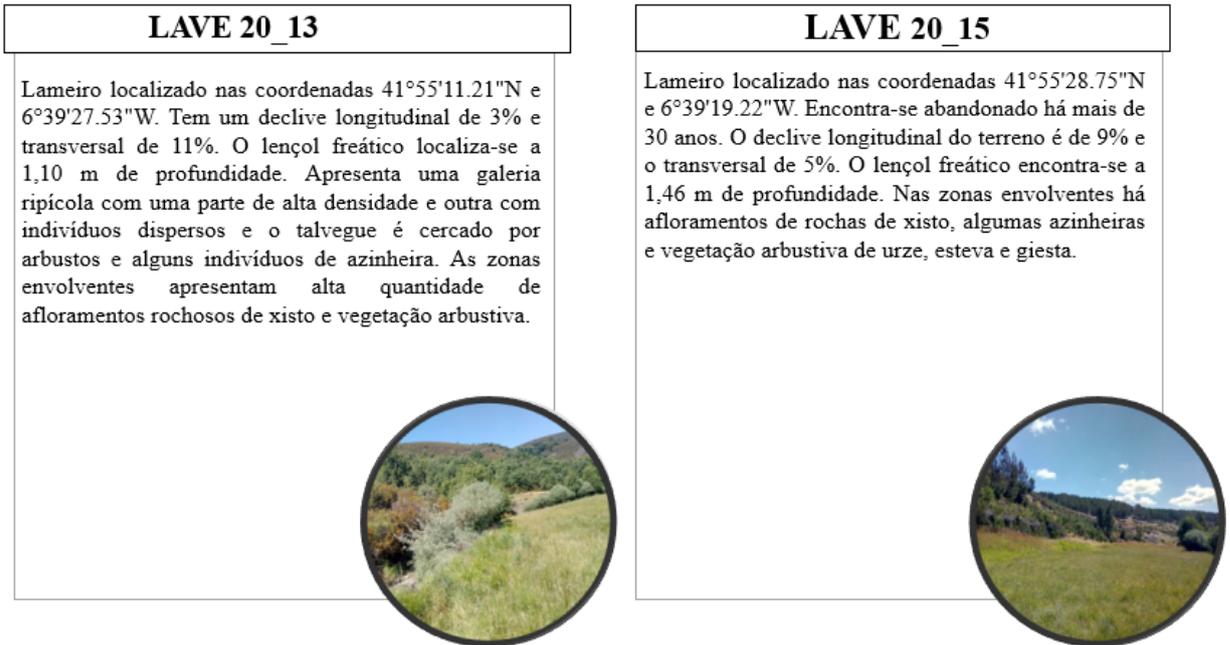


Figura 6 – Características dos lameiros LAVE 20_13 e LAVE 20_15. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

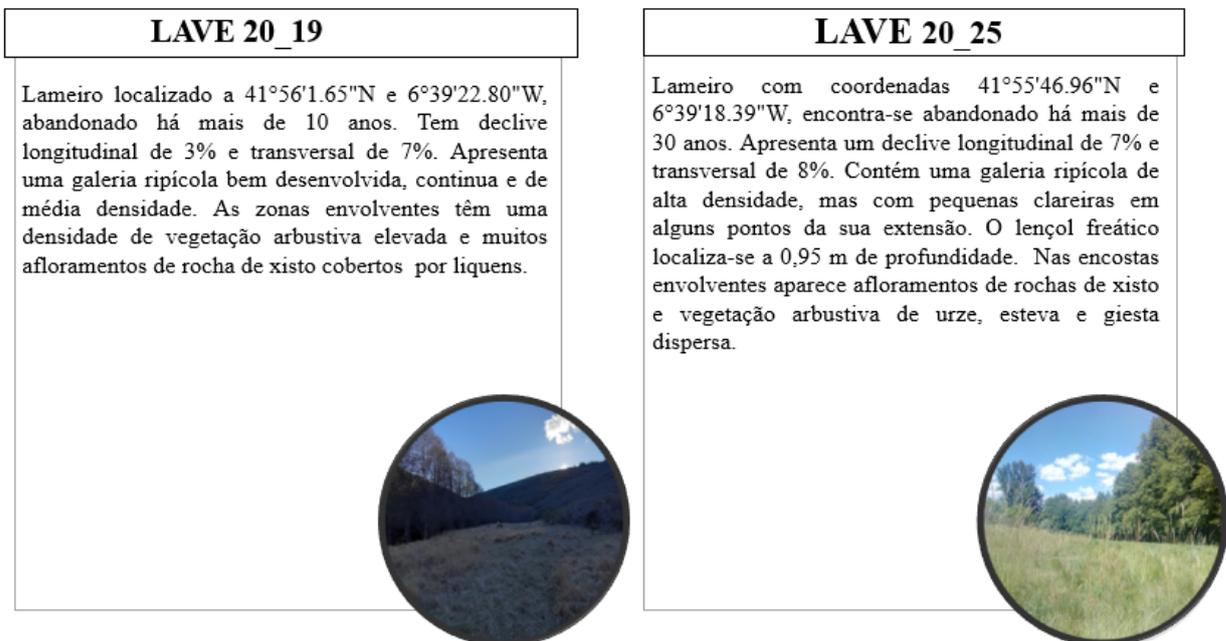


Figura 7 - Características dos lameiros LAVE 20_19 e LAVE 20_25. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

3.2.2 Lameiros com presença de rio, em uso (CRU)

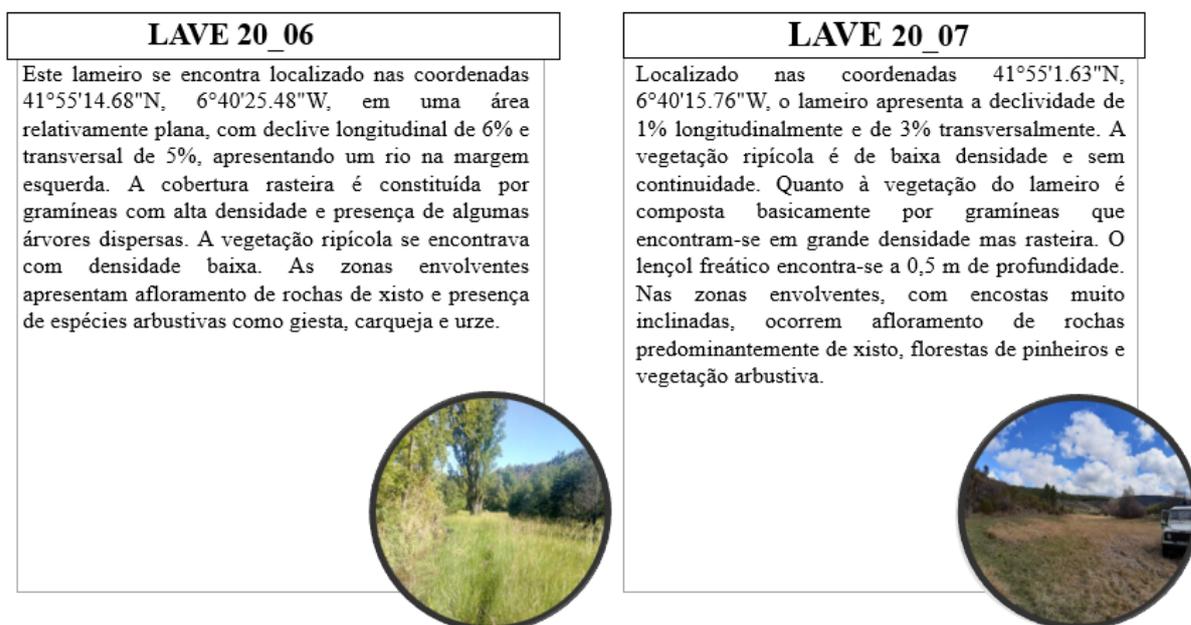


Figura 8 - Características dos lameiros LAVE 20_06 e LAVE 20_07. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

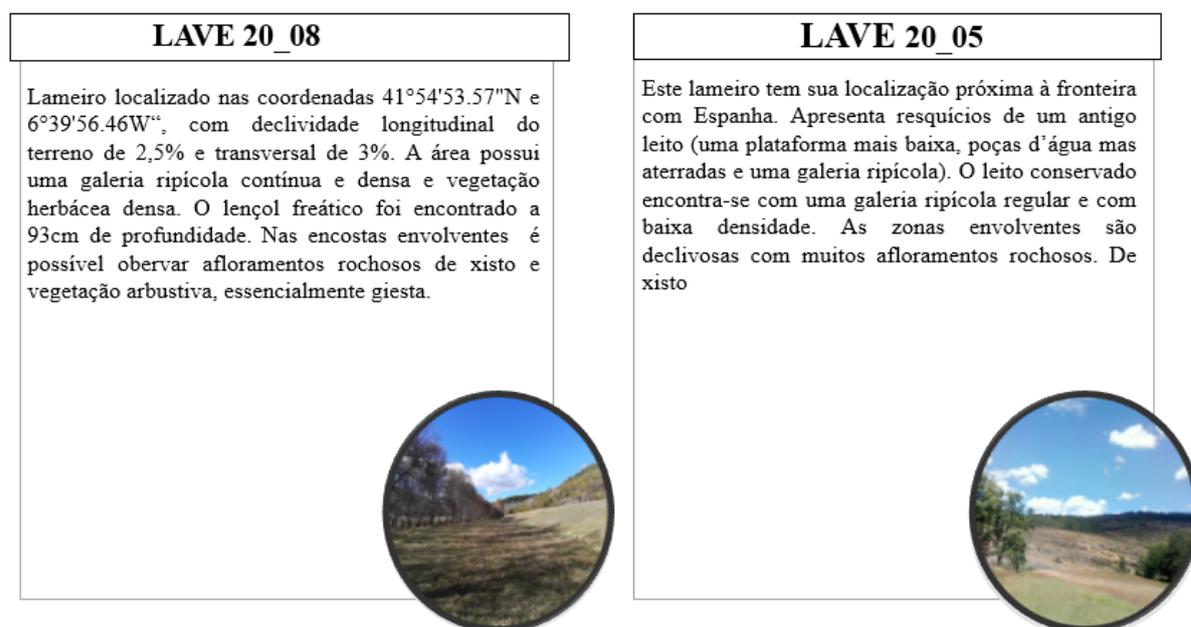


Figura 9 - Características dos lameiros LAVE 20_08 e LAVE 20_05. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

