

# **Efeitos de curto prazo de espécies herbáceas de cobertura na qualidade do solo de olivais de Trás-os-Montes**

**Larisa Ianca Vagner Schaedler**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para  
obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia*

Orientado por:

**Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)**

**Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)**

**Professora Doutor Paulo Cesar Conceição (UTFPR-DV)**

Bragança

2023

**Efeitos de curto prazo de espécies herbáceas de cobertura na  
qualidade do solo de olivais de Trás-os-Montes**

**Larisa Ianca Vagner Schaedler  
Felícia Maria da Silva Fonseca  
Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo  
Paulo Cesar Conceição**

Bragança

2023

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ser minha fonte de sustento e amparo em toda essa jornada e por ter me permitido essa oportunidade.

A minha orientadora Professora Doutora Felicia Fonseca por todo conhecimento e tempo compartilhados desde a instalação, condução e encerramento do experimento, a execução das metodologias de análise e processo de escrita, a toda paciência e cuidado cedidos a mim em todo processo.

Ao meu coorientador Professor Doutor Tomás de Figueiredo por todo apoio e disponibilidade.

Ao meu coorientador Professor Doutor Paulo Cezar, por ter me acompanhado e me apoiado por mais essa etapa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná por me proporcionar oportunidades inestimáveis de crescimento acadêmico, profissional e pessoal durante todo o processo de graduação e me impulsionar a conhecer novos horizontes com o programa de Dupla Diplomação.

Ao Instituto Politécnico de Bragança, em especial a Escola Superior Agrária por me receber e me acolher, me dando instrumentos para que fosse possível o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus pais, Rozelene e Vilso, por ser exemplos de persistência, meu porto seguro e minha fonte inesgotável de apoio e encorajamento para poder concluir esse trabalho.

Aos meus irmãos, Lucas e Maira, e demais familiares por todo apoio e carinho destinados a mim.

Ao meu amigo, companheiro e namorado Diogo, por todo apoio, incentivo e carinho nos momentos decisivos do processo.

Aos meus colegas e amigos, por compartilharem seu tempo, me ajudando com o experimento, e seus conhecimentos para realização das análises. Por todos aqueles que me apoiaram em especial aqueles que se tornaram minha família durante o período longe de casa.

## RESUMO

O manejo de culturas de cobertura, é uma importante ferramenta de conservação do solo porém informações, sementes de culturas de cobertura e serviços personalizados de manejo ainda são escassos. Com o objetivo de estudar os efeitos de curto prazo de espécies herbáceas de cobertura na qualidade do solo de olivais de Trás-os-Montes, foi instalado em ambiente controlado um experimento em vasos, com solo proveniente de um olival localizado em Mirandela, composto por 19 tratamentos com três repetições cada. Os tratamentos são constituídos por 17 espécies herbáceas de cobertura diferentes, instaladas individualmente (gramíneas – família Poaceae; leguminosas – família Fabaceae; outras), um Mix (mistura das 17 espécies herbáceas) e uma Testemunha (solo original, sem sementeira). O teor de humidade dos vasos foi mantido entre 50 a 60% da capacidade de campo do solo, sendo uma vez por semana medida a altura das plantas. O ensaio teve uma duração de 45 dias, no final deste período a maioria das espécies estavam em floração, fase que corresponde à máxima produtividade de biomassa vegetal, altura em que se procedeu ao corte da biomassa aérea. Em todos os vasos foram colhidas amostras de solo não perturbadas (método do cilindro), para avaliação de propriedades físicas do solo (permeabilidade, densidade aparente, porosidade, capacidade de campo, capacidade máxima para a água) e amostras de solo perturbadas para determinação dos teores de carbono e azoto e da estabilidade dos agregados do solo (classes de tamanho 0,25 mm e 0,4 mm). Procedeu-se ainda à coleta de 25% do solo do vaso intacto para contabilização da biomassa radicular. Foi também calculado o rácio Biomassa radicular / Biomassa aérea de cada espécie. Os dados foram submetidos a Análise de variância e em caso de significância, aplicou-se o teste de comparação de médias Scott Knott ( $p < 0,05$ ). O grupo Mix alcançou as maiores médias de produção de biomassa da parte aérea, 254,19 g/m<sup>2</sup>. O grupo que obteve a maior média de biomassa de raízes foi o das Poaceae com 112,56 g/m<sup>2</sup>, esse também foi o grupo com as maiores medias para a microporosidade (47%), macroporosidade (6%) e Porosidade total (53%). O coeficiente de permeabilidade (k) e a densidade aparente do solo (DAP) não apresentaram

diferenças significativas entre tratamentos. A capacidade máxima do solo para a água (CMA) e a capacidade de campo (CC) mantiveram tendência semelhante, tendo as coberturas herbáceas contribuído para um aumento de cerca de 5% da capacidade de retenção de água do solo. Relativamente à estabilidade dos agregados (EA), na classe 0,25 mm não foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos, porém para a classe 0,4 mm as coberturas herbáceas contribuíram para um aumento de cerca de 15% na estabilidade dos agregados. Os teores de C e N do solo não mostraram diferenças significativas, mas evidenciaram acréscimos relativamente à Testemunha. Mediante o exposto, é possível verificar uma tendência de melhoria da qualidade do solo, com especial ênfase para as propriedades físicas do solo, por efeito das coberturas herbáceas, mesmo que a curto prazo.

**Palavras-Chave:** Espécies herbáceas de cobertura, Biomassa radicular / Biomassa aérea, Propriedades físicas do Solo, Carbono, Azoto

## ABSTRACT

Cover crop management is an important soil conservation tool, but information, cover crop seeds and personalized management services are still scarce. With the aim of studying the short-term effects of cover herbaceous species on soil quality in olive groves in Trás-os-Montes, an experiment was set up in a controlled environment in pots, with soil from an olive grove located in Mirandela, consisting of 19 treatments with three replications each. The treatments consist of 17 different herbaceous cover species, installed individually (grasses – Poaceae family; legumes – Fabaceae family; others), a Mix (mixture of 17 herbaceous species) and a control (original soil, without sowing). The moisture content of the pots was maintained between 50 to 60% of the soil field capacity, once a week the height of the plants was measured. The test lasted 45 days, at the end of this period most of the species were in flowering, a phase that corresponds to the maximum productivity of plant biomass, when the aerial biomass was cut. In all pots, undisturbed soil samples were collected (cylinder method), for evaluation of soil physical properties (permeability, bulk density, porosity, field capacity, maximum water capacity) and collection of disturbed soil samples for determination of carbon and nitrogen contents and stability of soil aggregates (size classes 0.25 mm and 0.4 mm). A collection of 25% of the soil from the intact stream was also carried out to calculate the root biomass. The root biomass / aerial biomass ratio of each species was also calculated. Data were subjected to analysis of variance and, in case of significance, the Scott Knott mean comparison test was applied ( $p < 0.05$ ). The Mix group achieved the highest average production of dry biomass of the aerial part, 254.19 g/m<sup>2</sup>. The group that obtained the highest average for dry biomass of roots was the Poaceae with 112.56 g/m<sup>2</sup> this was also the group with the highest averages for macroporosity (47%), microporosity (6%) and total porosity (53%). The permeability coefficient (k) and apparent soil density (DBH) did not show significant differences between groups. Soil maximum water capacity (MAC) and field capacity (CC) maintained a similar trend, with herbaceous covers contributing to an increase of about 5% in soil water retention capacity. Regarding the aggregation stability (EA), in the 0.25 mm

class no significant differences were found between treatments, but for the 0.4 mm class the herbaceous coverings caused an increase of 15% in the stability of the aggregates. Soil C and N contents did not show significant differences. In view of the above, it is possible to verify a tendency towards improvement in soil quality, with special emphasis on the physical properties of the soil, due to the effect of herbaceous covers, even if in the short term.

**Keywords:** Cover Crops species, Root/Shoot ratio, Soil physical properties, Carbon, Nitrogen

## SUMARIO

1 INTRODUÇÃO .....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 SOLO .....	5
2.1.1 Horizontes do Solo .....	6
2.1.2 Agregados do Solo .....	8
2.1.3 Densidade Aparente do Solo .....	9
2.1.4 Erosão do Solo .....	11
2.2 COBERTURA VERDE .....	12
2.3 OLIVAIS .....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL ONDE DECORREU O EXPERIMENTO .....	16
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	17
3.3 INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO .....	17
3.3.1. Instalação do Experimento .....	17
3.3.1. Manutenção do Experimento .....	19
3.4 DETERMINAÇÕES de CAMPO .....	20
3.4.1 Altura das Plantas .....	20
3.4.2 Colheita da Biomassa Aérea das Plantas .....	21
3.4.3 Colheita de Amostras de Solo .....	21
3.5 DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS .....	22
3.5.1 Permeabilidade do Solo .....	22
3.5.2 Estabilidade dos Agregados .....	28
3.5.3 Carbono e Azoto do Solo .....	31
3.5.4 Biomassa da Parte Aérea das Espécies Herbáceas .....	31
3.5.5 Biomassa das Raízes das Espécies Herbáceas .....	32

3.5.6 Rácio Biomassa Radicular / Biomassa das Raízes.....	33
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 ALTURA DAS PLANTAS .....	34
4.2 BIOMASSA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS DE COBERTURA.....	39
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	44
4.3.1 Permeabilidade e Propriedades Relacionadas .....	44
4.3.2 Estabilidade dos Agregados.....	50
4.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	54
5 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Sequência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo. As letras A, B, C, R representam os horizontes ou camadas que constituem o solo (Adaptado de Lima et al., 2007). .....	7
<b>Figura 2</b> - Representação esquemática de duas formas de agregados do solo (Lima et al., 2007). .....	8
<b>Figura 3</b> - Representação esquemática da estrutura granular e dos macro e microporos associados (Lima et al., 2007). .....	10
<b>Figura 4</b> - Imagem do local de implementação do experimento (Google Earth, 2023). .....	16
<b>Figura 5</b> - Vasos com solo aguardando a emergência das ervas daninhas. .	18
<b>Figura 6</b> - Consumo de água de cada tratamento no decorrer do experimento. ....	20
<b>Figura 7</b> - Processo de mediação de altura das plantas, e marcação dos três sítios onde eram sempre realizadas as medições.....	21
<b>Figura 8</b> - Corte da parte aérea das plantas para avaliação da biomassa produzida.....	21
<b>Figura 9</b> - Colheita de amostras de solo não perturbadas nos vasos.....	22
<b>Figura 10</b> - Permeâmetro de circuito fechado utilizado na avaliação da permeabilidade do solo. ....	23
<b>Figura 11</b> - Procedimentos para introdução das amostras no Permeâmetro de circuito fechado. ....	24
<b>Figura 12</b> - Estabilizador de Agregados utilizado na determinação da estabilidade de agregados. ....	28
<b>Figura 13</b> - Processo de determinação da matéria seca das espécies herbáceas.....	31
<b>Figura 14</b> - Separação do solo para quantificação da biomassa das raízes das espécies herbáceas. ....	32
<b>Figura 15</b> - Processo de separação das raízes das espécies herbáceas do solo. ....	33
<b>Figura 16</b> - Médias das alturas das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix, ao longo do período experimental. Para cada	

período de observação, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos. ....	38
<b>Figura 17-</b> Média da biomassa aérea das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	42
<b>Figura 18</b> - Média da biomassa das raízes das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	43
<b>Figura 19</b> - Médias do coeficiente de permeabilidade (k) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	47
<b>Figura 20-</b> Médias da densidade aparente (DAP) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. ....	48
<b>Figura 21-</b> Médias da Capacidade Máxima para a Água (CMA) e da Capacidade de Campo (CC) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Para a mesma variável, letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	49
<b>Figura 22</b> - Médias da Porosidade total (P), da Macroporosidade (MacroP) e da Microporosidade (MicroP) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas, diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	50
<b>Figura 23</b> - Médias da Estabilidade dos Agregados (EA) da classe 0,25 mm dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha..	53
<b>Figura 24</b> - Médias da Estabilidade dos Agregados (EA) da classe 0,4 mm dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas, diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). ....	53
<b>Figura 25</b> - Médias de carbono orgânico (C) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. ....	56
<b>Figura 26</b> - Médias de azoto total (N) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. ....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécies utilizadas e respectivas densidades de sementeira .....	19
<b>Tabela 2</b> - Altura (cm) das espécies da família Poaceae (gramíneas) e do Mix no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	34
<b>Tabela 3</b> - Altura (cm) das espécies da família Fabaceae (leguminosas) e do Mix no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	36
<b>Tabela 4</b> - Altura (cm) das espécies designadas de Outras no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	37
<b>Tabela 5</b> - Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA para a família das Poaceae Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	40
<b>Tabela 6</b> - Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA família das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	41
<b>Tabela 7</b> - Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA para o grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).....	41
<b>Tabela 8</b> - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP), Capacidade de Campo (CC) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo das Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	45
<b>Tabela 9</b> - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP), Capacidade de Campo (CC) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	45
<b>Tabela 10</b> - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP),	

Capacidade de Campo (C-C) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	46
<b>Tabela 11</b> - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos das Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	51
<b>Tabela 12</b> - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	51
<b>Tabela 13</b> - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos do grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	52
<b>Tabela 14</b> - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo das espécies Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	54
<b>Tabela 15</b> - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo das espécies Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	55
<b>Tabela 16</b> - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ). .....	55

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um ecossistema essencial, complexo, multifuncional, vivo e de crucial importância ambiental e socioeconômica, que desempenha numerosas funções vitais e presta serviços fundamentais para a existência humana e a sobrevivência dos ecossistemas. Abrange 25% da biodiversidade global, é responsável pelo fornecimento de alimentos e de matérias-primas, pela regulação do clima através da fixação de carbono, pela purificação da água, realiza a regulação de nutrientes e o controle de pragas, e serve de plataforma para as atividades humanas. Porém, é também muito frágil, finito e não renovável num curto período de tempo, dado o tempo que a formação do solo requer, que é de cerca de um centímetro de solo a cada 1000 anos; considerado um recurso particularmente precioso (Resolução de Proteção Dos Solos, 2021).

Para cuidarmos desse recurso natural tão precioso é necessário entender que o solo é constituído por partículas sólidas arranjadas em agregados formados por diversos processos biológicos, químicos e físicos, que por sua vez influenciam numerosas propriedades do solo, particularmente a porosidade e a densidade aparente (Montanarella et al., 2015). A modificação dos seus agregados gera a degradação física do solo, causando principalmente compactação e erosão do solo (Lepsch, 2010).

Na União Europeia a erosão do solo afeta 25% das terras agrícolas, a qual aumentou cerca de 20% no período de 2000 a 2010 (Resolução de Proteção Dos Solos, 2021). As perdas anuais causadas por erosão foram estimadas em 0,3% da produção mundial, se o problema continuar nesse ritmo, uma redução total de mais de 10% poderá acontecer até 2050, além de representar a perda anual de US \$ 150 bilhões em fertilizantes para substituir os nutrientes perdidos por erosão (Montanarella et al., 2015).

A falta de conhecimento, identificação de potencialidades, limitações e riscos associados ao uso do solo, podem gerar degradação desse recurso tão fundamental, não renovável à escala da vida humana, sendo assim, é indispensável conservá-lo (Figueiredo, 2013).

Culturas plurianuais (olivais, soutos, vinhas, amendoais, ...), quando instaladas em solos com declives pronunciados e a gestão da vegetação do sob-coberto é efetuada através da mobilização do solo mostram perdas de solo insustentáveis, formação de crostas e redução da porosidade na camada superficial do solo, que pode progredir rapidamente para a degradação do solo (Kaspar & Singer, 2015).

Guimarães et al. (2021) sugere que a mitigação da erosão do solo está associada à adoção de culturas de cobertura que permitam melhorar as propriedades do solo através da acumulação de matéria orgânica no solo, aumentando a taxa de infiltração e reduzindo o escoamento superficial.

Apesar de apresentarem grande potencial para reduzir a demanda por insumos e melhorar a proteção do solo, a adoção das plantas de cobertura nos sistemas de produção, é ainda muito escassa (Cassol, 2019). Assim, a disponibilidade de informações de manejo de culturas de cobertura, sementes de culturas de cobertura e serviços personalizados de manejo precisam ser melhorados para facilitar a adoção de culturas de cobertura, sendo também necessário criar projetos piloto de demonstração dos seus efeitos positivos no ecossistema solo, para os agricultores, técnicos e outros potenciais interessados (Kaspar & Singer, 2015).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SOLO**

Como citado por Dias et al. (2022), a definição de solo pode abranger uma gama de perspectivas, podendo ser analisado a partir de uma visão política, como sendo os limites de determinado Estado, sob a perspectiva económica, como sendo um recurso natural de potencial produtivo, sob a visão social e cultural como sendo a relação entre determinado povo e suas origens.

Contudo, para o fim deste estudo a definição mais coerente é a utilizada por Silvestre et al. (2022), onde faz uma análise da palavra solo, originária do latim *solum*, que significa suporte, superfície e base, sendo o solo constituído

por matéria mineral (46%) ar (25%), água (25%) e matéria orgânica (4%). Destaca ainda que dele provém cerca de 90% de toda a produção de alimentos, matérias-primas e demais componentes essenciais na vida do ser humano.

Uma grande parte dos nutrientes do solo tem origem no material originário, a partir do qual o solo se formou. Porém, os materiais geológicos quando intactos não são capazes de suportar e sustentar plantas superiores, uma vez que as rochas endurecidas, não armazenam água e impedem a penetração das raízes. Além disso, os nutrientes não podem ser absorvidos pelas plantas enquanto estiverem retidos na estrutura cristalina dos minerais. Para que as raízes possam crescer e os nutrientes dos minerais fiquem disponíveis para as plantas, a natureza deu início e continuidade a importantes processos e fatores de formação do solo (Lepsch, 2010).

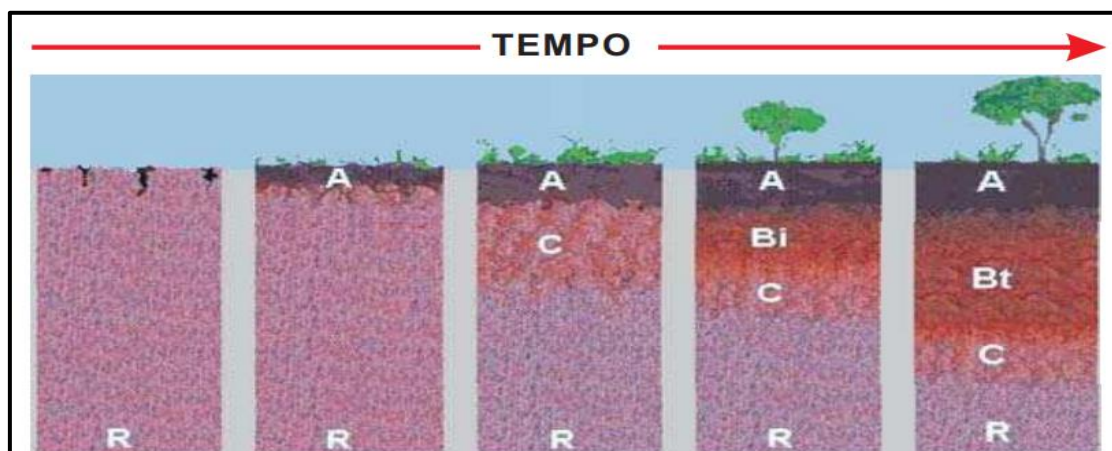
Para que as rochas, material originário dos solos, sofram transformação é necessário a ação direta da radiação solar, da precipitação e do crescimento de organismos, de modo a que processos de natureza física e química, designados de meteorização ou intemperismo, contribuam para a formação do material semiconsolidado que está no início da formação do solo (Gusmão Filho, 2008).

### 2.1.1 Horizontes do Solo

À medida que os processos de meteorização se intensificam, as rochas vão-se desagregando e aumentando a porosidade, passando a reter água e elementos químicos tais como cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, entre outros, proporcionando condições de colonização por organismos pioneiros, como líquens, algas, musgos, etc. Com o tempo, o solo vai ficando mais espesso, permitindo a instalação de plantas de maior porte que fornecem matéria orgânica, que passa a ser incorporada de forma mais ou menos contínua no solo. (Figura 1) (Lima et al., 2007).

Todos os tipos de solos presentes no mundo são formados a partir destes processos, com intensidade diferente e variação de processos de formação do solo, que podem originar solos distintos, sendo uns mais férteis

do que outros, alguns mais estáveis e outros menos, mais profundos ou mais delgados entre outras características (Lepsch, 2010).



**Figura 1** - Sequência cronológica hipotética de evolução do perfil do solo. As letras A, B, C, R representam os horizontes ou camadas que constituem o solo (Adaptado de Lima et al., 2007).

Diferenciação de horizontes do solo:

**O** – camada superficial composta por resíduos orgânicos: folhas, galhos, flores e frutos. Esse horizonte cobre apenas alguns solos onde não exista manejo de revolvimento, podendo ser subdividido em **Oo** (resíduos recém depositados) e **Od** (resíduos que já se encontram em processo de decomposição), portanto sua composição vai depender da quantidade e qualidade do material depositado e do tempo sem revolvimento (Lepsch, 2010)

**A** – camada mineral; em solos que contenham o horizonte O, é o horizonte mineral mais rico em matéria orgânica e com grande atividade biológica, a quantidade de matéria orgânica pode variar de acordo com o manejo usado, é mais poroso, mais leve, menos duro e menos plástico e pegajoso (horizonte de eluviação) (Lima et al., 2007).

**B** – horizonte mineral com máxima expressão de cor e estrutura, pois possui acúmulo de materiais translocados dos horizontes superiores, como argila, matéria orgânica (horizonte de iluviação) (Lepsch, 2010).

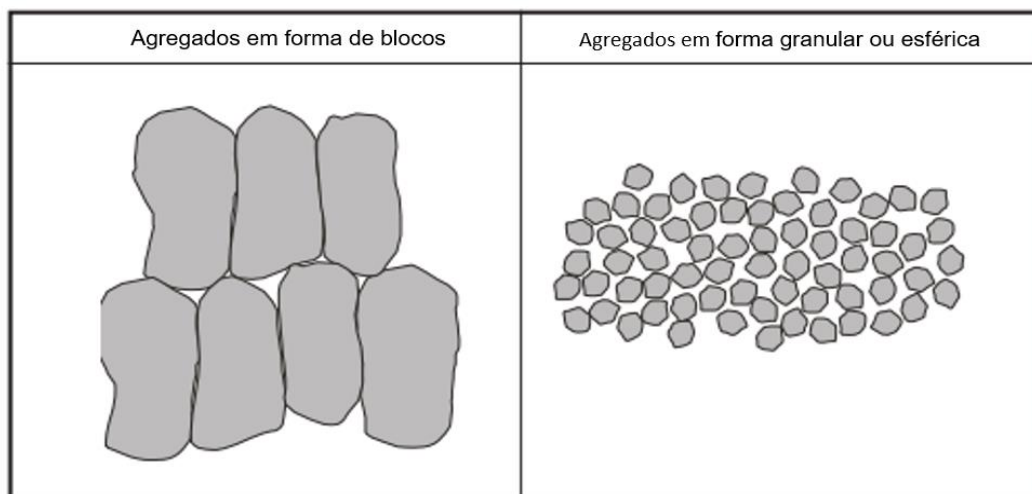
**C** – camada abaixo do horizonte B que é composta por rocha intemperizada (alterada) (Lima et al., 2007)..

**R** – última camada composta pela rocha não intemperizada (não alterada) (Lima et al., 2007).

### 2.1.2 Agregados do Solo

A formação de agregados no solo é ocasionada por vários fatores, e ocorre em duas etapas: (i) primeiro ocorre o ajuntamento das partículas unitárias (argila, silte e areia), provocada por substâncias que têm a propriedade de ligá-las. As principais são produtos de natureza orgânica, como o húmus e substâncias minerais, como sílica, óxidos de ferro e as próprias argilas; (ii) depois da aglutinação das partículas, o umedecimento e ressecamento alternados causam expansão, ou contração da massa do solo, o que provoca rachaduras e fendas formando assim os agregados (Lepsch, 2010).