3.2.3 Lameiros sem presença de rio, abandonado (SRA)

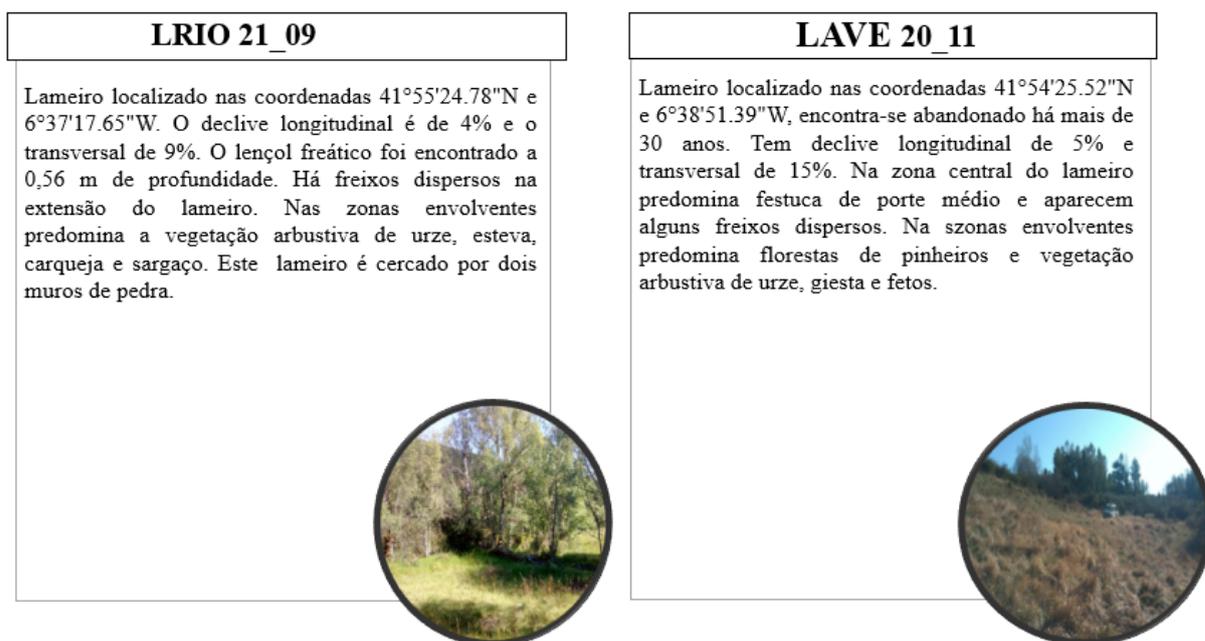


Figura 10 - Características dos lameiros LRIO 21_09 e LAVE 20_11. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

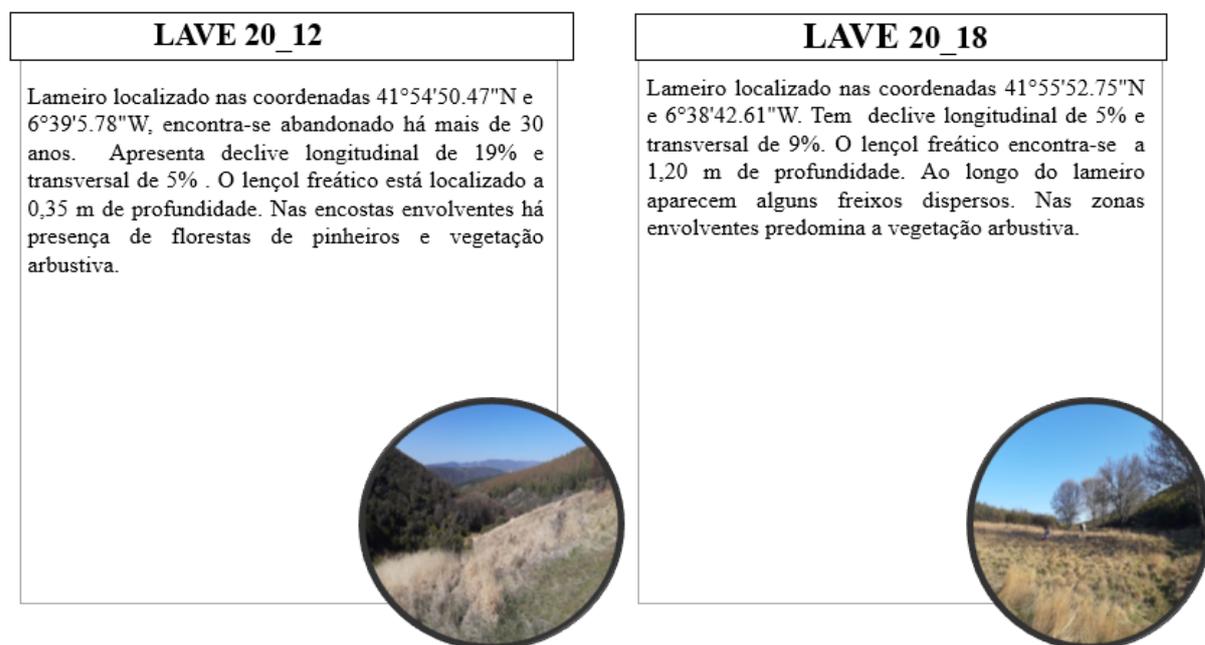


Figura 11 - Características dos lameiros LAVE 20_12 e LAVE 20_18. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

3.2.4 Lameiros sem presença de rio, em uso (SRU)

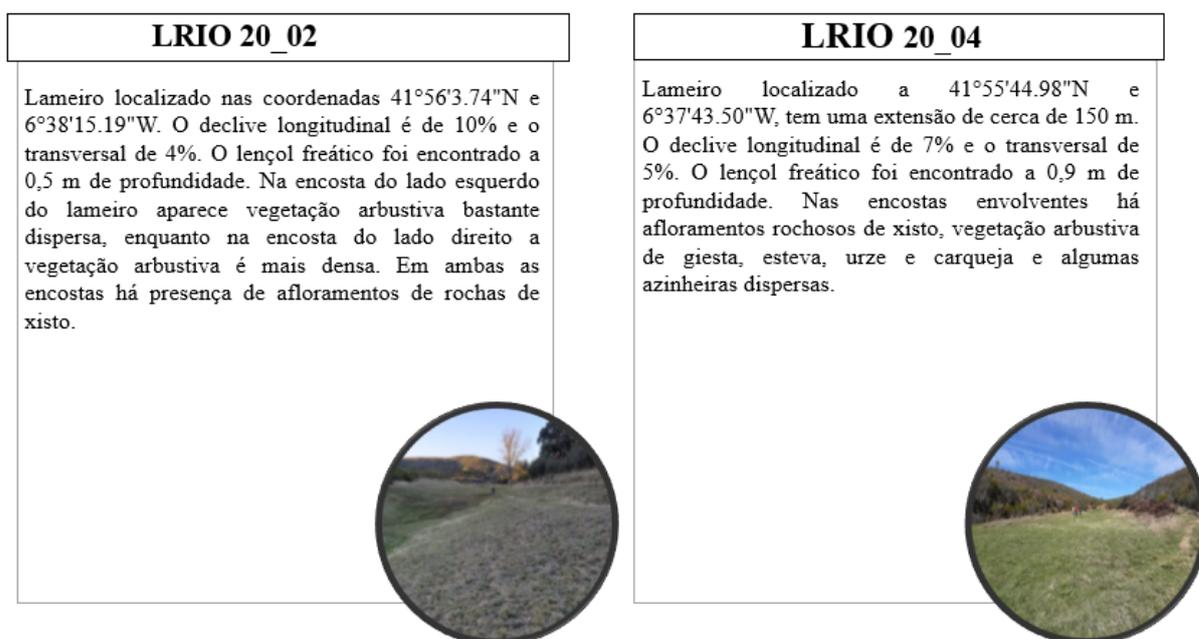


Figura 12 - Características dos lameiros LRIO 20_02 e LAVE 20_04. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

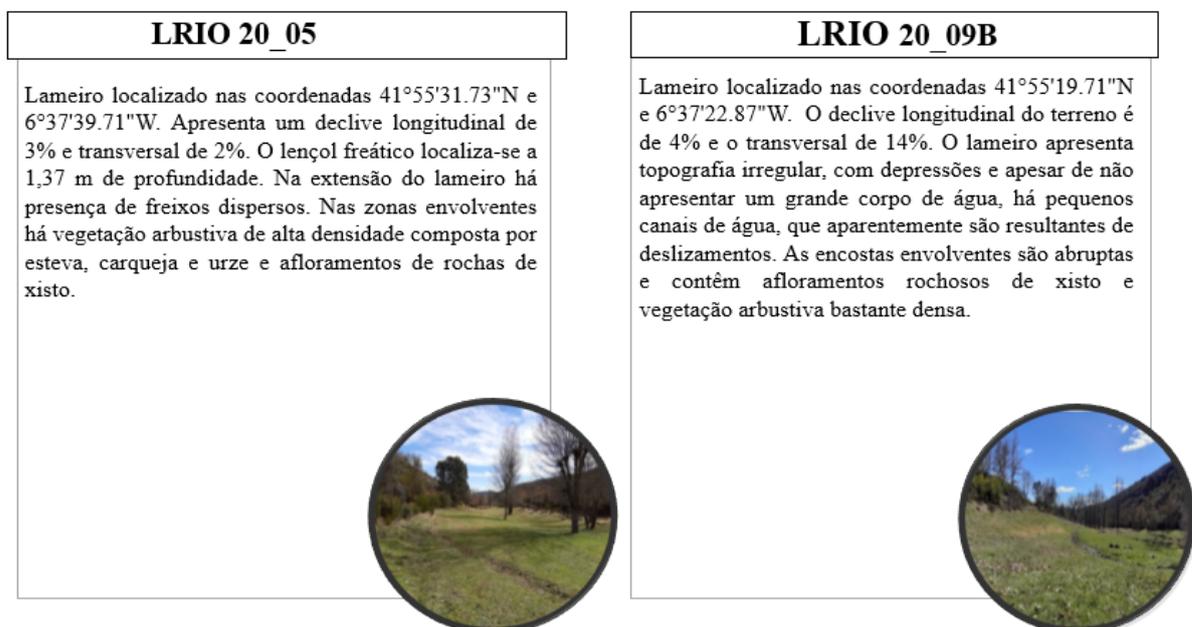


Figura 13 - Características dos lameiros LRIO 20_05 e LRIO 20_09B. Fonte: Autor (2020) e Fernandes (2019).

3.3 Amostragem e avaliações de campo

3.3.1 Colheita de amostras para avaliação da biomassa aérea e da biomassa das raízes da vegetação herbácea

As colheitas foram efetuadas em junho de 2019, época do ano em que a maioria das espécies apresentam o máximo de produção da parte aérea (Arevalo *et al.*, 2009) e da parte subterrânea (Curt *et al.*, 2001). Frequentemente, a biomassa aérea encontrava-se parcialmente consumida pela fauna selvagem, nomeadamente veados e corsos. Após avaliações de campo, foram selecionados 64 pontos de amostragem (4 por lameiro), representativos das condições locais. Em cada ponto foi delimitada uma área de 70×70 cm e cortada, com uma pequena foice, a parte aérea da vegetação herbácea e determinado o peso fresco por pesagem no campo (Figura 14). Após cada pesagem, retirou-se uma subamostra por ponto (64 subamostras no total), que foram levadas para processamento no laboratório.