Os agregados tendem a apresentar formas e tamanhos diferentes, de acordo com o grau de evolução do solo. Solos mais jovens apresentam frequentemente agregados com a forma de blocos, sendo estruturas maiores (0,5 a 3 cm), já em solos mais maduros verifica-se a tendência de os agregados apresentarem a forma granular ou esférica, com menor tamanho ("bolinhas" com 1 a 5 mm de diâmetro) (Figura 2) (Lima et al., 2007).



**Figura 2** - Representação esquemática de duas formas de agregados do solo (Lima et al., 2007).

O tamanho das partículas influenciam diretamente as propriedades físicas do solo. A proporção dos componentes de tamanho menor (argila e silte) e maior (areia e cascalho), com seu arranjo em agregados irá determinar algumas características bastante importantes no solo, como tamanho e

quantidade de poros, permeabilidade ao ar e à água, grau de plasticidade, pegajosidade, facilidade de trabalhos com máquinas e resistência à erosão (Lepsch, 2010). Os principais fatores que interferem na agregação é o tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, matéria orgânica, exsudatos orgânicos de plantas e microrganismos (Pereira et al., 2020).

A estabilidade da agregação do solo indica a condição ou habilidade de arejamento, infiltração, retenção de nutrientes e desenvolvimento de raízes e está diretamente relacionada com o teor de C orgânico no solo (Salton et al., n.d.; Dias et al., 2008). A agregação do solo será destruída se as unidades estruturais não forem estáveis na presença de água (precipitação ou irrigação), e as partículas finas unitárias irão entupir os poros, impedindo a circulação do ar e da água (Pereira et al., 2020). A degradação física do solo está intrinsecamente ligada a modificações dos agregados, já que graças aos agregados, as plantas apresentam melhores condições para crescimento, produção e proteção. As frações argila e húmus do solo, formam complexos argilo-húmicos (contribuem para a agregação do solo), absorvem nutrientes essenciais às plantas, reduzindo a perda por lixiviação; possibilitando maior disponibilidade de água e nutrientes às plantas (Lepsch, 2010; Lima et al., 2007).

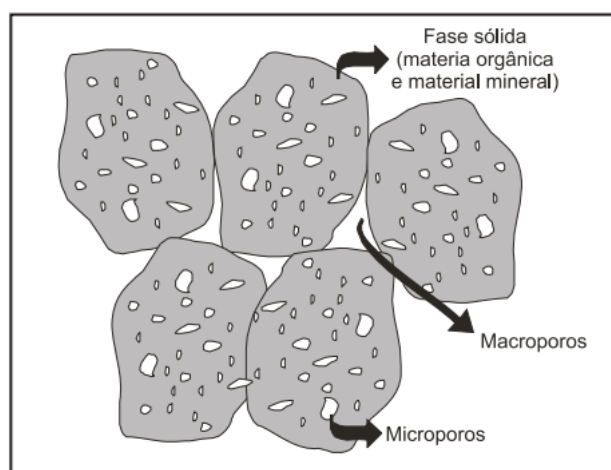
A redução da estabilidade dos agregados está ligada principalmente ao uso agrícola de forma inadequada, com práticas como preparação do solo fora da faixa de sazão, queima da matéria orgânica (agente cimentante), adição excessiva de adubos que contêm catiões dispersantes e permanência do solo sem cobertura vegetal (Pereira et al., 2020).

### 2.1.3 Densidade Aparente do Solo

A densidade aparente do solo é determinada pela quantidade de macro e microporos, e é utilizada como parâmetro para inferir sobre a drenagem, condutividade hidráulica e compactação do solo (Pereira et al., 2020).

Os poros são formados juntamente com o agrupamento da fase sólida do solo em agregados. Distinguem-se entre macroporos (diâmetro  $\geq 0,05$  mm),

poros grandes localizados entre os agregados decorrentes do arranjo dos agregados, dos canais feitos por raízes e pela fauna do solo, da expansão e contração das argilas e do próprio cultivo do solo, e microporos (diâmetro < 0,05 mm), poros pequenos formados dentro dos agregados que dependem principalmente da textura e da quantidade e origem dos agregados (Figura 3) (Lima et al., 2007).



**Figura 3** - Representação esquemática da estrutura granular e dos macro e microporos associados (Lima et al., 2007).

Os macroporos são afetados pela forma de cultivo do solo, pisoteio por animais e uso intenso de maquinário agrícola, principalmente em solos altamente suscetíveis à compactação, já os microporos são suscetíveis à contração em solos submetidos à desidratação, diminuindo a sua capacidade de retenção de água, comprimindo e causando a morte de pelos capilares e fungos que estejam crescendo (Pereira et al., 2020). Os poros grandes são responsáveis pelo fornecimento de ar (oxigênio) para raízes das plantas e outros organismos do solo e os poros pequenos pelo armazenamento de água para suportar a vida do solo (Lima et al., 2007).

A quebra das estruturas físicas do solo ocasionam a diminuição dos espaços porosos, processo conhecido por compactação do solo. A redução da porosidade dificulta a formação e penetração das raízes em camadas profundas do solo, dificulta as trocas gasosas, diminui a infiltração de, deixando o solo mais susceptível a perdas por erosão (Lepsch, 2010).

Por sua vez, a compactação pode reduzir até 60% os rendimentos mundiais das culturas agrícolas e tem sido responsável pela degradação de

uma área estimada em 680.000 km<sup>2</sup> de solo no mundo, ou cerca de 4% da área total de terras agrícolas (Montanarella et al., 2015).

#### 2.1.4 Erosão do Solo

A erosão é ocasionada por um conjunto de processos que atuam sobre o solo, através dos quais, as partículas de solo, subsolo e rocha são desagregadas, alteradas e transportadas. É um processo natural que tem como agentes a água, o vento e o gelo, podendo ser agravado pela interferência humana como o desmatamento, práticas agrícolas e urbanização (Lima et al., 2007).

De acordo com Lepsch (2010), a água pode atuar como um agente desagregante ou como transportador das partículas do solo. Quando a cobertura vegetal do solo é eliminada, deixando-o exposto, intensifica-se os impactos ocasionados pela erosão hídrica, ocorrendo em três etapas: a desagregação, o transporte e a deposição.

O aumento da erosão hídrica está ligado diretamente com a utilização inadequada do solo, a preparação frequente do solo (arações e gradagens) e o trânsito de máquinas agrícolas durante o cultivo, que podem resultar na compactação do solo, facilitando o processo erosivo devido a baixa infiltração de água no solo (Lima et al., 2007). A diminuição da qualidade do solo, é outro agravante do processo erosivo, uma vez que as altas taxas de erosão estão ligadas com a redução da produtividade do solo (Rosado et al., 2021).

Guimarães et al. (2021) ressalta que o processo erosivo tende a reduzir a capacidade do solo para armazenar água e nutrientes, o que pode afetar a resistência e a resiliência da vegetação, natural ou cultivada, a secas prolongadas ou outros eventos extremos. Por consequência, a perda progressiva do coberto vegetal corresponde a um estado de maior degradação da terra, perdas de carbono e nutrientes do solo por erosão hídrica.

Considerando que a erosão do solo afeta 25% das terras agrícolas na União Europeia e que aumentou cerca de 20% entre 2000 e 2010, estima-se que a erosão do solo cause uma perda de produção agrícola correspondente a 1,25 mil milhões de Euros por ano na União Europeia. Por outro lado, também está a contribuir para a diminuição das reservas de carbono nas camadas

superiores dos solos aráveis e a contribuir para as alterações climáticas globais. O Parlamento Europeu (2021), instituiu um documento ressaltando a importância de proteger e mitigar os efeitos da erosão do solo.

A mitigação da erosão do solo está associada à adoção de culturas de cobertura que permitem melhorar as condições do solo através da acumulação de matéria orgânica no solo, aumentando a infiltração do solo e reduzindo o escoamento superficial (Kaspar & Singer, 2015).

## 2.2 COBERTURA VERDE

Apesar de apresentarem grande potencial para reduzir a demanda por fertilizantes e aumentar a conservação do solo, a adoção de plantas de cobertura nos sistemas de produção, restringe-se ainda a poucos proprietários. O não conhecimento sobre estas espécies, dificuldade de aquisição de sementes, e ou, uma visão de retorno económico de curto prazo, são fatores que podem estar causando esse fenômeno (Cassol, 2019). Os principais benefícios da utilização de plantas de cobertura são: suprimento de material orgânico, fixação de N atmosférico, reciclagem de nutrientes residuais e controle de nematóides no solo (Leal, 2005).

Um estudo com consórcio de oliveiras e plantas de cobertura mostrou-se eficiente no aporte de carbono, pois as plantas de cobertura funcionam como reservatório de carbono no solo e evitam perdas de nutrientes por erosão, bem como promovem o estabelecimento e propagação da biodiversidade local, diminuindo os prejuízos econômicos associados aos processos erosivos do solo (Guimarães et al., 2021).

As culturas de cobertura aumentam o potencial para a atividade macro e microfaunística nos solos porque aumentam as entradas totais de material orgânico, aumentam o período de tempo, a cada ano, em que as plantas estão crescendo e injetando C no solo, e moderam as mudanças na temperatura do solo e teor de água, aumentando a cobertura da superfície (Kaspar & Singer, 2015).

Vários estudos ressaltam a melhoria das características físicas, químicas e biológicas de solos, onde são utilizadas espécies de cobertura. A palha das plantas de cobertura traz também outros benefícios, como controle

integrado de plantas daninhas, atuando através de dois mecanismos: físico (regulando a intensidade da luz e como uma barreira física impossibilitando a emergência) e alelopático, (capacidade de inibir a germinação e emergência de ervas daninhas, através da liberação de compostos químicos presentes na palha) (Reginato, 2018; Verissimo & Ferraz, 2019).

Kaspar & Singer (2015) ressalta que as culturas de cobertura oferecem oportunidades únicas para o uso de aleloquímicos para controlar ervas daninhas, patógenos e nematóides em sistemas de cultivo agrícola, porque determinados produtos químicos são liberados durante a decomposição de resíduos das culturas de cobertura em sua forma inalterada, ou podem ser alterados ou transformados por microrganismos do solo.

Conceição (2016) também descreve vários benefícios da utilização de plantas de cobertura, entre eles: a) Produzem elevada produção de fitomassa, cobrindo rapidamente o solo; b) Fixam azoto atmosférico no solo; c) Fazem a reciclagem dos nutrientes de camadas mais profundas; d) Protegem o solo da radiação solar e de agentes de erosão; e) Aumentam a capacidade de infiltração e armazenamento de água e nutrientes no solo; f) Controlam alguns tipos de nematóides fitoparasitos; g) Atuam na descompactação e melhoramento do solo; h) Reduzem a infestação de ervas daninhas, a incidência de pragas e patógenos nas culturas; i) Intensificam a atividade biológica do solo; j) Contribuem para o sequestro de carbono, através do acúmulo de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera. Também, Locatelli (2018), refere que o uso de plantas de cobertura foi efetivo no sequestro de C, com taxas de acúmulo de 5,78% superiores, em relação ao pousio na camada de 0 a 60 cm.

Para potencialização dos benefícios, os consórcios entre espécies de plantas de cobertura é uma importante estratégia, gerando aumentos consistentes na produção de matéria seca (MS) e acúmulo de N por proporcionar maior Índice de Qualidade de Resíduo (IQR), ou seja, melhor equilíbrio entre liberação de N e permanência de resíduos para proteção do solo (Cassol, 2019).

Michelon et al. (2019) destaca que consórcios com Fabaceae (leguminosas), elevaram o teor de matéria orgânica, a disponibilidade de, azoto, fósforo e potássio do solo. Segundo Vukicevich et al. (2016) com o uso de coberturas herbáceas, incrementa-se uma maior diversidade de plantas, o

que pode contribuir para a supressão de doenças de plantas e promover maior resistência geral e resiliência do ecossistema. Em outro estudo realizado por González-Rosado et al. (2021), o manejo de coberturas herbáceas em apenas dois anos surtiu efeitos benéficos num olival que foi durante 15 anos manejado sem cobertura verde. Ao instalar coberturas herbáceas no olival as taxas de erosão diminuíram consideravelmente, onde haviam perdas de  $13,88 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de solo, foram diminuídas para  $2,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , além de provocar uma mudança na tendência de perda de produtividade do solo. Guimarães et al., (2021) relata os benefícios da diminuição das perdas de carbono e nutrientes do solo por erosão hídrica, as plantas de cobertura também mostraram-se eficientes no aporte de carbono, pois atuam como reservatório de carbono no solo e evitam perdas de nutrientes por erosão. Kaspar & Singer (2015) afirmam que ao proteger o solo da erosão com coberturas verdes as perdas de N e P diminuem, além de aumentar o teor de C do solo.