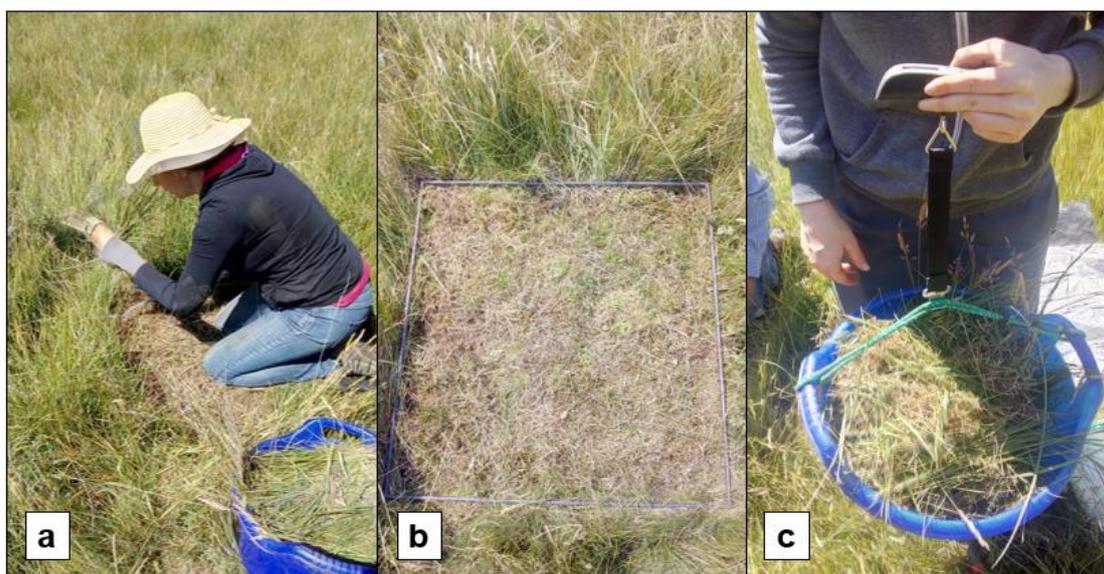


Figura 14 – Coleta de biomassa aérea (a). Área de vegetação após a coleta (b). Pesagem de amostra de biomassa no campo (c). Fonte: Autor (2019).

Para a quantificação da biomassa das raízes, em cada área onde se cortou a biomassa aérea, procedeu-se à colheita de um bloco de solo com as dimensões $35 \times 35 \times 20$ cm (1/4 da área), utilizando para o efeito uma pá de corte (64 blocos de solo no total) (Figura

15). Estes blocos foram transportados para o laboratório para posterior separação das raízes e avaliação da matéria seca.

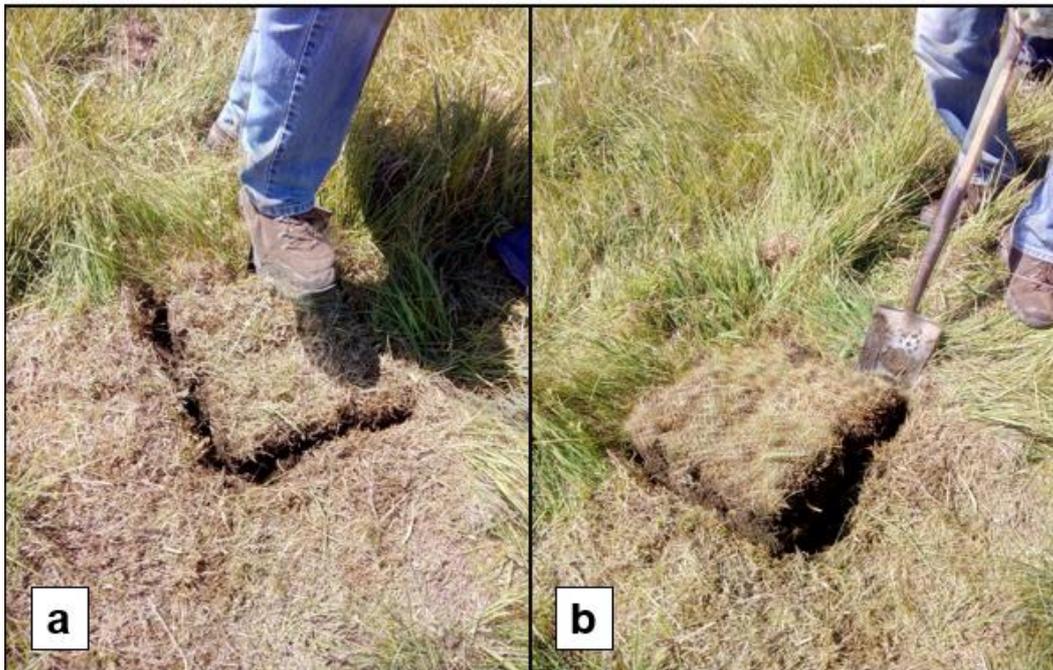


Figura 15 - Coleta de blocos de solo para avaliação da biomassa das raízes. Fonte: Autor (2019).

3.3.2 Colheita de amostras de solo para avaliação do armazenamento de carbono

Nos mesmos 64 pontos de amostragem (4 por lameiro), onde se procedeu ao corte da vegetação herbácea, foram colhidas amostras de solo. A colheita de amostras foi realizada em trincheiras, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm (Figura 16). Em cada lameiro, as quatro amostras obtidas por cada profundidade foram muito bem homogeneizadas e retirada uma amostra composta por profundidade (0-20 e 20-40 cm), perfazendo um total de 32 amostras para os 16 lameiros (16 na camada 0-20 cm e 16 na camada 20-40 cm). Posteriormente, as amostras foram secas a 45°C e crivadas com um crivo de malha de 2 mm. Para determinação da densidade aparente, procedeu-se à colheita de amostras não perturbadas nas mesmas profundidades referidas anteriormente (0-20 e 20-40 cm), com auxílio de um cilindro de 100 cm³ de volume, nos 64 locais de amostragem. Posteriormente, as amostras foram secas a 105°C, pesadas e determinada a densidade aparente.



Figura 16 - Colheita de amostras de solo. Fonte: Fernandes (2019).

3.3.3 Colheita de amostras de solo para avaliação da respiração microbiana

Para a avaliação da respiração microbiana foram colhidas amostras de solo na camada 0-5 cm nos 64 pontos de amostragem (Figura 17). As amostras foram devidamente identificadas e armazenadas em sacos de plásticos, transportadas para o laboratório e mantidas em 4° C até o momento da análise.



Figura 17 – Coleta de solo na camada de 0-5 cm de profundidade (a). Armazenamento das amostras em sacos plásticos para transporte (b). Fonte: Autor (2019).

3.4 Análises e avaliações laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, Portugal.

3.4.1 Determinação da biomassa aérea e radicular da vegetação herbácea

As subamostras da parte aérea da vegetação herbácea foram pesadas, secas a 65°C durante 48 h e novamente pesadas. Na posse destes dados calculou-se o teor de humidade e converteu-se o peso total fresco (obtido no campo) em matéria seca por unidade de área (Mg ha^{-1}).

A biomassa das raízes foi obtida através da lavagem com água corrente dos blocos de solo que continham raízes, colhidos no campo (Figura 18). As amostras das raízes foram secas a 65°C durante 48 h e posteriormente pesadas e determinada a quantidade de matéria seca por unidade de área (Mg ha^{-1}).



Figura 18 – Processo de separação das raízes do solo (a). Lavagem das raízes em água corrente (b). Raízes após a lavagem (c). Fonte: Autor (2019).

3.4.2 Determinação da densidade aparente do solo

As amostras não perturbadas, trazidas do campo, foram colocadas numa estufa durante 48 horas a 105°C. Após este período foram pesadas para determinar o peso da

amostra seca. Na determinação da densidade aparente (D_{Ap}), utilizou-se a seguinte equação:

$$D_{Ap} = \frac{\text{Peso da amostra de solo seco}}{\text{Volume da amostra}}$$

3.4.3 Determinação do teor de elementos grosseiros

As amostras de solo perturbadas, colhidas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, foram levadas à estufa a 45°C durante 48 h. Após a perda de umidade, foram pesadas e crivadas num crivo de malha de 2 mm, durante 3 minutos num agitador de peneiros. Este processo permite a separação das frações elementos grosseiros (partículas maiores que 2 mm) e terra fina (partículas menores que 2 mm). Os elementos grosseiros foram pesados e expressos em percentagem em relação ao peso total da amostra de solo. As amostras de terra fina foram analisadas em laboratório para a determinação da concentração de carbono.

3.4.4 Determinação da concentração de carbono orgânico no solo

A concentração de carbono orgânico foi calculada por multiplicação do teor de matéria orgânica pelo fator 0,58, geralmente aceite, tendo em atenção a percentagem média de carbono dos compostos orgânicos do solo. A determinação da matéria orgânica foi realizada a partir do método de Walkley-Black (Comb & Nathan., 1998). Foi efetuada a digestão úmida da amostra de solo com solução de dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos. O dicromato residual foi titulado com sulfato de ferro amoniacal 0,5M usando fenantrolina como indicador.

3.4.5 Determinação da respiração microbiana

A respiração microbiana foi avaliada através da metodologia descrita por Anderson (1990), esquematizada na Figura 16, baseada na avaliação de emissão de C-CO₂.

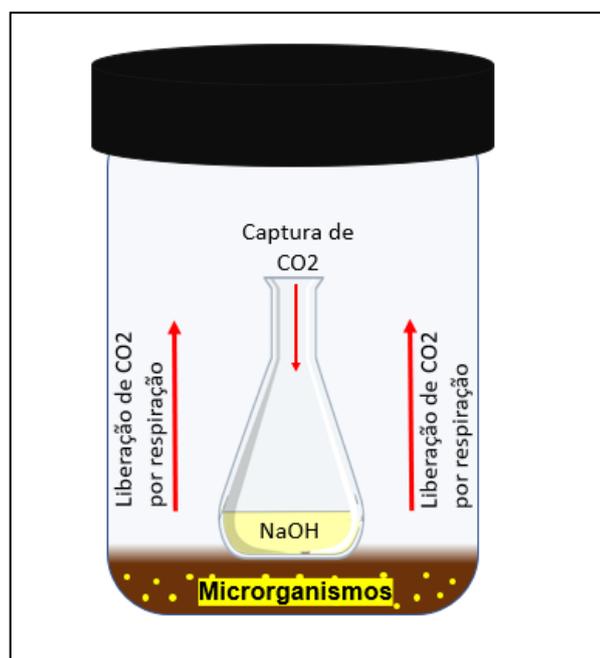


Figura 19 – Esquematização da metodologia de avaliação da respiração de microrganismos.
Fonte: Autor (2020).

O método consiste em incubar amostras de 50 g de solo crivado (partículas com dimensões < 2 mm), com umidade padronizada (50%) em potes de vidro transparente, bem vedados para não haver fugas de gases, colocados num ambiente com baixa luminosidade e temperatura constante (25°C), contendo ainda 10 ml de solução de hidróxido de sódio 0,05M em um Erlenmeyer (Figura 19). Após 4, 8 e 12 dias de incubação foram tituladas as soluções dentro dos potes com ácido clorídrico 0,05M (titulação ácido-base), com uso de fenolftaleína 1% como indicador, representado nas Figuras 20b e 20c, quantificando o C mineralizável desprendido do C-CO₂ da atividade microbiana.

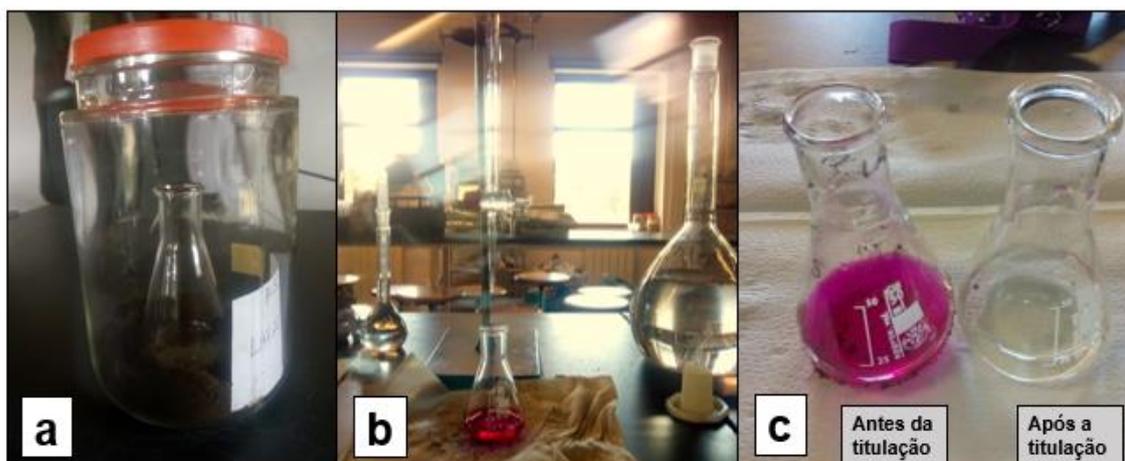


Figura 20 – Amostra de solo encubada em pote de vidro transparente (a). Processo de titulação ácido-base das amostras (b). Amostras antes e depois da titulação (c). Fonte: Autor (2019).

3.4.6 Carbono armazenado no solo e na vegetação herbácea dos lameiros

A quantidade de carbono armazenado nas camadas minerais do solo (Mg C ha^{-1}) foi calculada através da multiplicação da concentração de carbono, pela densidade aparente e espessura da camada de solo com a realização de uma correção para o teor de elementos grosseiros, utilizando a seguinte equação (Percival *et al.*, 2000; Fonseca *et al.*, 2019):

$$COS = z * CC \left(DAp - \frac{2,65EG}{100} \right)$$

Em que:

CC: concentração de carbono da camada de solo mineral (g kg^{-1} ou kg t^{-1})

DAp: densidade aparente da camada de solo mineral (g cm^{-3} ou t m^{-3})

z: espessura da camada de solo mineral (m)

EG: fator de correção para o conteúdo de elementos grosseiros (v v^{-1})

O carbono armazenado na biomassa aérea e das raízes da vegetação herbácea (Mg ha^{-1}) foi determinado pela multiplicação dos valores de biomassa por 0,5, média assumida como concentração de carbono na matéria seca, conforme aceite por vários autores (Petrokofsky *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*, 2019).

A quantidade de carbono armazenada por unidade de área (Mg ha^{-1}) foi estimada através do somatório do carbono armazenado no solo e na biomassa da vegetação herbácea.

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e se significativa, aplicou-se o teste de médias Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do Software SASM-Agri. Visando que os dados de respiração microbiana não eram lineares segundo o teste de homocedasticidade (BOX & COX, 1964), houve necessidade de fazer a transformação destes por meio da equação de Transformação de raiz quadrada: $1/\sqrt{x}$.

Os dados obtidos para os elementos grosseiros na camada 0-20cm também se apresentaram não lineares e foram corrigidos pela equação de Transformação Angular:

$$\arcsen \sqrt{x/100}$$

Foram ainda transformados os dados de densidade aparente na camada 20-40 cm através da equação de Transformação de raiz quadrada: $\sqrt{x+k}$. Onde o coeficiente k foi indicado pelo software como 0,01.

Por fim, foram calculados o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), por meio do Software Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade dos lameiros

A produtividade de biomassa aérea não diferiu entre os lameiros abandonados e em uso, com e sem rio, variando entre 9,1 Mg ha⁻¹ (SRU) e 10,3 Mg ha⁻¹ (SRA) (Figura 21). Rodrigues *et al.*, (2016) encontrou valores médios muito superiores (20 Mg ha⁻¹) em biomassa vegetal aérea de lameiros da mesma zona de Trás-os-Montes após a aplicação de fertilizantes minerais. Outro experimento na mesma região com aplicação de fertilizantes e gestão da pastagem com ovinos apresentou 31,2 Mg ha⁻¹ de biomassa vegetal (Rodrigues *et al.*, 2017). Uma vegetação rasteira também de caráter natural no centro-oeste brasileiro apresentou 6,8 Mg ha⁻¹ de biomassa aérea (Martins *et al.*, 2011). Estes resultados colocam em evidência a importância dos fatores de produção (fertilizantes) no incremento da produtividade dos lameiros.

Em contrapartida, o abandono conduziu tendencialmente a uma redução da biomassa radicular (CRA, 13,9 Mg ha⁻¹ ; SRA, 15,6 Mg ha⁻¹) (Figura 21). A produtividade de raízes foi estimulada nos lameiros em uso, principalmente na situação sem rio (SRU, 22,4 Mg ha⁻¹), que mostra valores estatisticamente superiores aos dos restantes tratamentos (Figura 21). São inexistentes estudos de quantificação de biomassa de raízes em lameiros de Trás-os-Montes, ou sob as mesmas condições de campo, contudo Gama *et al.*, (2012) encontrou valor máximo de 5 Mg ha⁻¹ ao estudar o desenvolvimento de espécies herbáceas com crescimento em casa de vegetação. Quantificando apenas raízes finas de uma vegetação herbácea no cerrado brasileiro, Gonçalves (2012) encontrou o valor médio de 4,5 Mg ha⁻¹ de biomassa radicular.

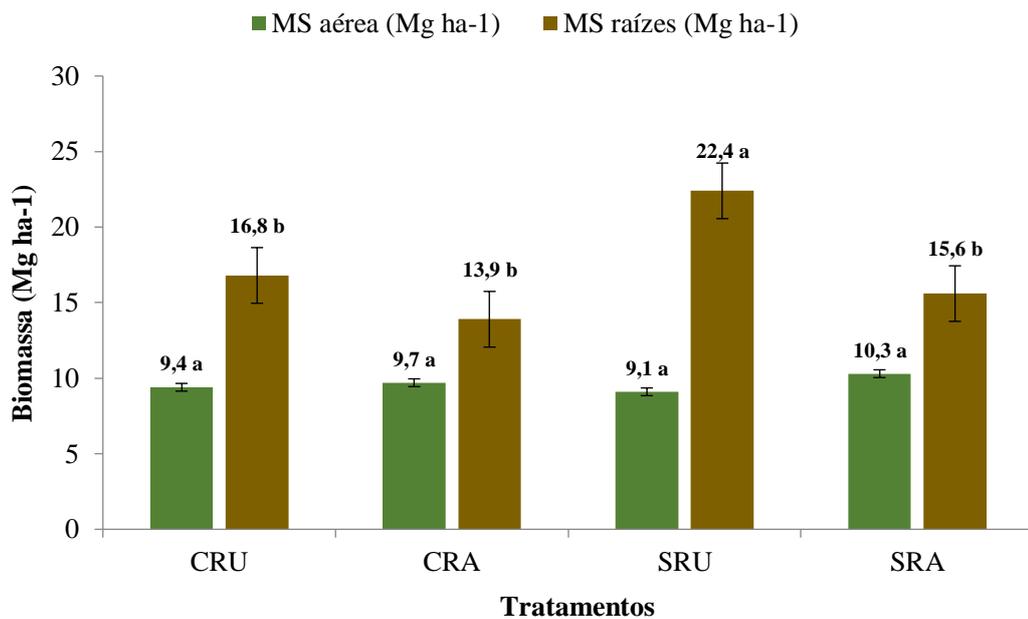


Figura 21 - Biomassa aérea e biomassa das raízes dos lameiros nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada compartimento de biomassa valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

Com base nos valores obtidos para a biomassa aérea (BA) e biomassa das raízes (BR) foi possível determinar a relação entre a biomassa produzida pelos dois compartimentos (BR / BA ; relação *root / shoot*) (Figura 22). A relação BR / BA mais elevada (2,5) foi encontrada no tratamento SRU, seguida do tratamento CRU (1,8), indicando que o uso dos lameiros com pastoreio e corte para feno favoreceu a produção de biomassa radicular. A acumulação preferencial de biomassa subterrânea (raízes) favorece diversas funções dos ecossistemas como o armazenamento de carbono e a atividade biológica do solo (Aduan *et al.*, 2003).

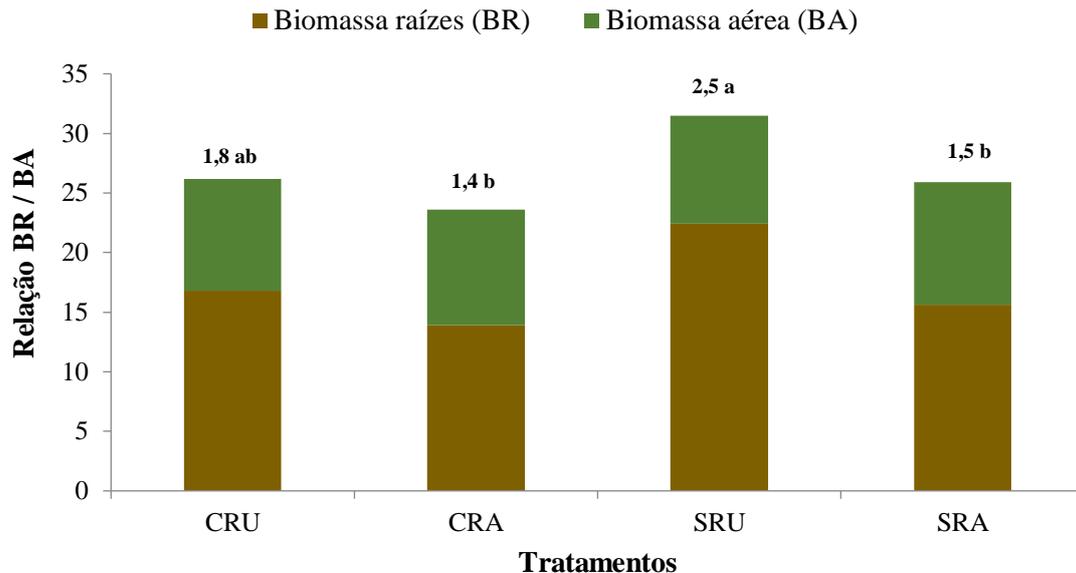


Figura 22 – Relação entre a biomassa das raízes (BR) e da biomassa aérea (BA) da vegetação herbácea dos lameiros nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

Os lameiros são ecossistemas de formações herbáceas (prados e pastagens) e como tal a produção de raízes é fortemente estimulada. Gonçalves *et al.* (2013) obtiveram um rácio de 0,23 para a vegetação herbácea desenvolvida em subbosque de povoamentos florestais no nordeste transmontano. Marques *et al.* (2014), encontraram rácios que variaram de 0,61 a 1,02 quando estudaram o desenvolvimento de gramíneas no sudeste brasileiro.