O modelo de De Vincentis et al. (2020) confirma a hipótese de que as culturas de cobertura têm um retorno económico a longo prazo porque os benefícios se acumulam lentamente ao longo do tempo, uma vez que os benefícios superam os custos em maior medida.

### 2.3 OLIVAIS

A oliveira (*Olea Europaea* L.) pertence à família Oleaceae, à subfamília oleóidas, é uma das plantas mais antigas cultivadas pelo homem que tem a sua origem perdida no tempo. Porém, historicamente, acredita-se que a oliveira seja oriunda da Síria, do Líbano ou Israel, entretanto, há quem defenda que é originária da Ásia Menor e outros do Egito e Etiópia (Bohm & Antunes, 2013).

O cultivo da Oliveira estende-se por mais de 47 países, totalizando mais de 11 milhões de hectares no mundo, sendo que 97,9% das áreas correspondem à bacia mediterrânica (Rallo et al., 2018). Porém este cenário tem apresentado mudanças nos últimos anos, já que a implantação de novos olivais vem sendo intensificado não só no mediterrâneo, mas também em outras regiões. Atualmente, a oliveira encontra-se em todo o mundo, mesmo

em regiões onde tradicionalmente não existiam cultivos como China, África do Sul e Brasil (Rallo et al., 2018; Basile et al., 2020).

Em 2017 a área de olival em Portugal era a quarta maior da União Europeia, correspondendo a 7% dos 4,7 milhões de hectares dedicados a esta cultura, sendo responsável por 3,4 % da produção mundial de azeite (GPP, 2020).

Dados demonstram que em 2019 na Europa os olivais ocupavam mais de 6 milhões de hectares, sendo que os países produtores mais representativos são Espanha, Itália, Grécia e Portugal. Em Portugal no ano de 2019, 377 234 hectares (ha) eram ocupados por olivais, em 2020 o olival já ocupava 379 444 ha, demonstrando assim que mesmo sendo uma cultura milenar ainda é muito importante na dieta e na economia atual (Pinto & Gonçalves, 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL ONDE DECORREU O EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido no município de Bragança, região de Trás-os-Montes, NE Portugal. O ensaio foi realizado em vasos, dispostos numa estufa localizada nas coordenadas  $41^{\circ}47'48.8''$  N e  $6^{\circ}45'43.2''$  W, com altitude de 674 metros, nas instalações da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (Figura 4). O solo (Leptossolo) utilizado no experimento teve origem num olival localizado em Suções, Mirandela, NE Portugal.



**Figura 4** - Imagem do local de implementação do experimento (Google Earth, 2023).

## 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), composto por 19 tratamentos, com 3 repetições cada: Os tratamentos são constituídos por 17 espécies herbáceas de cobertura diferentes, instaladas em vasos individualmente (gramíneas – família Poaceae; leguminosas – família Fabaceae; outras), um Mix (mistura de todas as espécies) e uma Testemunha (solo original, sem sementeira). O experimento ficou assim constituído por 57 vasos (19 tratamentos × 3 repetições).

## 3.3 INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO

### 3.3.1. Instalação do Experimento

O solo usado no experimento teve origem na camada arável (0-20 cm) de um olival localizado em Suçães, município de Mirandela, região de Trás-os-Montes, caracterizado por Figueiredo (2013). Trata-se de um Leptossolo, unidade solo predominante na região (ocupa cerca de 72% da área). Os Leptossolos são caracterizados por serem solos delgados (espessura < 30 cm) pobres em matéria orgânica (teor < 2%), com elevada pedregosidade (superior a 25%), degradados pela erosão e/ou aplicação de tecnologias de baixo desenvolvimento. Após a coleta, o solo foi devidamente crivado (crivo de malha de 4,25 mm) e homogeneizado para ser pesado e utilizado nos 57 vasos do ensaio experimental. Determinou-se em laboratório a humidade do solo, obtendo-se um valor médio de 8%.

No ensaio foram usados 5,7 kg de solo por vaso de polietileno, com 21,5 cm de altura (o solo ficou 5 cm abaixo do limite superior do vaso, 16,5 cm), 15,5 cm de diâmetro e 0,045216 m<sup>2</sup> de área. Após o solo ser pesado e os vasos distribuídos na bancada, foram regados diariamente para que as ervas daninhas pudessem emergir e assim fazer a limpeza para que não interferissem no desenvolvimento das espécies de cobertura verde em estudo (Figura 5).



**Figura 5** - Vasos com solo aguardando a emergência das ervas daninhas.

A sementeira ocorreu no dia 02 de maio de 2022, com uma densidade de 100 kg de semente por hectare. Foi considerado um valor de 60% de viabilidade das sementes, no entanto devido a dificuldade de encontrar algumas sementes por serem espécies nativas não comerciais, 3 tratamentos receberam uma densidade de sementeira inferior.

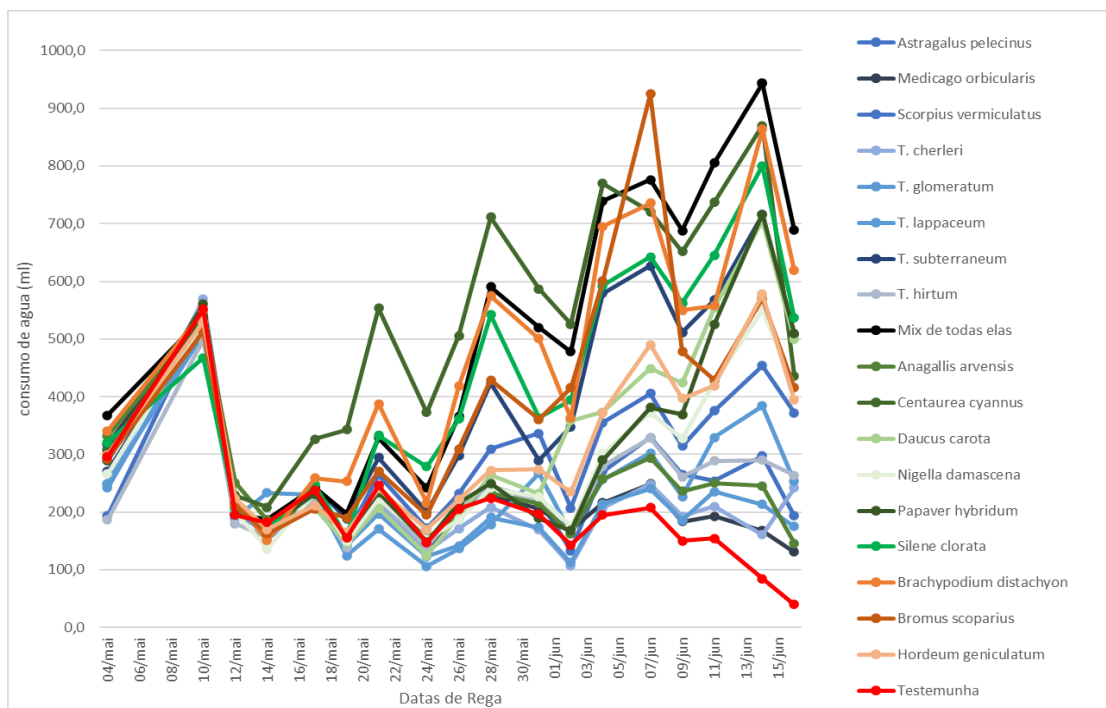
A Tabela 1 mostra as espécies e respectivas quantidades de sementes (g) utilizadas por vaso. Após as sementes serem colocadas no solo, a uma profundidade de 5 mm, adicionou-se água para que o solo chegasse a 70% da sua Capacidade de Campo (CC do solo 35,9%; Figueiredo, 2013), dando assim condições ideais para a germinação das sementes.

**Tabela 1-** Espécies utilizadas e respectivas densidades de sementeira

<b>Espécie</b>	<b>Densidade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Densidade (g vaso<sup>-1</sup>)</b>
<i>Anagallis arvensis</i>	100	0,80
<i>Astragalus pelecinus</i>	100	0,80
<i>Brachypodium distachyon</i>	100	0,80
<i>Bromus scoparius</i>	27	0,20
<i>Centaurea cyannus</i>	100	0,80
<i>Daucus carota</i>	100	0,80
<i>Hordeum geniculatum</i>	7	0,05
<i>Medicago orbicularis</i>	77	0,56
<i>Nigella damascena</i>	100	0,80
<i>Papaver hybridum</i>	100	0,80
<i>Scorpius vermiculatus</i>	100	0,80
<i>Silene clorata</i>	100	0,80
<i>Trifolium cherleri</i>	100	0,80
<i>Trifolium glomeratum</i>	100	0,80
<i>Trifolium lappaceum</i>	100	0,80
<i>Trifolium subterraneum</i>	100	0,80
<i>Trifolium hirtum</i>	100	0,80
Mix	100	0,80
Testemunha	0	0,00

### 3.3.1. Manutenção do Experimento

Após a sementeira, os vasos foram monitorados ao longo de 45 dias (2 de maio a 16 de junho de 2022), período de tempo, que correspondeu ao início da floração, ou seja, à produtividade máxima de biomassa vegetal. Os vasos foram regados três vezes por semana, para que o solo se mantivesse entre 50% e 60% da sua CC. Na Figura 6 é possível verificar a quantidade de água de rega (ml) utilizada durante a condução do experimento.



**Figura 6-** Consumo de água de cada tratamento no decorrer do experimento.

### 3.4 DETERMINAÇÕES DE CAMPO

#### 3.4.1 Altura das Plantas

Para determinar o crescimento das plantas de cada tratamento, foram realizadas medições semanais de altura das plantas (Figura 4), onde eram realizadas três medições, sempre nos mesmos locais, em cada vaso (locais marcados na parede dos vasos) e depois realizada a média, com o objetivo de se obter um valor mais representativo.



**Figura 7-** Processo de medição de altura das plantas, e marcação dos três sítios onde eram sempre realizadas as medições.

#### 3.4.2 Colheita da Biomassa Aérea das Plantas

No final do período experimental (16 de junho de 2022), procedeu-se ao corte da parte aérea das plantas para avaliação da biomassa produzida. No momento do corte obteve-se o peso fresco da biomassa vegetal (Figura 8).



**Figura 8** - Corte da parte aérea das plantas para avaliação da biomassa produzida

#### 3.4.3 Colheita de Amostras de Solo

Para a avaliação de propriedades físicas do solo dos vasos, foram colhidas amostras não perturbadas em cilindros padronizados de 100 cm<sup>3</sup> de

volume (Figura 9). As propriedades físicas avaliadas foram: permeabilidade ( $k$ ), densidade aparente (DAP), microporosidade (MicroP), macroporosidade (MacroP), porosidade total (P), capacidade de campo (CC) e capacidade máxima do solo para a água (CMA). Também se separou 25% do solo do vaso, de forma intacta, para determinação da biomassa das raízes.



**Figura 9** - Colheita de amostras de solo não perturbadas nos vasos..

Colheram-se ainda amostras perturbadas de solo para avaliação da estabilidade de duas classes de agregados (classe 0,25 mm e classe 0,4 mm) e para avaliação dos teores de carbono e azoto.

### 3.5 DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS

#### 3.5.1 Permeabilidade do Solo

Na avaliação do coeficiente de permeabilidade do solo ( $k$ ), foi utilizado um permeâmetro de circuito fechado, de carga constante, capaz de receber simultaneamente 24 amostras de solo não perturbadas, contidas em anéis de

aço inoxidável com volume de  $100 \text{ cm}^3$  ( $20 \text{ cm}^2 \times 5 \text{ cm}$ ). O permeâmetro está instalado no Laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança, sendo utilizado em atividades de cunho pedagógico e de investigação (Figura 10).