Diversos fatores podem influenciar a razão BR / BA, podendo variar de acordo com o estágio sucessional da vegetação, grupo funcional a que pertence a espécie, diminuição da umidade do solo (fator que favorece fortemente a maior quantidade de C nas raízes), características do solo, disponibilidade de nutrientes e textura do solo (Aduan *et al.*, 2003). Reforçando a influência que a umidade do solo exerce sobre a razão BR / BA, Beloni *et al.*, (2013) estudaram o crescimento de vários genótipos de gramíneas cultivadas no Brasil, em condições de alagamento e não alagamento (controle), obtendo valores inferiores dos rácios nas áreas alagadas ($\geq 0,65$ e $\leq 2,68$), e superiores nas áreas não alagadas ($\geq 3,05$ e $\leq 6,22$).

4.2 Carbono armazenado nos lameiros

4.2.1 Carbono armazenado no solo

A quantidade de carbono armazenada no solo, tal como referido no Ponto 3.5, está dependente da concentração de carbono no solo, da densidade aparente e do teor de elementos grosseiros, pelo que se faz primeiramente uma breve referência aos resultados obtidos para estas variáveis.

A concentração de carbono orgânico (COS) decresce com a profundidade, seguindo um padrão comum de variação (Figura 23). Nos lameiros com presença de rio, a concentração de carbono atinge os valores mais elevados (CRU, 61,6 g kg⁻¹; CRA, 50,0 g kg⁻¹). Dentro das categorias com rio e sem rio, é visível que o uso dos lameiros (CRU e SRU) contribuiu para um decréscimo significativo da concentração de carbono, principalmente na camada 0-20 cm.

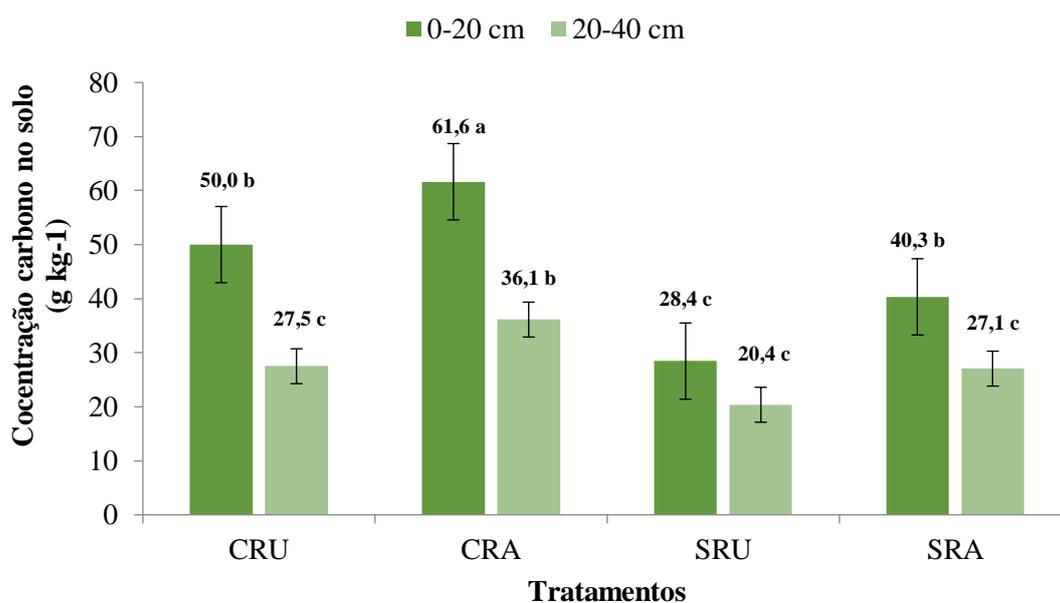


Figura 23 – Concentração de carbono nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

A densidade aparente do solo (DAP) aumenta com a profundidade (Figura 24). Os valores são frequentemente inferiores a 1, o que pode ser explicado pelos elevados teores

de matéria orgânica. A densidade aparente e a concentração de carbono no solo estão fortemente correlacionados na camada 0-20 cm ($r^2 = 0,992$) e na camada 20-40 cm ($r^2 = 0,971$). Na camada 0-20 cm, a densidade aparente varia de 1,07 g cm⁻³ (SRU) a 0,72 g cm⁻³ (CRA), registrando estes mesmos tratamentos, na camada 20-40 cm, 1,16 g cm⁻³ e 0,81 g cm⁻³, respectivamente.

A COS e a mineralogia (elementos grosseiros e terra fina) afetam a DAp, porque influenciam a porosidade do solo (De Pádua *et al.*, 2015). Há ainda efeito da profundidade do solo sobre a DAp, pois as camadas inferiores, normalmente, apresentam menor teor de COS (Zinn *et al.*, 2012), e agregados de tamanho menor, permitindo melhor acondicionamento dos agregados.

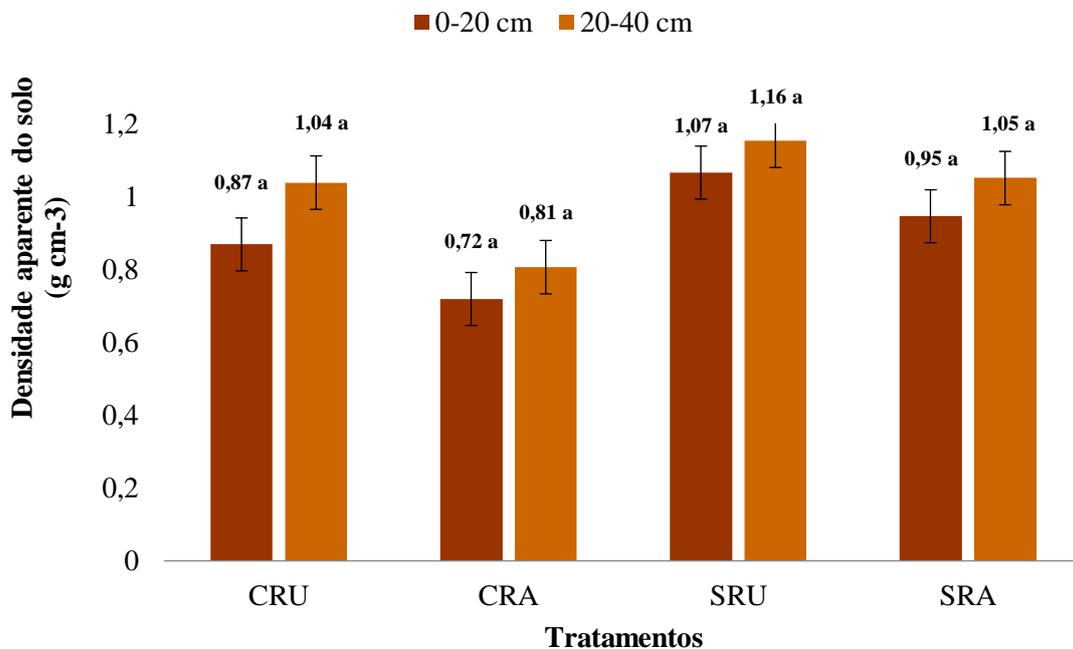


Figura 24 – Densidade aparente nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

Os elementos grosseiros do solo apresentaram um padrão de variação com a profundidade similar nos diversos tratamentos e sempre com valores superiores a 25% da massa total de solo seco (Figura 25). Este elevado teor de elementos grosseiros é

comumente encontrado em solos da bacia do Mediterrâneo, em geral, e especificamente no contexto regional da área de estudo (De Figueiredo, 2012; Fonseca *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*, 2019).

Na camada 0-20 cm do solo há tendência de aumento da porcentagem de elementos grosseiros nos lameiros em uso, 46% (SRU) e 37% (CRU). Essa tendência pode ser explicada pela perda de partículas de tamanhos menores (terra fina), pois o uso da terra contribui geralmente para o aumento dos processos erosivos do solo. Ramos (2008) apresenta valores médios de 30% de elementos grosseiros em áreas de matos de baixo declive no PNM, atribuindo esses valores à erosão, uma vez que a perda de solo é quase sempre seletiva, afetando em maior intensidade as partículas de tamanhos menores (Morgan & Rickson, 2005).

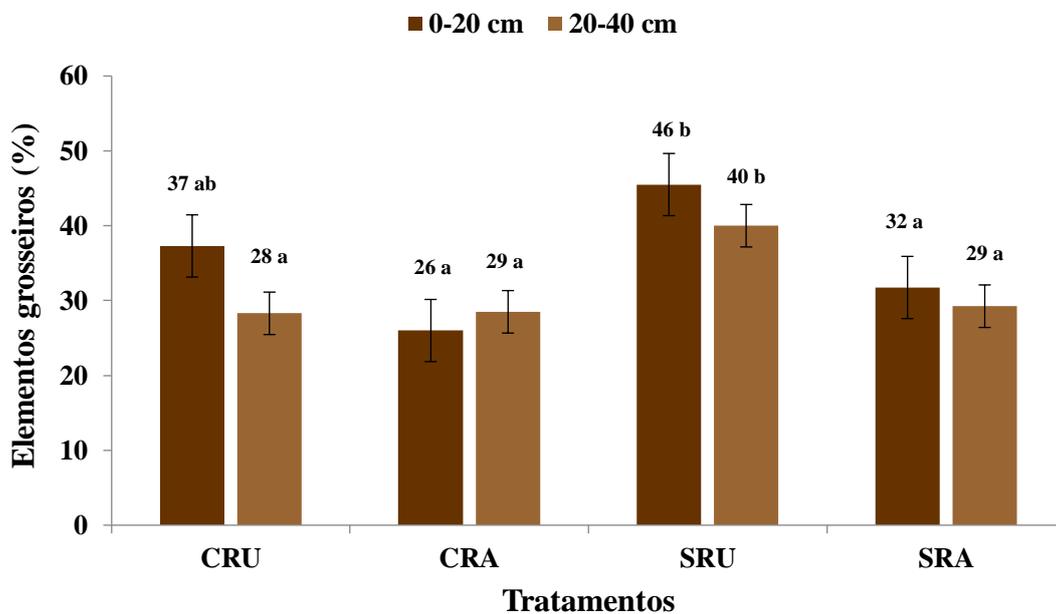


Figura 25 - Elementos grosseiros nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada camada de solo valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($p > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

Tabela 2 – Carbono armazenado (Mg C ha⁻¹) nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA (média±desvio padrão). Em cada linha valores médios com a mesma letra não diferem significativamente (P > 0,05).

Profundidade (cm)	Tratamentos			
	CRU	CRA	SRU	SRA
0-20 cm	49,5±7,3 ^a	54,4±9,9 ^a	32,8±5,5 ^b	48,2±9,8 ^a
20-40 cm	41,5±4,0 ^b	36,3±9,1 ^b	29,7±4,9 ^b	39,7±9,2 ^b
Total (0-40 cm)	91,0 ^a	90,7 ^a	62,5 ^b	87,9 ^a

Em geral, o armazenamento de carbono exibe um gradiente vertical, diminuindo com o aumento da profundidade do solo mineral. O carbono total armazenado na profundidade 0-40 cm (considerando em conjunto as camadas 0-20 e 20-40 cm do solo) é significativamente menor no tratamento SRU (62,5 Mg ha⁻¹), comparativamente aos tratamentos CRU (91,0 Mg ha⁻¹), CRA (90,7 Mg ha⁻¹) e SRA (87,9 Mg ha⁻¹). Nos lameiros com linhas de água (CRU e CRA), a quantidade de carbono não foi afetada pelo uso. Já nos lameiros sem linhas de água (SRU e SRA), o uso contribuiu para uma redução significativa, cerca de 30 %, do total de carbono armazenado no solo.

Rosendo & Rosa (2012) encontraram valores dentro dos intervalos aqui apresentados (54,4 a 32,8 Mg C ha⁻¹ na camada 0-20 cm; 41,5 a 29,7 Mg C ha⁻¹ na camada 20-40 cm), quando compararam a quantidade de carbono estocado em solos de pastagens no cerrado brasileiro. Ainda de acordo com os mesmos autores, esses valores indicam um alto potencial das pastagens em estocar carbono no solo. Já na região Norte de Portugal Fonseca & Figueiredo (2017) estudaram o armazenamento de C no solo em diferentes povoamentos arbóreos na camada 0-20 cm, com valores 30,3 Mg ha⁻¹ para florestas de *Pinus pinaster*, 64,6 Mg ha⁻¹ de *Pinus nigra*, 51,1 Mg ha⁻¹ de *Pseudotsuga menziesii* e 58,3 Mg ha⁻¹ de *Castanea sativa*. Os valores encontrados nestes povoamentos florestais, com 60 anos de idade, dão indicação que as áreas de pastagem podem dar um contributo muito interessante na mitigação de alterações climáticas.

A quantidade de carbono armazenado no solo varia diretamente com a concentração de carbono e inversamente com a densidade aparente e o teor de elementos grosseiros

(Tabela 3). Na camada 0-20 cm a quantidade de carbono no solo é afetada de forma significativa pelas três variáveis mencionadas (CC, DAp e EG), explicando cada uma delas mais de 80% da variação da quantidade de carbono no solo. Na camada 20-40 cm, o comportamento é muito diferente, apresentando apenas os elementos grosseiros uma correlação significativa com a quantidade de carbono. Esta constatação pode indicar que na camada superficial (0-20 cm) todos os fatores em análise são decisivos, mas com o aumento da profundidade (20-40 cm), os elementos grosseiros ao determinar a quantidade de massa de terra fina disponível, afetam diretamente a possibilidade de armazenamento de carbono no solo.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação (r^2) entre as variáveis concentração de carbono (CC), densidade aparente (Dap) e elementos grosseiros (EG) com a quantidade de carbono (CS) armazenado nas camadas de solo 0-20 e 20-40 cm. (* $0,05 > P > 0,01$; ** $0,01 > P > 0,001$; *** $P < 0,001$).

Profundidade (cm)	Coeficiente de correlação		
	CC vs. CS	DAP vs. CS	EG vs. CS
0-20	0,853**	-0,833**	-0,842***
20-40	0,201	-0,108	-0,826***

4.2.2 Carbono armazenado na biomassa aérea e radicular da vegetação herbácea

O carbono armazenado na biomassa aérea (C-BA) não apresentou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos (Figura 26). Deste modo, pode-se constatar que o pastoreio animal realizado por pequenos rebanhos não afetam significadamente a quantidade de biomassa vegetal dos lameiros e, conseqüentemente, o estoque de carbono contido na vegetação. Da mesma forma, o estoque de carbono na vegetação não sofre interferência pela ausência de corpos hídricos.

Quanto ao carbono armazenado na biomassa radicular (C-BR), o tratamento lameiros sem rio e em uso (SRU) se diferenciou positivamente dos restantes com a média de $11,2 \text{ Mg ha}^{-1}$. Também os tratamentos com lameiros abandonados se diferenciaram dos tratamentos com lameiros em uso. O tratamento com rio em uso (CRU) não se diferenciou de nenhum dos outros, com a média de $8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$.

O sistema radicular da vegetação exerce um papel fundamental na importação de carbono ao solo, pois normalmente apresentam maior conversão do C adicionado em C da MOS em comparação à biomassa da parte aérea da planta. Enquanto as raízes adicionam cerca de 21,1 % de C na MOS, a biomassa aérea é responsável por adicionar 12,2 % de C, essa maior conversão por parte das raízes é atribuída à sua localização no solo, no interior de agregados e ao maior teor de lignina quando comparada com a biomassa aérea (Bayer *et al.*, 2011).

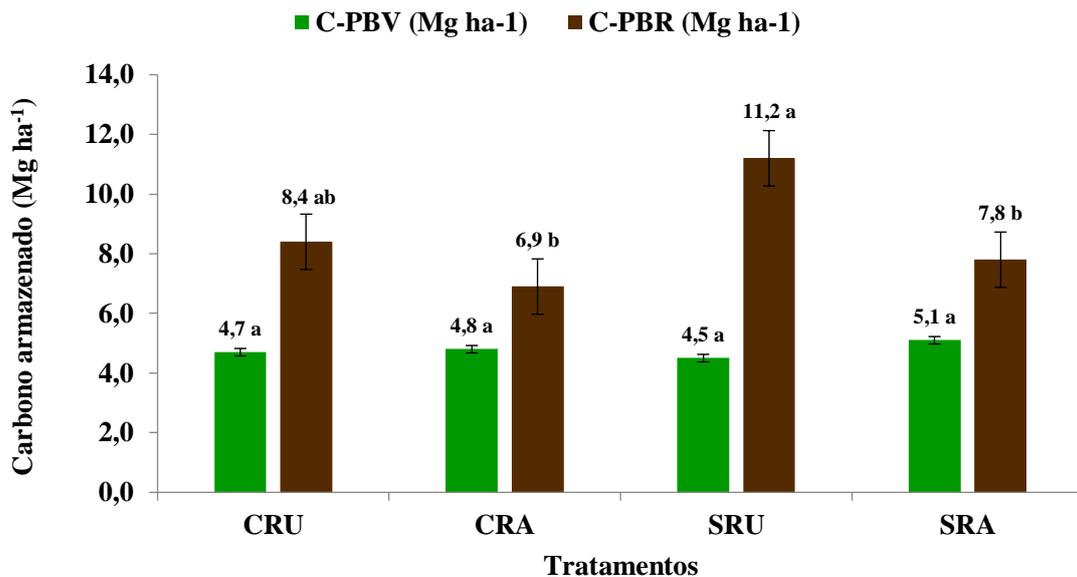


Figura 26 - Carbono armazenado na biomassa aérea e das raízes da vegetação herbácea nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Fonte: Autor (2020).

4.2.3 Carbono armazenado nos compartimentos solo e vegetação

A quantidade de carbono acumulada nos lameiros (solo + vegetação herbácea) varia de 104 Mg ha⁻¹ (CRU) a 78 Mg ha⁻¹ (SRU). A ausência de rio associada ao uso dos lameiros resultou num decréscimo significativo da quantidade de carbono armazenada (cerca de 25 %), mostrando os restantes tratamentos valores estatisticamente similares (Figura 27). No presente estudo, o solo foi o compartimento mais importante para o armazenamento de carbono, representando mais de 80 % do total armazenado em todos os tratamentos (varia de 91 a 62,5 Mg ha⁻¹).

A contribuição da vegetação herbácea para o armazenamento de carbono é relativamente baixa, inferior a 14 % no caso da biomassa radicular (varia de 11,2 a 7,0 Mg ha⁻¹) e a 6 % no caso da biomassa aérea (varia de 5,2 a 4,6 Mg ha⁻¹).

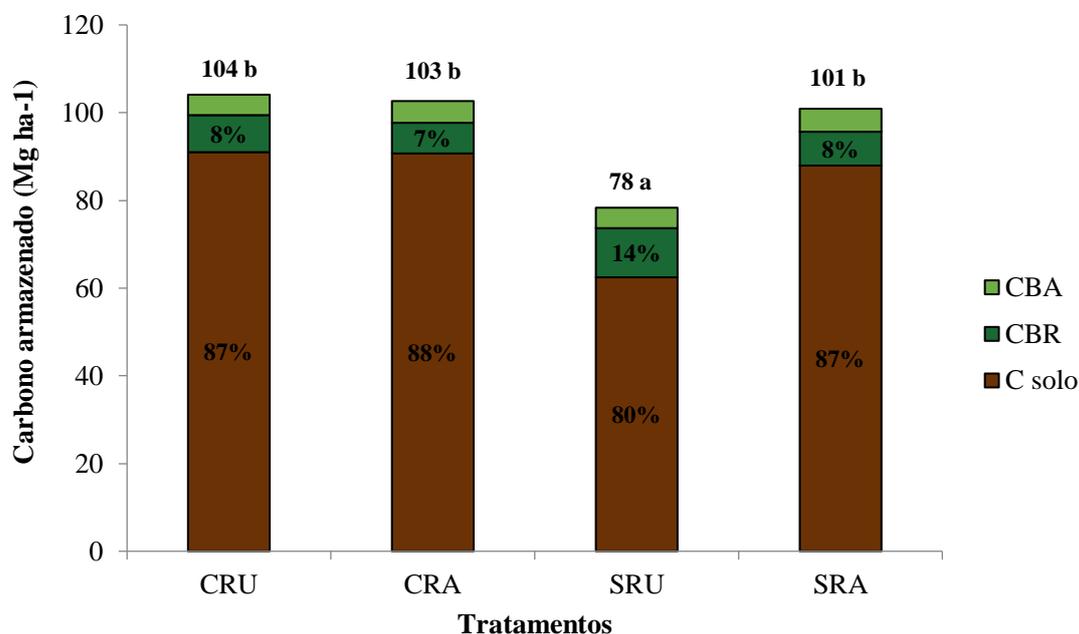


Figura 27 – Carbono total armazenado nos compartimentos solo e biomassa da vegetação herbácea nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Para cada tratamento, valores médios com a mesma letra não diferem significativamente ($P > 0,05$). Fonte: Autor (2020).

4.3 Respiração microbiana do solo

A respiração microbiana do solo não diferiu significativamente entre os diversos tratamentos (Figura 28 e Tabela 4). Todos os tratamentos apresentaram decréscimos ao longo do tempo, devido ao esgotamento dos recursos limitados dentro do microssistema do pote onde foi desenvolvida a experiência (recursos essenciais para a sobrevivência dos microrganismos, como água e material orgânica). Peixoto *et al.* (2017), realizaram estudos de respirometria em solos de florestas primárias e secundárias na Amazônia brasileira e não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos. Porém, os autores referidos conseguiram estabelecer relações positivas entre o fluxo de CO₂ e o

clima da região (principalmente com a precipitação), e com a quantidade de material orgânico nas camadas superficiais, devido ao processo de decomposição.