**Figura 10** - Permeâmetro de circuito fechado utilizado na avaliação da permeabilidade do solo.

Antes de inserir as amostras no Permeâmetro, fez-se a limpeza da parte externa do anel, em seguida, adicionou-se uma gaze hidrofílica na extremidade não biselada do anel, seguida da colocação do filtro. O próximo passo foi instalar o anel, onde a parte do filtro ficou para baixo na armadura de suporte. Dessa forma, a água flui pela amostra na direção correta durante a medição, já que o fluxo natural no solo é descendente. Finalmente, a amostra foi travada na braçadeira e pressionada a tampa de nylon sobre a tampa do filtro para prender o anel na armadura de suporte. O suporte contendo o anel está então pronto para ser introduzido no Permeâmetro (Figura 11).



**Figura 11** - Procedimentos para introdução das amostras no Permeâmetro de circuito fechado.

Inicialmente, procedeu-se à saturação das amostras, onde o nível da água permaneceu aproximadamente 1 cm abaixo do limite superior da armadura de suporte, e as amostras permaneceram por 24 horas. O aparelho permite que cada amostra fique ligada a uma bureta, para quantificar o volume de água retida durante as medições.

Nas medições foi empregue o método da carga constante, sendo introduzidos os sifões, para dar início à circulação de água no sistema. O sifão foi colocado com uma extremidade dentro do cilindro da amostra e com a outra no tubo sintético de evacuação numerado, de modo a assegurar o fecho do circuito hidráulico. Após uma hora as medições foram iniciadas, para assegurar que o circuito hidráulico estaria devidamente estabilizado em cada amostra.

Primeiramente foram realizadas as medições do nível de água dentro e fora do cilindro, que continha a amostra, para posterior cálculo da diferença de nível ( $dH$ ), parâmetro necessário para o cálculo do coeficiente de permeabilidade saturada. A diferença é estabelecida de acordo com a permeabilidade dos solos, podendo variar entre 2 mm, para solos altamente permeáveis e 20 mm, para solos pouco permeáveis (Santos, 2019). A aferição dos níveis da água foi feita por meio de um medidor, instalado no próprio aparelho.

Em seguida foi realizado a medição do volume de água que fluiu através de cada amostra, num período máximo de 30 minutos, fechando a torneira das buretas quando atingiam a capacidade máxima (40 ml) ou ao final de 30 minutos quando não atingia aquele volume, registrando o volume de água e o tempo correspondente para cada amostra. Os parâmetros medidos individualmente nas amostras contidas no equipamento foram repetidos por 4 dias seguidos. O cálculo da permeabilidade inicial ( $K_i$ ) foi realizado com os resultados obtidos no primeiro dia de medições após a saturação da amostra e a permeabilidade final ( $K_f$ ) foi obtida com a média das três últimas medições.

### 3.5.2.1 Cálculo e classificação do coeficiente de permeabilidade

A Lei de Darcy é utilizada para o cálculo de  $k$  (permeabilidade saturada) quando é aplicado o método da carga constante, considerando:

- $V$  → volume de água que flui através da amostra ( $1 \text{ ml} = \text{cm}^3$ );
- $K$  → coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica ( $\text{cm} / \text{h}$ );
- $dH$  → diferença de nível de água dentro e fora do cilindro da amostra ( $\text{cm}$ );
- $L$  → comprimento da amostra de solo ( $\text{cm}$ );
- $A$  → superfície da secção transversal da amostra ( $\text{cm}^2$ );
- $t$  → tempo estabelecido para a medição do volume  $V$  ( $\text{h}$ ).

O comprimento ( $L$ ) e a superfície da secção transversal ( $A$ ) foram constantes para todas as amostras, 5 cm e 20  $\text{cm}^2$ , respetivamente.

O coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) foi calculado da seguinte forma:

$$k = \frac{V \times L}{A \times t \times dH}$$

**Tabela 2:** Classificação da permeabilidade dos solos (SCS/USDA)

<b>Classe de permeabilidade (designação)</b>	<b>Valor (cm/h)</b>
Muito rápida	>25,4
Rápida	12,7 - 25,4
Moderadamente rápida	6,35 – 12,7
Moderada	2,00 – 6,35
Moderadamente lenta	0,50 – 2,00
Lenta	0,13 - 0,50
Muito lenta	<0,13

**Nota:** Segundo Figueiredo (2011) é possível que os valores obtidos para a permeabilidade saturada sejam discrepantes das condições in loco, por mais precisa que a avaliação por permeametro seja, uma vez que possa existir a não uniformidade do solo e a irregularidades na colheita das amostras, assim a permeabilidade resultante reflete a permeabilidade do solo onde a amostra foi coletada, para obtenção de dados realmente representativos, é preciso um número grande de amostras no ensaio.

### 3.5.2.2 Densidade Aparente do Solo

A densidade aparente do solo (DAP) é um valor adimensional, determinado pela razão entre a massa volúmica aparente do solo ( $\rho_s$ ) e a da água ( $\rho = 1 \text{ g / cm}^3$ ).

$$Dap = \frac{\rho_s}{\rho}$$

A massa volúmica ( $\rho_s$ ) aparente do solo foi calcula por:

$$\rho_s = \frac{M \text{ solo seco}}{V \text{ cilindro}}$$

Onde M solo seco foi obtida por pesagem da amostra seca na estufa a 105°C até peso constante (durante pelo menos 24h) e V cilindro = A \* L.

### 3.5.2.3 Porosidade Total

A porosidade total do solo (P) foi calculada a partir da razão entre água de saturação e o volume do cilindro (Figueiredo, 2011):

$$\%P = 100 \times \frac{M \text{ solo saturado} - M \text{ solo seco}}{V \text{ cilindro}}$$

Onde M solo saturado foi obtida através da pesagem da amostra à saída do permeâmetro após 1 hora de drenagem, M solo seco foi o resultado da pesagem depois de secagem da amostra na estufa a 105°C até peso constante (durante pelo menos 24h) e  $V \text{ cilindro} = A * L$ .

### 3.5.2.4 Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para Água

Por fim as amostras ficaram drenando por 24 horas, para que o teor de humidade obtido seja corresponde à capacidade de campo do solo (CC), ou seja, a uma estimativa da água retida nos seus microporos (Figueiredo, 2011). Obteve-se este teor de humidade através da diferença entre o peso da amostra nessas condições (M solo húmido), e o peso obtido depois da secagem da amostra na estufa a 105°C (M solo seco):

$$\%CC = 100 \times \frac{M \text{ solo húmido} - M \text{ solo seco}}{M \text{ solo seco}}$$

A capacidade máxima para água (CMA) foi determinada da seguinte forma:

$$\%CMA = 100 \times \frac{M \text{ solo saturado} - M \text{ solo seco}}{M \text{ solo seco}}$$

### 3.5.2.5 Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade (MicroP) é a expressão volumétrica do teor de humidade, calculada por:

$$\% \mathbf{MicroP} = \% \mathbf{CC} \times \mathbf{Dap}$$

A macroporosidade (MacroP) foi estimada por diferença:

$$\% \mathbf{MacroP} = \mathbf{P} - \mathbf{MicroP}$$

### 3.5.2 Estabilidade dos Agregados

A determinação da estabilidade dos agregados foi realizada num estabilizador de agregados pelo método da crivagem em húmido (wet sieving) (Figura 12). Este equipamento simula as forças mecânicas e físico-químicas, com a geração de movimentos de subida e descida, os agregados entram em contacto com a água destilada e, em seguida, com uma solução dispersante de hexametáfosfato de sódio, possibilitando a dispersão dos agregados instáveis e estáveis, respectivamente.



**Figura 12** - Estabilizador de Agregados utilizado na determinação da estabilidade de agregados.

Antes de iniciar as avaliações foi necessário proceder à preparação das amostras de solo. Estas foram secas a 45°C durante 48 horas e as três amostras de cada tratamento foram bem homogeneizadas formando uma amostra compósta por tratamento. Seguiu-se a crivagem sequencial, em crivos de malha de 2 mm e 1 mm. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se apenas as partículas que ficaram retidas no crivo de 1 mm, ou seja, partículas com dimensões entre 1 e 2 mm.

Duas classes de tamanho de agregados foram estabelecidas: a classe de 0,4 mm e a classe de 0,25 mm. A última classe representa o caso limite entre macroagregado (> 250 µm) e microagregado (20-250 µm). Portanto, para avaliar a estabilidade dos agregados em amostras de solo, foram utilizadas uma peneira de malha 0,4 mm e uma peneira de malha 0,25 mm. Os ensaios para cada classe de agregados foram realizados separadamente, primeiro determinou-se a estabilidade dos agregados maiores (peneira de 0,4 mm) e depois a estabilidade dos agregados menores (peneira de 0,25 mm). O equipamento permite trabalhar com 8 amostras de cada vez.

Foram pesadas 4 g de solo de cada amostra para um recipiente, esse processo foi repetido por 4 vezes, ou seja, 4 repetições por amostra. A humidade do solo foi avaliada em 1,5 g de cada amostra, secas a 105 °C durante 24h.

Agregados em contacto com a água destilada (partículas instáveis):

Foram adicionados 100 ml de água destilada em recipientes metálicos adaptados ao equipamento e colocados no equipamento. As amostras de solo (4 g cada) foram vertidas no crivo correspondente a cada ensaio (crivos de malha 0,4 mm ou 0,25 mm); baixou-se a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solo, até as amostras ficarem submersas na água destilada contida nos recipientes; ligou-se o aparelho que realizou movimentos de descida e subida durante 3 minutos; elevou-se a plataforma a fim de deixar a água contida nos crivos escorrer; retirou-se os recipientes do equipamento, que contêm as partículas instáveis, e deixou-se por 15 minutos a decantar para

a remoção de 20 a 40 mL de água, seguida da transferência do conteúdo para potes de plástico devidamente identificados; colocação dos potes de plásticos contendo as partículas instáveis na estufa a 105°C durante 24 horas.

Agregados em contacto com a solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (partículas estáveis):

Os recipientes metálicos foram colocados no aparelho com 100 ml de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (4 g de hexametáfosfato de sódio para 2 litros de água destilada); baixou-se a plataforma do equipamento, contendo os crivos com as amostras de solo, até estas ficarem submersas na solução dispersante dos recipientes; ligou-se o aparelho durante 5 minutos. Após esse tempo, a plataforma foi elevada e com o auxílio de um bastão de vidro aplicou-se uma pressão nas amostras; baixou-se novamente a plataforma com os crivos e ligou-se o equipamento por mais 4 minutos; retirou-se os recipientes do equipamento, que contêm as partículas estáveis, e deixou-se por 15 minutos a sedimentar para a remoção de 20 a 40 ml do líquido, seguida da transferência do conteúdo para potes de plástico devidamente identificados; colocação dos potes de plásticos contendo as partículas estáveis na estufa a 105°C durante 24 horas.

Após 24 horas, os potes foram retirados da estufa e pesados, obtendo-se o peso final seco de cada amostra, permitindo o cálculo da estabilidade da agregação (EA) e das partículas primárias (PP).

Cálculo da estabilidade dos agregados:

$$EA(\%) = \frac{Pfs}{Pf_{H2O} + Pfs} \times 100$$

Cálculo das partículas primárias:

$$PP(\%) = \frac{Pi - (Pf_{H2O} + Pfs)}{Pi} \times 100$$

$P_{fs}$  – Peso final da amostra seca, em gramas, após o processo de dispersão na solução dispersante;

$P_{fH_2O}$  – Peso final da amostra seca, em gramas, após o processo de dispersão em água destilada.

$P_i$  – Peso, em gramas, da amostra inicial colocada no crivo (4 g)

### 3.5.3 Carbono e Azoto do Solo

As amostras de solo foram secas a 45°C, crivadas (crivo de malha 2 mm) e devidamente organizadas, identificadas e enviadas para o Laboratório de solos da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), para determinação dos teores de Carbono orgânico e Azoto total

. As determinações foram realizadas em analisador elementar por combustão a 1000 °C e deteção por detetor de infravermelhos próximos (NIRD) no caso do C e por quimiluminescência no caso do N.