Estudos realizados na mesma região de Trás-os-Montes objetivando diferir a respiração basal com aplicação de azoto e cinzas de biomassa (Gómez-Rey *et al.*, 2010) e aplicação de fertilizante orgânico (estrume) e diferentes métodos de gestão de pomares (Rodrigues *et al.*, 2013), demonstram o mesmo comportamento de não apresentarem diferenças significativas entre tratamentos, e a diminuição da respiração com o aumento do tempo de incubação.

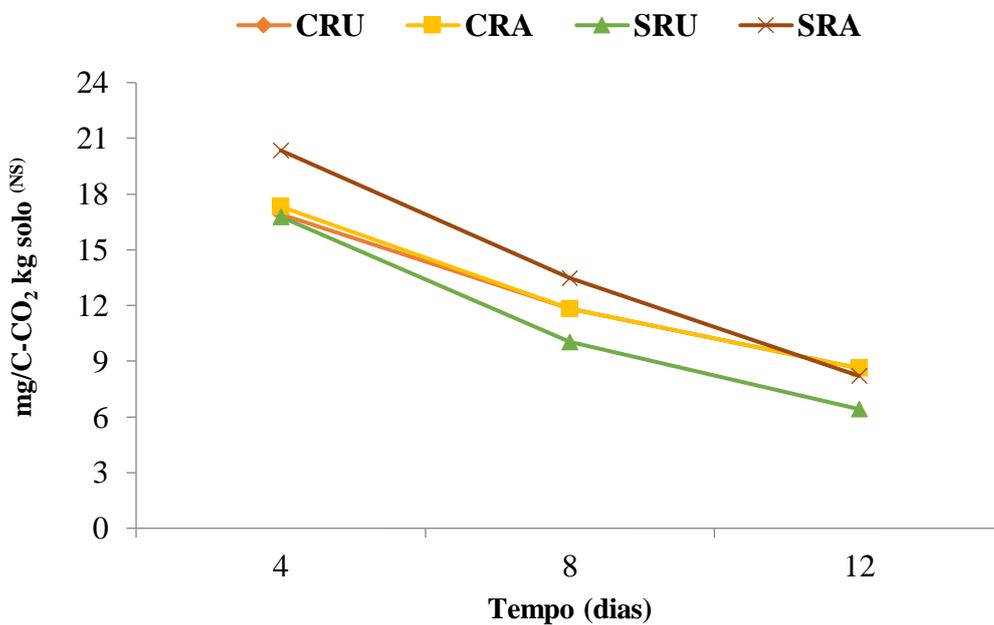


Figura 28 – Respiração basal de microrganismos no solo (mg/C-CO₂ kg solo) ao longo do tempo nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA. Fonte: Autor (2019).

Tabela 4 – Respiração basal de microrganismos do solo (mg/C-CO₂ kg solo) ao longo do tempo nos tratamentos: com rio em uso-CRU; com rio abandonado-CRA; sem rio em uso-SRU; sem rio abandonado-SRA (média±desvio padrão). Para cada tratamento, valores médios com a mesma letra não diferem significativamente (P > 0,05).

Tratamentos	Tempo (dias)		
	4 ^{NS}	8 ^{NS}	12 ^{NS}
CRU	16,9±3,1	11,8±2,8	8,6±2,3
CRA	17,3±4,2	12,7±4,2	8,9±3,6
SRU	16,8±2,5	10,0±3,7	6,4±2,2
SRA	20,4±4,4	13,5±4,7	8,2±3,8

4.4 Correlação entre os fatores analisados

Para diagnosticar as relações que existem entre os resultados encontrados, realizou-se a análise de correlação linear de Pearson (r), apresentada na Tabela 5. Essas relações apresentam intervalos que variam de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a relação positiva (linearmente proporcional) entre os fatores, e quando mais próximo de -1, maior a relação negativa (inversamente proporcional). Considera-se que há uma relação entre dois fatores quando o coeficiente é inferior a -0,40 ou superior a 0,40.

Segundo a correlação de Pearson (Tabela 5), a respiração basal do solo, tem uma relação positiva com a quantidade de carbono no solo (r = 0,68) e com a concentração de carbono no solo de (r = 0,43), na camada de 0-20cm. Isso porque a quantidade e concentração de carbono no solo são variáveis dependentes uma da outra, e são ditadas pela quantidade de material orgânico disposto no solo, sendo esse, fonte de energia para os microrganismos responsáveis pela respiração e mineralização no solo. Por outro lado, a respiração basal, é inversamente relacionada com a quantidade de elementos grosseiros (EG) nas camadas de 0-20 cm (-0,80) e de 20-40cm (-0,52), pois esses interferem diretamente na quantidade de carbono disponível no solo.

Quanto à concentração de carbono na camada 0-20 cm do solo, esta apresenta relação positiva (r = 0,81) com a camada de 20-40 cm, com a quantidade de carbono na camada 0-20 cm (r = 0,58) e com a biomassa vegetal aérea (r = 0,44). Isso porque quanto maior a quantidade de biomassa vegetal, maior a entrada de material orgânico no solo. Apresenta ainda relação negativa (r = -0,90) com a densidade aparente do solo na camada 0-20 cm, e na camada 20-40 cm (r = -0,80), correlação essa esperada, pois à medida que

aumenta a quantidade e a concentração de carbono no solo, a densidade aparente do solo diminui. Regista também uma relação negativa com o teor de elementos grosseiros do solo na camada 0-20 cm ($r = -0,46$). Isso porque quanto maior a concentração de elementos grosseiros menor a quantidade de massa de terra fina por unidade de volume de solo, e consequentemente menor a quantidade de carbono no mesmo.

As relações dos fatores na camada 20-40 cm do solo apresentam o mesmo comportamento que na camada 0-20 cm, onde há correlação positiva ($r = 0,78$) entre a quantidade de carbono nas duas camadas (0-20 cm e 20-40 cm) e entre a concentração de carbono das duas camadas ($r = 0,68$). Há ainda uma correlação negativa ($r = -0,86$) entre a concentração de carbono e a densidade aparente do solo.

A análise indica ainda, a relação inversamente proporcional entre a quantidade de biomassa vegetal aérea (e esta indica o desenvolvimento das pastagens), com a densidade aparente do solo nas camadas 0-20 cm ($r = -0,64$) e 20-40 ($r = -0,51$). Isso ocorre devido à resistência que a maior densidade aparente do solo oferece ao crescimento e desenvolvimento da vegetação.

Há ainda relações entre os próprios fatores nas duas profundidades do solo, como a densidade aparente ($r = 0,81$) e os elementos grosseiros ($r = 0,71$).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear de Pearson (r).

	C da biomassa aérea	C da biomassa radicular	C da biomassa aérea	Respiração basal do solo acumulada	Elementos grosseiros (0-20 cm)	Densidade aparente (0-20 cm)	Concentração de carbono (0-20 cm)	Quantidade de carbono (0-20 cm)
C da biomassa aérea	1							
C da biomassa radicular	-0,06	1						
Respiração basal do solo acumulada	0,38	-0,42	1					
Elementos grosseiros (0-20 cm)	-0,38	0,34	-0,80	1				
Elementos grosseiros (20-40 cm)	0,00	0,34	-0,52	0,71	1			
Densidade aparente (0-20 cm)	-0,64	0,35	-0,29	0,32	0,06	1		
Densidade aparente (20-40 cm)	-0,51	0,21	-0,31	0,43	0,03	0,81	1	
Concentração de carbono (0-20 cm)	0,44	-0,44	0,43	-0,46	-0,30	-0,90	-0,80	1
Concentração de carbono (20-40 cm)	0,27	-0,28	0,31	-0,52	-0,31	-0,62	-0,86	0,81
Quantidade de carbono (0-20 cm)	0,16	-0,30	0,68	-0,84	-0,75	-0,27	-0,45	0,58
Quantidade de carbono (20-40 cm)	-0,17	-0,22	0,21	-0,52	-0,81	0,03	-0,14	0,30
								0,54
								0,78
								1

5. CONCLUSÕES

A produção de biomassa aérea (BA) não foi afetada pelos tratamentos, mostrando os lameiros abandonados e em uso, com e sem rio, valores estatisticamente idênticos. Por outro lado, a produtividade de biomassa radicular (BR) foi estimulada nos lameiros em uso sem rio (SRU), devido à maior necessidade de acesso ao recurso água. A relação BR / BA foi superior a 1 em todos os tratamentos, mostrando os maiores valores nos lameiros com uso (CRU e SRU). A quantidade de carbono armazenada na vegetação herbácea seguiu esta mesma tendência, pois a quantidade de carbono varia diretamente com a quantidade de biomassa produzida.

Nos lameiros com presença de rio (CRU e CRA), a quantidade de carbono no solo não foi afetada pelo uso. Em contrapartida, os lameiros sem rio (SRU e SRA), o uso contribuiu para uma redução significativa do total de carbono armazenado na camada 0-40 cm de solo. Já a respiração microbiana do solo diminuiu ao longo do tempo, apresentando valores similares em todos os tratamentos.

Considerando conjuntamente os compartimentos solo e vegetação herbácea, o uso dos lameiros associado à ausência de rio (SRU) resultou num decréscimo significativo da quantidade de carbono armazenada, verificando-se para os restantes tratamentos valores estatisticamente análogos.

Para além do uso e das linhas de água, outros fatores poderão afetar a ecologia do ecossistema dos lameiros tão importantes para a economia agrícola, a dinâmica ecológica entre a fauna e flora e principalmente nos serviços ecossistêmicos que os mesmos oferecem na extração de carbono da atmosfera e seu armazenamento no solo e vegetação. Assim, outros estudos são necessários de modo a estabelecer medidas que permitam a gestão destes sistemas, onde o uso do pastoreio possa manter ou melhorar o valor ecológico e natural destas paisagens.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os lameiros constituem importantes reservatórios de carbono terrestre. Deve ser dada mais atenção a estes sistemas devido ao seu papel relevante no armazenamento de carbono e consequente mitigação de mudanças climáticas globais, para além do seu valor natural e paisagístico.

6. REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. De F.; KLINK, C. A. - Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres - O Caso do Cerrado Brasileiro. **Embrapa Cerrados**. 2003.

AGROCONSULTORES; COBA - **Carta dos solos do nordeste de Portugal**. Vila Real. 1991.

ANDERSON, J. P. E. - Soil respiration. **Remote Sensing Reviews**. 1990.

AREVALO, C. B. M.; BHATTI, J. S.; CHANG, S. X.; SIDDEERS, D. - Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. **Forest Ecology and Management**. 1776–1785. 2009.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S.- Estabilização Do Carbono No Solo E. **Tópicos em Ciência do Solo**. 55–118. 2011.

BELONI, T.; ZANOTTOVIGNA, B. B.; PEZZOPANE, C. De G. - Biomassa Seca e Relação Raiz-Parte Aérea de Acessos de Paspalum Submetidos ao Alagamento do Solo. **Embrapa Gado de Corte**. 199: 46–53. 2013.

BOX, G. E.P.; COX, D. R. - An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**. 211–243. 1964.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. DA- Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 131–139. 2010.

CARREIRA, M. - Contribuição para o Estudo da Ecologia do Lobo Ibérico no Distrito de Vila Real - Tese de Mestrado em Biologia da Conservação. 60. 2010.