### 3.5.4 Biomassa da Parte Aérea das Espécies Herbáceas

Para a determinação da biomassa seca das plantas foi coletada toda a biomassa da parte aérea das espécies herbáceas em estudo. As amostras foram pesadas (peso fresco) e colocadas a secar numa estufa de ventilação forçada por 72 horas a uma temperatura de 65 °C. Depois de secas, as amostras foram novamente pesadas em balança semi-analítica para quantificação da matéria seca (MS) produzida em cada tratamento (Figura 13).



**Figura 13** - Processo de determinação da matéria seca das espécies herbáceas.

### 3.5.5 Biomassa das Raízes das Espécies Herbáceas

Para realizar a determinação da biomassa das raízes das espécies herbáceas foi necessário isolar 25% do solo contido em cada vaso de forma intacta, e posteriormente desagregá-lo para que as raízes se desprendessem do solo (Figura 14).



**Figura 14** - Separação do solo para quantificação da biomassa das raízes das espécies herbáceas.

Em seguida, com objetivo de separar as partículas mais finas de solo, para assim poder separar com maior facilidade as raízes, as amostras foram passadas por um crivo de 1 mm. Após esse processo, com o auxílio de uma pinça foram extraídas as raízes e lavadas em água para retirar qualquer resquício de solo, utilizando como suporte um crivo de 0,5 mm, para não perder qualquer parcela do material radicular (figura15). Finalmente, com auxílio de uma pisseta o material foi colocado num pote devidamente identificado, e lavado à estufa a 65°C durante um período de 72 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da Biomassa seca das raízes.



**Figura 15** - Processo de separação das raízes das espécies herbáceas do solo.

### 3.5.6 Rácio Biomassa Radicular / Biomassa das Raízes

Para determinação do rácio Biomassa radicular / Biomassa das raízes, foi calculada a razão entre o rendimento de biomassa das raízes e o rendimento da biomassa da parte aérea das espécies herbáceas.

## 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Nas análises estatísticas o programa utilizado foi o SISVAR, onde os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente, em caso de significância, aplicou-se o teste de comparação de médias Scott Knott ( $p < 0,05$ ). As espécies herbáceas foram separadas por famílias (gramíneas – família Poaceae; leguminosas – família Fabaceae; Outras) e comparadas as espécies de uma mesma família, com o Mix e a Testemunha (neste último caso apenas para as propriedades do solo). Também foram comparados os valores médios obtidos para cada família com o Mix e a Testemunha (igualmente, neste último caso apenas para as propriedades do solo).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor visualização dos resultados, as espécies herbáceas de cobertura foram separadas e comparadas em grupos de acordo com sua similaridade de morfologia. Assim, as plantas foram classificadas por famílias, e separadas em 3 grandes grupos, as Poaceae (gramíneas), as Fabaceae (leguminosas) e as demais famílias (Outras). As espécies da mesma família foram comparadas entre si e com o tratamento Mix. Os valores médios de cada grupo de famílias foram também comparados com o tratamento Mix.

### 4.1 ALTURA DAS PLANTAS

O acompanhamento da altura das plantas no decorrer do experimento expressa seu hábito de crescimento, informação fundamental para as plantas usadas como coberturas herbáceas, uma vez que a velocidade de crescimento tende a influenciar diretamente a sua capacidade de competição e de acúmulo de biomassa (Raposo et al., 2022). Na Tabela 2 apresentam-se as alturas registradas para as espécies da família Poaceae (gramíneas) e para o tratamento Mix.

**Tabela 2** - Altura (cm) das espécies da família Poaceae (gramíneas) e do Mix no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Poaceae				
	19 dias	26 dias	33 dias	40 dias	45 dias
	(cm)				
<i>Brachypodium distachyon</i>	14,43 <sup>b</sup>	23,43 <sup>a</sup>	34,63 <sup>a</sup>	41,20 <sup>a</sup>	48,20 <sup>a</sup>
<i>Bromus scoparius</i>	13,53 <sup>b</sup>	22,90 <sup>a</sup>	29,83 <sup>a</sup>	33,40 <sup>b</sup>	34,53 <sup>b</sup>
<i>Hordeum geniculatum</i>	16,63 <sup>a</sup>	23,40 <sup>a</sup>	28,87 <sup>a</sup>	33,73 <sup>b</sup>	35,63 <sup>b</sup>
Mix	11,93 <sup>b</sup>	21,57 <sup>a</sup>	28,60 <sup>a</sup>	41,73 <sup>a</sup>	50,77 <sup>a</sup>
CV (%)	9,44	7,17	12,67	5,86	5,11
Erro	0,62	0,76	1,78	1,02	1,00

No grupo das Poaceae a espécie *Hordeum gemiculatum* atingiu uma altura inicial (16,63 cm) superior aos demais tratamentos, sendo a única que diferiu estatisticamente dos restantes tratamentos. Aos 26 e 33 dias, o crescimento em altura não diferiu estatisticamente entre espécies. Porém, a partir dos 40 dias a espécie *Brachypodium distachyon* e o Mix apresentaram as maiores alturas, sendo respectivamente de 41,20 cm e 41,73 cm. Resultados estes que se mantiveram aos 45 dias onde a *Brachypodium distachyon* e o Mix obtiveram médias finais de crescimento de 48,20 cm e 50,77 cm, diferindo esteticamente da *Bromus scopariu* e *Hordeum gemiculata*, que obtiveram respetivamente 34,53 cm e 35,63 cm de altura.

Apesar das espécies citadas pertencerem à mesma família, sua denominação vem do embrião com um só cotilédone por ocasião da germinação, a forma de crescimento do colmo é que determina o hábito de crescimento das plantas, o qual difere de espécie para espécie (Fontaneli et al., 2012). Facto esse que explica a diferença entre o hábito de crescimento das espécies, onde algumas tiveram um arranque inicial maior, porém obtiveram menores médias finais, verificando-se também o contrário.

Ao avaliar as médias de altura obtidas para o Mix das espécies, percebe-se um arranque inicial menor, porém com o passar dos dias de experimento acaba tendo a maior média final de crescimento. Esse comportamento ocorre devido ao aumento de competição por radiação solar das plantas que estimula o crescimento vertical (Raposo et al., 2022), uma vez que o desenvolvimento das espécies gera a supressão entre si, estimulando a competitividade e assim o crescimento das mesmas.

Na Tabela 3 apresentam-se as alturas registadas para as espécies da família Fabaceae (leguminosas) e para o tratamento Mix.

De um modo geral, o Mix de plantas apresentou maiores médias de altura desde o início até ao final do experimento, apresentando uma média inicial de 11,93 cm e final de 50,77 cm. No decorrer do experimento o tratamento *T. subterraneum* obteve maiores alturas em relação às restantes espécies. Porém, o crescimento foi inferior ao do Mix de espécies, registrando este uma altura inicial de 10 cm e uma final de 27,10 cm, representando a maior média final entre as espécies.

**Tabela 3** - Altura (cm) das espécies da família Fabaceae (leguminosas) e do Mix no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Fabaceae				
	19 dias	26 dias	33 dias	40 dias	45 dias
	(cm)				
<i>Astragalus pelecinus</i>	4,63 <sup>c</sup>	7,53 <sup>d</sup>	10,37 <sup>c</sup>	12,20 <sup>c</sup>	16,60 <sup>e</sup>
<i>Medicago orbicularis</i>	4,33 <sup>c</sup>	7,27 <sup>d</sup>	11,77 <sup>c</sup>	14,67 <sup>c</sup>	19,77 <sup>d</sup>
<i>Scorpius vermiculatus</i>	8,73 <sup>b</sup>	10,37 <sup>c</sup>	14,07 <sup>c</sup>	15,50 <sup>c</sup>	22,23 <sup>c</sup>
<i>T. cherleri</i>	3,80 <sup>c</sup>	5,60 <sup>e</sup>	9,47 <sup>c</sup>	13,40 <sup>c</sup>	16,13 <sup>e</sup>
<i>T. glomeratum</i>	2,87 <sup>c</sup>	5,57 <sup>e</sup>	10,27 <sup>c</sup>	18,20 <sup>c</sup>	20,70 <sup>c</sup>
<i>T. lappaceum</i>	3,73 <sup>c</sup>	7,27 <sup>d</sup>	12,23 <sup>c</sup>	16,23 <sup>c</sup>	21,53 <sup>c</sup>
<i>T. subterraneum</i>	10,00 <sup>b</sup>	15,70 <sup>b</sup>	19,10 <sup>b</sup>	24,07 <sup>b</sup>	27,10 <sup>b</sup>
<i>T. hirtum</i>	5,40 <sup>c</sup>	7,40 <sup>d</sup>	11,50 <sup>c</sup>	25,63 <sup>b</sup>	17,37 <sup>e</sup>
Mix	11,93 <sup>a</sup>	21,57 <sup>a</sup>	28,60 <sup>a</sup>	41,73 <sup>a</sup>	50,77 <sup>a</sup>
CV (%)	16,96	12,35	19,51	31,71	7,68
Erro	0,54	0,63	1,43	3,32	0,94

As Fabaceae também conhecidas como leguminosas constituem uma família da classe das Dicotiledôneas, muito rica em espécies. Essas plantas podem variar de pequeno porte, a arbustos e árvores e apresentam vários tipos de caules como aéreos, estoloníferos, escandentes e eretos (Raposo et al., 2022). Com tantas diferenças, é natural que tenham hábitos de crescimento diferenciados, explicando a vasta diferenciação entre os comportamentos de crescimento das espécies dessa família.

Na Tabela 4 estão registadas as alturas das espécies designadas de Outras e do tratamento Mix

Aos 19 dias os tratamentos com as alturas mais elevadas eram a *Centaurea cyannus* e o Mix, com médias de 13,13 cm e 11,93 cm respectivamente. As outras variaram entre 7,80 cm e 2,40 cm. Durante o experimento, as plantas mantiveram tendência similar. No que respeita à altura final, o Mix apresentou a maior altura (50,77 cm), seguido da *Centaurea cyannus* (42,67 cm) e da

*Silene clorata* (40,83). As espécies com menores crescimentos finais foram a *Daucus carota* (23,43 cm) e a *Anagallis arvensis* (19,17 cm).

Este grupo foi o que apresentou maior diversidade no crescimento em altura, uma vez que é composto por indivíduos não somente de espécies mas também de famílias diferentes, e mais uma vez o Mix das espécies sobressaiu em crescimento, fato esse já explicado anteriormente.

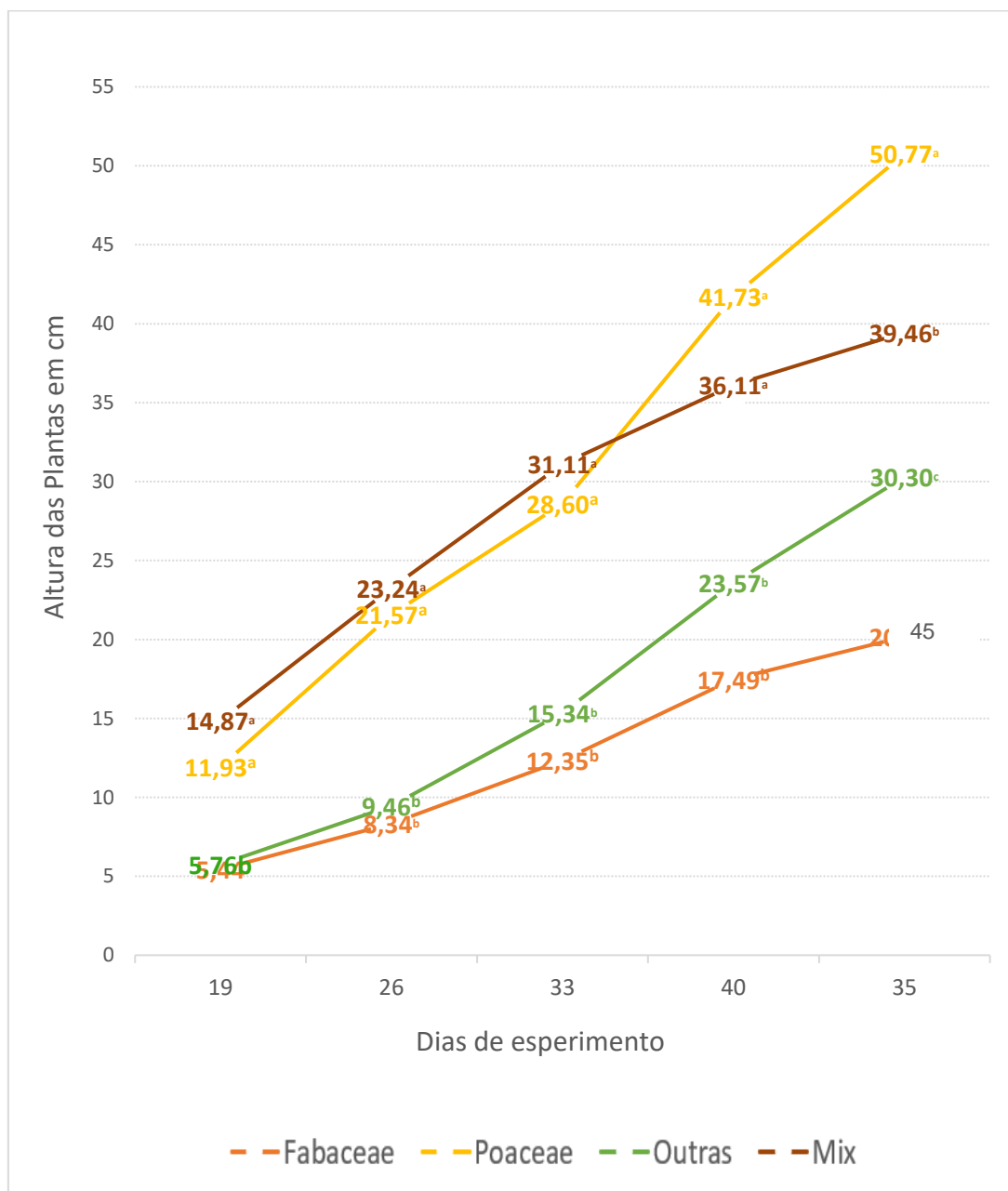
**Tabela 4** - Altura (cm) das espécies designadas de Outras no decorrer do experimento. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Outras				
	19 dias	26 dias	33 dias	40 dias	45 dias
	(cm)				
<i>Anagallis arvensis</i>	2,60 <sup>d</sup>	4,30 <sup>f</sup>	7,53 <sup>d</sup>	12,73 <sup>d</sup>	19,17 <sup>d</sup>
<i>Centaurea cyannus</i>	13,13 <sup>a</sup>	19,57 <sup>b</sup>	29,30 <sup>a</sup>	39,03 <sup>a</sup>	42,67 <sup>b</sup>
<i>Daucus carota</i>	5,07 <sup>c</sup>	9,33 <sup>d</sup>	14,93 <sup>b</sup>	21,33 <sup>c</sup>	23,43 <sup>d</sup>
<i>Nigella damascena</i>	3,57 <sup>d</sup>	6,73 <sup>e</sup>	11,90 <sup>c</sup>	19,13 <sup>c</sup>	26,23 <sup>c</sup>
<i>Papaver hybridum</i>	2,40 <sup>d</sup>	5,03 <sup>f</sup>	10,53 <sup>c</sup>	18,20 <sup>c</sup>	29,47 <sup>c</sup>
<i>Silene clorata</i>	7,80 <sup>b</sup>	11,77 <sup>c</sup>	17,87 <sup>b</sup>	31,00 <sup>b</sup>	40,83 <sup>b</sup>
Mix	11,93 <sup>a</sup>	21,57 <sup>a</sup>	28,60 <sup>a</sup>	41,73 <sup>a</sup>	50,77 <sup>a</sup>
CV (%)	11,97	11,43	18,33	11,5	11,32
Erro	0,40	0,65	1,60	1,52	1,90

De seguida apresentam-se as médias das alturas das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix, ao longo do período experimental (Figura 16).

Dos 19 aos 40 dias de experimento, o Mix e o grupo das Poaceae não diferiram estatisticamente entre si, com médias iniciais de 11,93 cm e 14,87 cm, respectivamente. Porém, diferiram das Fabaceae e das Outras, que obtiveram inicialmente 5,44 cm e 5,76 cm de altura. Contudo, aos 45 dias todos os valores de altura diferiram significativamente, sendo que o Mix alcançou a maior média (50,77 cm), seguido das Poaceae (39,46 cm), enquanto as outras atingiu 30,30 cm e as Fabaceae 20,18 cm.

Como já discutido, devido à competitividade das plantas por luminosidade as mesmas tendem a ter um crescimento vertical estimulado. As Poaceae por sua vez possuem rusticidade e agressividade além da capacidade de perfilhamento (Heinrichs et al., 2001), o que pode explicar a obtenção das maiores alturas em relação às demais famílias.



**Figura 16** - Médias das alturas das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix, ao longo do período experimental. Para cada período de observação, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos.

## 4.2 BIOMASSA DAS ESPÉCIES HERBÁCEAS DE COBERTURA

A biomassa é uma variável muito importante uma vez que a presença dos restos vegetais traz muitos benefícios, como controle integrado de plantas daninhas (atuando em dois mecanismos, físico e alopático), retenção de carbono no solo e evitam perdas de nutrientes por erosão, bem como promovem o estabelecimento e propagação da biodiversidade local, além de funcionar como uma barreira de proteção para o impacto da chuva que pode gerar erosão (Reginato, 2018; Verissimo e Ferraz, 2019; Guimarães, 2021).

A partir da biomassa radicular pode-se ter uma ideia da presença e crescimento de raízes que promovem alterações na estrutura do solo, formando bioporos que regulam os fluxos de ar e água, espaço poroso capaz de aumentar a retenção de água no solo, bem como promover a formação de agregados estáveis com maior capacidade de resistir a pressões externas aplicadas por máquinas e animais sobre o solo (Carvalho et al., 2022).

A partir da biomassa radicular e da biomassa aérea obtém-se o rácio Biomassa radicular / Biomassa aérea (BR / BA), o qual pode ser importante para estimar os estoques de carbono na biomassa acima e abaixo do solo, principalmente no caso de comunidades herbáceas e arbustivas (Fonseca et al., 2012).

Na Tabela 5 apresentam-se os valores de biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e o rácio BR / BA para a família das Poaceae. A biomassa radicular é significativamente superior para a espécie *Brachypodium distachyon* (163 g/m<sup>2</sup>), seguida da *Bromus scopariu* (119,33 g/m<sup>2</sup>). A espécie *Hordeum geniculatum* e o Mix apresentaram os menores valores, 55,33 g/m<sup>2</sup> e 57,73 g/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Relativamente à biomassa da parte aérea, o tratamento Mix foi o que apresentou a quantidade mais elevada (254,19 g/m<sup>2</sup>), seguido da *Brachypodium distachyon* (218,51 g/m<sup>2</sup>), *Bromus scopariu* (150,39 g/m<sup>2</sup>) e finalmente a *Hordeum geniculatum* (112,06 g/m<sup>2</sup>). Todos os tratamentos diferem significativamente entre si.

Quanto ao rácio BR / BA, os tratamentos com maiores médias foram *Brachypodium distachyon* e *Bromus scoparius*, ambos com média de 0,77, seguidos do *Hordeum geniculatum* com 0,50 e o Mix com 0,23.

**Tabela 5-** Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA para a família das Poaceae Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	Poaceae		BR/BA
	BR	BA	
	g/m <sup>2</sup>		
<i>Brachypodium distachyon</i>	163,00 <sup>a</sup>	218,51 <sup>b</sup>	0,77 <sup>a</sup>
<i>Bromus scoparius</i>	119,33 <sup>b</sup>	150,39 <sup>c</sup>	0,77 <sup>a</sup>
<i>Hordeum geniculatum</i>	55,33 <sup>c</sup>	112,06 <sup>d</sup>	0,50 <sup>b</sup>
Mix	57,73 <sup>c</sup>	254,19 <sup>a</sup>	0,23 <sup>c</sup>
CV (%)	13,96	6,23	13,95
Erro	6,37	5,29	0,04

Na Tabela 6 é possível verificar que os tratamentos com as maiores médias de biomassa radicular foram o *T. subterraneum* (70,27 g/m<sup>2</sup>) e o Mix (57,73 g/m<sup>2</sup>) g/m<sup>2</sup>, seguidos por *Astragalus pelecinus* (43,50 g/m<sup>2</sup>). Os demais tratamentos não obtiveram diferenças significativas, apresentando médias que variaram de 32,20 g/m<sup>2</sup> a 16,00 g/m<sup>2</sup>.

No que respeito à biomassa aérea, mais uma vez foram os tratamentos *T. subterraneum* (221,90 g/m<sup>2</sup>) e o Mix (254,19 g/m<sup>2</sup>) que mostraram os maiores valores, seguidos de *T. lappaceum* (130,56 g/m<sup>2</sup>), *Scorpius vericulatus* (96,57 g/m<sup>2</sup>) e *Trifolium hirtum* (91,26 g/m<sup>2</sup>). As menores médias de biomassa variam entre 66,20 g/m<sup>2</sup> (*T. glomeratum*) e 41,28 (*Medicago orbicularis*) g/m<sup>2</sup>.

Para o rácio BR / BA, as maiores médias foram obtidas para a espécie *Astragalus pelecinus* (0,67) e *Medicago orbicularis* (0,63), os demais tratamentos não diferiram significativamente entre si, e os rácios variaram de 0,40 (*T. cherleri*) a 0,17 (*Trifolium hirtum*).

**Tabela 6** - Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA família das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Fabaceae			
Tratamento	BR	BA	BR/BA
	g/m <sup>2</sup>		
<i>Astragalus pelecinus</i>	43,50 <sup>b</sup>	64,28 <sup>c</sup>	0,67 <sup>a</sup>
<i>Medicago orbicularis</i>	25,10 <sup>c</sup>	41,28 <sup>c</sup>	0,63 <sup>a</sup>
<i>Scorpius vermiculatus</i>	32,20 <sup>c</sup>	96,57 <sup>b</sup>	0,33 <sup>b</sup>
<i>T. cherleri</i>	19,13 <sup>c</sup>	64,14 <sup>c</sup>	0,40 <sup>b</sup>
<i>T. glomeratum</i>	18,07 <sup>c</sup>	66,20 <sup>c</sup>	0,27 <sup>b</sup>
<i>T. lappaceum</i>	18,40 <sup>c</sup>	130,56 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>
<i>T. subterraneum</i>	70,27 <sup>a</sup>	221,90 <sup>a</sup>	0,33 <sup>b</sup>
<i>T. hirtum</i>	16,00 <sup>c</sup>	91,26 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>
Mix	57,73 <sup>a</sup>	254,19 <sup>a</sup>	0,23 <sup>b</sup>
CV (%)	37,61	21,10	53,83
Erro	6,52	12,55	0,10

A Tabela 7 apresenta os valores de biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e o rácio BR / BA para o grupo designado de Outras.