COMB, S. M.; NATHAN., M. V. - Soil organic matte. In: recommended chemical soil test procedures for the north central region. **North central regional Res. Publ. No. 221. Missouri Agric. Exp. Sta. SB 1001**. 53–58. 1998.

CURT, T.; LUCOT, E.; BOUCHAUD, M. - Douglas-fir root biomass and rooting profile in relation to soils in a mid-elevation area (Beaujolais Mounts, France). **Plant and Soil**. 109–125. 2001.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Review of Evidence on Drylands Pastoral Systems and Climate Change: Implications and Opportunities for Mitigation and Adaptation.** Roma. 2009.

FAO; ITPS - **Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap) Technical Report.** Disponível em WWW:<URL:<http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-organic-carbon-estimates>>.2018.

FERNANDES, F. - **Efeito do abandono em propriedades físico-químicas do solo em lameiros do Parque Natural de Montesinho.** Bragança, Portugal. 2019.

FIGUEIREDO, T. DE; FONSECA, F.; MARTINS, A. - Soil loss and run-off in young forest stands as affected by site preparation technique: a study in NE Portugal. **Eur J Forest Res.** 1747–1760. 2012.

FIGUEIREDO, T. DE- Pedregosidade dos Solos emTrás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial. **Série Estudos 83, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.** 2012.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. DE - Armazenamento de carbono em solos desenvolvidos sob quatro espécies florestais na região mediterrânea. **III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia.** 2017.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. DE; VILELA, A.; SANTOS, R.; CARVALHO, A. L.; ALMEIDA, E.; NUNES, L. - Impacto da substituição de espécies florestais no armazenamento de carbono em áreas de montanha da região mediterrânea. 2018.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. DE; VILELA, A.; SANTOS, R.; CARVALHO, A. L. DE; ALMEIDA, E.; NUNES, L.- Impact of tree species replacement on carbon stocks in a Mediterranean mountain area, NE Portugal. **Forest Ecology and Management.** 181–188. 2019.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. DE; BOMPASTOR RAMOS, M. A. - Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. **Agroforestry Systems.** 463–475. 2012.

GAMA, E. V. G.; Garrido, M.S.; SILVA, F.; SOARES, A.C.F.; MARQUES, C.T.S. - Produção de biomassa de erva-cidreira [*Lippia alba* (Mill.) N.E.Br.] sob adubação com composto de capim elefante inoculado e sem inoculação de actinomicetos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. 163–168. 2012

GÄRDENÄS, A. I.; ÅGREN, G. I.; BIRD, J. A.; CLARHOLM, M.; HALLIN, S.; INESON, P.; KÄTTERER, T.; KNICKER, H.; NILSSON, S. I.; NÄSHOLM, T.; OGLE, S.; PAUSTIAN, K.; PERSSON, T.; STENDAHL, J. - Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions - From molecular to global scale. **Soil Biology and Biochemistry**. 43:4 702–717. 2011.

GARDI, C; JEFFERY, S. - Soil Biodiversity. **Routledge Handbook of Agricultural Biodiversity**. 127–144. 2018.

GÓMEZ-REY, M. X.; MADEIRA, M.; COUTINHO, J.; VASCONCELOS, E.; - wood ash effects on c and n dynamics of a soil from a pinus pinaster plantation. 2010.

GONÇALVES, I.; FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. - Evolução temporal do carbono armazenado em povoamentos florestais jovens: efeito da intensidade de preparação do terreno. **Silva Lusitana XX**. N° Especial. 111–125. 2013.

GONÇALVES, L.E. - Carbono orgânico do solo e dinâmica de crescimento de raízes finas em um cerrado sob manejo da gramínea invasora *Melinis minutiflora* P. Beauv. 62. 2012.

GRAAFF, M. A. DE.; ADKINS, J.; KARDOL, P.; THROOP, H. L.- A meta-analysis of soil biodiversity impacts on the carbon cycle. **Soil**. 257–271. 2015.

HÖNISCH, B.; HEMMING, N. G.; ARCHER, D.; SIDDALL, M.; MCMANUS, J. F. - Atmospheric carbon dioxide concentration across the mid-pleistocene transition. **Science**. 1551–1554. 2009.

ICNF - Projeto de Prevenção Estrutural e Conservação de Habitats Naturais Protegidos e Espécies Prioritárias do Parque Natural de Montesinho (HabMonte). 2018.

ICNF - **Parque Natural de Montesinho – Habitats**. [Consult. 17 dez. 2019]. Disponível em WWW:<URL:<http://www2.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/habit>>. 2019.

IPB/ICN - Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho: I – Relatório de caracterização. **Instituto Politécnico de Bragança, Portugal**. 2006.

IPCC - Climate Change 2014: Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. 2014.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F.- World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**. 259–263. 2006.

LEFÈVRE, C.; REKIK, F.; ALCANTARA, V.; LIESL, W. - **Carbono orgánico del suelo - el potencial Oculto**. 2017.

LÜTZOW, M. V.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. - Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions - A review. **European Journal of Soil Science**. 426–445. 2006.

MARQUES, T. E. D.; BAÊTA, H. E.; LEITE, M. G.; MARTINS, S. V.; KOZOVITS, A. R. - Crescimento de espécies nativas de cerrado e de vetiveria zizanioides em processos de revegetação de voçorocas. **Ciência Florestal, Santa Maria**. ISSN 0371-6007. 843–856. 2014.

MARTINS, C. R.; HAY, J. DU V.; WALTER, B. M. T.; PROENÇA, C. E. B.; VIVALDI, L. J. - Impact of invasion and management of molasses grass (*Melinis minutiflora*) on the native vegetation of the Brazilian Savanna. **Brazilian Journal of Botany**. 2011.

MOREIRA, N.; PIRES, J.; AGUIAR, C. - Lameiros e outros Prados e Pastagens de Elevado Valor Florístico - Pastagens de Montanha. **Manual Técnico, cd. RURIS/DGDR, Lisboa**. 47. 2001.

MORGAN, R. P.; RICKSON, R. J. - Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. **Taylor & Francis**. 2005.

OLHOFF, A.; CHRISTENSEN, J. - **Emissions Gap Report 2018**. Disponível em WWW:<URL:http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm%0Ahttps://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018>. 2018.

PÁDUA, E. J. DE; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. - Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em minas gerais. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. ISSN 18069657. 725–736. doi: 10.1590/01000683rbc20140028. 2015.

PEIXOTO, K. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; ELIAS, F.; DE FARIAS, J.; FREITAG, R.; MEWS, H. A.; DAS NEVES, E. C.; PRESTES, N. C. C. S.; MALHI, Y. - Unravelling ecosystem functions at the Amazonia-Cerrado transition: II. Carbon stocks and CO₂ soil efflux in cerradão forest undergoing ecological succession. **Acta Oecologica**. 23–31. 2017.

PERCIVAL, H. J.; PARFITT, R. L.; SCOTT, N. A. - Factors controlling soil carbon levels in New Zealand Grasslands is clay content important? **Soil Sci Soc America J**. 2000.

PEREIRA, L. S.; SOUSA, V. S. - Lameiros e prados de lima, uma paisagem das terras altas húmidas de Portugal. **V Seminário Internacional CYTED-XVII**. Un enfoque para la gestion sustentable del agua: Experiencias en zonas humedas. 2005.

PEREIRA, E. L.; ARROBAS, M. - Caracterização da fertilidade química de lameiros do nordeste transmontano. 2010.

PEREIRA, L. S.; SOUSA, V. S. - Lameiros e prados de lima 191–202. 2006.

PETERS, G. P.; PETERS, W.; PONGRATZ, J.; SITCH, S.; QUÉRÉ, C. L.- Global Carbon Budget 2019 1. 1–4. 2019.

PETROKOFKY, G.; KANAMARU, H.; ACHARD, F.; AL., ET - Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. **Environ Evid**. 6. 2012.

POÇAS, I.; PEREIRA, L. S.; CUNHA, M. - Pastagens como factor de conservação da água em zonas de montanha, os lameiros. **Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - Secção Autónoma de Engenharia de Ciências Agrárias**. 59–77. 2007.

RAICH, J. W.; POTTER, S. - From Soils. 23–36. 1995.

RAMOS, M. A. Bo- Erosão Hídrica e Dinâmica do Carbono : Um estudo à micro-escala com Simulação de Chuva. **Tese**. 2008.

RIBEIRO, S.; MONTEIRO, A.- Permanent pastures in mountain areas: characterization, management and conservation. **Revista de Ciências Agrárias**. 131–140. 2014.

RODRIGUES, A. R.; COUTINHO, J.; MADEIRA, M. - As práticas de gestão e a qualidade do solo em pomares de pereira Rocha. *Revista de Ciências Agrárias*. ISSN 0871-018X. 238–249. 2013.

RODRIGUES, M. A.; DIAS, D.; PIRES, J.; FREITAS, S.; FERREIRA, I. Q.; AGUIAR, C.; ARROBAS, M. - Fertilização de lameiros naturais: produtividade e composição química da vegetação. **XXXV Reunião de Primavera-SPPF. Santarém, Portugal**. 2014.

RODRIGUES, M. A.; FERREIRA, I. Q.; AFONSO, S.; RÖNDAHL, E.; PIRES, J.; ARROBAS, M. - Adubação com azoto, fósforo, potássio e boro numa pastagem natural (lameiro) em trás-os-montes: produção e composição elementar da matéria seca. 2016.

RODRIGUES, M. A.; FERREIRA, I.Q.; AFONSO, S.; PIRES, J.; ARROBAS, M. - Efeito da aplicação isolada dos nutrientes azoto, fósforo, potássio ou boro em lameiros do interior norte de portugal. **XXXVIII Reunião de Primavera da SPPF**. 32. 2017.

ROSENDO, J. A. DOS; ROSA, R. - Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**. 359–376. 2012.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. - Labile fractions of organic matter in cropping system with straw of brachiaria and sorghum. **Revista Ciência Agronômica**. 2012.

RUMPEL, C.; CHABBI, A.; MARSCHNER, B. - Recarbonization of the biosphere: Ecosystems and the global carbon cycle. 1–559. 2012.

SCHMIDT, M.W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. - Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**. 49–56. 2011.

SILVA, A. J. N. DA; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. DE - Organic matter and physical properties of a Cohesive Yellow Argisol under different management systems with sugar cane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. ISSN 18071929. 579–585. 2006.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIET, R. K.; BATTEN, K. M. - Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**. 555–569. 2006.

VOGEL, C.; MUELLER, C. W.; HÖSCHEN, C.; BUEGGER, F.; HEISTER, K.; SCHULZ, S.; SCHLOTTER, M.; KÖGEL-KNABNER, I. - Submicron structures provide preferential spots for carbon and nitrogen sequestration in soils. **Nature Communications**. 1–8. 2014.

WALL, D. H.; NIELSEN, U. N.; SIX, J.- Soil biodiversity and human health. **Nature**. 69–76. 2015.

ZINN, Y.L.; GUERRA, A. R.; SILVA, A. C.; MARQUES, J. J.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N. - Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões sul e serra do Espinhaço meridional, Minas Gerais: Modelagem em profundidade. **R Bras Ci Solo**. 395–406. 2012.