**Tabela 7** - Biomassa radicular (BR), biomassa aérea (BA) e rácio BR / BA para o grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

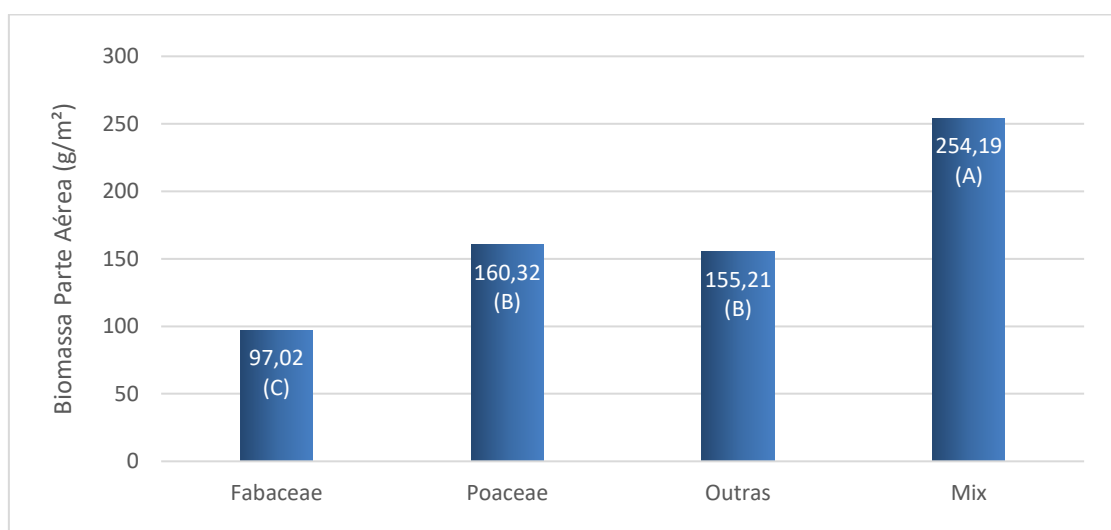
Outras			
Tratamento	BR	BA	BR/BA
	g/m <sup>2</sup>		
<i>Anagallis arvensis</i>	17,90 <sup>c</sup>	35,33 <sup>d</sup>	0,77 <sup>a</sup>
<i>Centaurea cyannus</i>	114,83 <sup>a</sup>	299,53 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>
<i>Daucus carota</i>	21,23 <sup>c</sup>	76,30 <sup>d</sup>	0,30 <sup>a</sup>
<i>Nigella damascena</i>	14,70 <sup>c</sup>	82,27 <sup>d</sup>	0,20 <sup>a</sup>
<i>Papaver hybridum</i>	23,87 <sup>c</sup>	136,09 <sup>c</sup>	0,20 <sup>a</sup>
<i>Silene clorata</i>	124,60 <sup>a</sup>	301,51 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>
Mix	57,73 <sup>b</sup>	254,19 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>
CV (%)	17,82	14,25	30,53
Erro	4,82	12,19	0,04

Na tabela 7 é possível observar que as espécies que obtiveram médias significativamente mais altas de biomassa radicular foram a *Silene clorata* (124,60 g/m<sup>2</sup>) e a *Centaurea cyannus* (114,83 g/m<sup>2</sup>), seguidas do Mix (57,73 g/m<sup>2</sup>). Os restantes tratamentos não diferiram estatisticamente entre si e variaram de 23,87 g/m<sup>2</sup> (*Papaver hybridum*) a 14,70 g/m<sup>2</sup> (*Nigella damascena*).

Para a biomassa da parte aérea as espécies *Silene clorata* (301,51 g/m<sup>2</sup>) e *Centaurea cyannus* (299,53 g/m<sup>2</sup>) mantiveram os maiores valores, seguidas do Mix (254,19 g/m<sup>2</sup>). As espécies *Papaver hybridum* (136,09 g/m<sup>2</sup>) e *Nigella damascena* (82,27 g/m<sup>2</sup>) mantiveram os menores valores.

As médias dos rácios BR / BA não diferiram significativamente entre si, porém variam de 0,77 (*Anagallis arvensis*) a 0,20 (*Nigella damascena*). Diversos fatores influenciam este rácio como o estágio sucessional da vegetação, grupo funcional a que pertence a espécie, umidade do solo, características do solo e disponibilidade de nutrientes (Aduan et al., 2003). Contudo, o único fator que se pode aplicar à presente avaliação é a diferenciação de espécies, uma vez que as plantas foram mantidas em iguais condições de humidade, temperatura e solo e cortadas durante o mesmo estágio fenológico.

A Figura 17 mostra as médias da biomassa aérea das espécies dos grupos Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix.

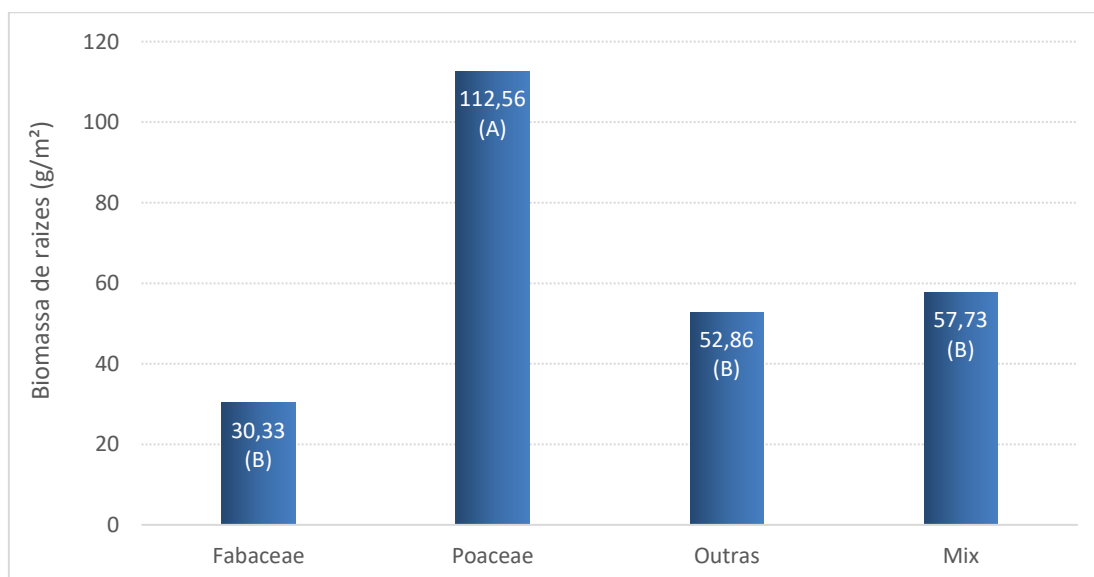


**Figura 17-** Média da biomassa aérea das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

O maior valor foi obtido no Mix de plantas (254,19 g/m<sup>2</sup>), seguido do grupo das Poaceae (160,32 g/m<sup>2</sup>) e das Outras espécies (155,21 g/m<sup>2</sup>), sendo que a menor média corresponde ao grupo das Fabaceae (97,02 g/m<sup>2</sup>).

Os resultados obtidos são corroborados por Zeich et al. (2014), que relatam que as Poaceae têm maior produção total de matéria seca (MS) comparativamente às Fabaceae, tanto em condições de seca quanto de alta pluviosidade. A resposta na produção de MS é um importante fator da adaptação das plantas de cobertura, e quando se trata da família das Fabaceae algumas espécies podem sofrer com a ineficiência das estirpes nativas em suprir o N necessário para o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas (Cieslik, 2014), o que pode explicar o comportamento desse grupo.

Na figura 18 pode-se observar a média da biomassa das raízes para os grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix. A maior média foi obtida pelo grupo das Poaceae (112,56 g/m<sup>2</sup>). Os demais grupos não diferiram significativamente, o Mix obteve uma média de 57,73 g/m<sup>2</sup>, as Outras espécies de 52,86 g/m<sup>2</sup> e as Fabaceae de 30,33 g/m<sup>2</sup>. Demonstrando assim que as Poaceae tiveram uma produtividade média 271% superior às Fabaceae.



**Figura 18** - Média da biomassa das raízes das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras e do Mix. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

As Poaceae apresentam crescimento radicular vigoroso em relação às outras famílias. Apresentam um sistema radicular fasciculado denso que favorece a manutenção de uma boa estrutura do solo, a entrada de carbono no solo, e o incremento de matéria orgânica a longo prazo (Carvalho et al., 2022). Porém, as Fabaceae formam associações com rizóbios do solo/inoculados, como *Rhizobium* sp., fixando azoto ( $N_2$ ) atmosférico, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada (Oliveira, 2014).

### 4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

#### 4.3.1 Permeabilidade e Propriedades Relacionadas

A permeabilidade ( $k$ ) demonstra a velocidade com que a água se desloca dentro do solo, e está correlacionada com as taxas de infiltração e a drenagem no interior do solo, que são fatores essenciais no comportamento do escoamento superficial (Figueiredo, 2011).

No grupo das Poaceae (Tabela 8) os tratamentos que tiveram maior valor de  $k$  foram *Hordeum geniculatum* (30,37 cm/h) e *Brachypodium distachyon* (25,81 cm/h), valores esses 250% maiores que os obtidos pela Testemunha, que atingiu médias de 9,67 cm/h. Para a densidade aparente do solo (DAP) as médias deste grupo não diferiram estatisticamente, e como seria de esperar, ocorreu uma tendência dos tratamentos com maior  $k$  terem menor DAP. A CMA e a CC apresentaram comportamento similar e, todos os tratamentos mostraram médias significativamente superiores em comparação com a Testemunha, resultando num aumento de cerca de 5% na capacidade de retenção de água do solo. Em relação à porosidade total do solo as espécies do grupo Poaceae se mostraram efetivas, uma vez que todos os tratamentos diferiram significativamente da Testemunha, apresentando um aumento de 6 a 9% na porosidade total do solo. Os valores de Macro e Microporosidade não apresentam diferenças significativas, porém as médias de todos os tratamentos sugerem um aumento destes atributos do solo em relação à Testemunha.

**Tabela 8** - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP), Capacidade de Campo (CC) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo das Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Poaceae						
	K (cm/h)	DAP	CMA	CC	P (%)	MicroP	MacroP
<i>Brachypodium distachyon</i>	25,81 <sup>a</sup>	1,29 <sup>a</sup>	41% <sup>a</sup>	37% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	47% <sup>a</sup>	5% <sup>a</sup>
<i>Bromus scoparius</i>	4,21 <sup>b</sup>	1,31 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	52% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Hordeum geniculatum</i>	39,37 <sup>a</sup>	1,29 <sup>a</sup>	42% <sup>a</sup>	37% <sup>a</sup>	55% <sup>a</sup>	48% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>
Mix	1,80 <sup>b</sup>	1,35 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>
Testemunha	9,67 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	34% <sup>b</sup>	30% <sup>b</sup>	46% <sup>b</sup>	41% <sup>a</sup>	5% <sup>a</sup>
CV (%)	58,59	2,96	5,64	5,03	6,23	6,61	19,18
Erro	5,50	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01

No grupo das Fabaceae (Tabela 9) os solos das espécies que atingiram valores mais elevados de k foram *Astragalus pelecinus* (41,64 cm/h), *T. glomeratum* (32,64 cm/h) e *Trifolium hirtum* (30,31 cm/h), valores estes 3 vezes maiores que a média deste parâmetro atingida pela Testemunha (9,67 cm/h).

**Tabela 9** - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP), Capacidade de Campo (CC) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Fabaceae						
	K (cm/h)	DAP	CMA	CC	P (%)	MicroP	MacroP
<i>Astragalus pelecinus</i>	41,64 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>	37% <sup>a</sup>	32% <sup>a</sup>	51% <sup>a</sup>	45% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Medicago orbicularis</i>	6,89 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	38% <sup>a</sup>	33% <sup>a</sup>	51% <sup>a</sup>	44% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>
<i>Scorpius vermiculatus</i>	2,04 <sup>b</sup>	1,35 <sup>a</sup>	38% <sup>a</sup>	33% <sup>a</sup>	52% <sup>a</sup>	45% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>T. cherleri</i>	8,68 <sup>b</sup>	1,38 <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	31% <sup>a</sup>	49% <sup>a</sup>	43% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>T. glomeratum</i>	32,64 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>	40% <sup>a</sup>	36% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	47% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>T. lappaceum</i>	8,87 <sup>b</sup>	1,34 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	34% <sup>a</sup>	52% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>T. subterraneum</i>	9,06 <sup>b</sup>	1,33 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	52% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>T. hirtum</i>	30,31 <sup>a</sup>	1,34 <sup>a</sup>	41% <sup>a</sup>	37% <sup>a</sup>	55% <sup>a</sup>	50% <sup>a</sup>	5% <sup>b</sup>
Mix	1,80 <sup>b</sup>	1,35 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>
Testemunha	9,67 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	34% <sup>a</sup>	30% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	41% <sup>a</sup>	5% <sup>b</sup>
CV (%)	55,51	3,21	6,85	7,77	6,65	7,63	9,52
Erro	4,86	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,003

As Fabaceae não apresentaram diferenças significativas para a densidade aparente quando comparadas com a Testemunha, porém a maior parte das espécies mostraram uma tendência de redução da densidade aparente. Tal como para as Poaceae, os valores da CMA e da CC não diferiram estatisticamente, porém todos os tratamentos tiveram uma tendência de aumento desses parâmetros comparativamente à Testemunha. Apesar dos valores médios de porosidade, macro e microporosidade das Fabaceae não apresentarem diferenças significativas, as médias de todos os tratamentos tendem a um aumento destes atributos do solo em relação à Testemunha.

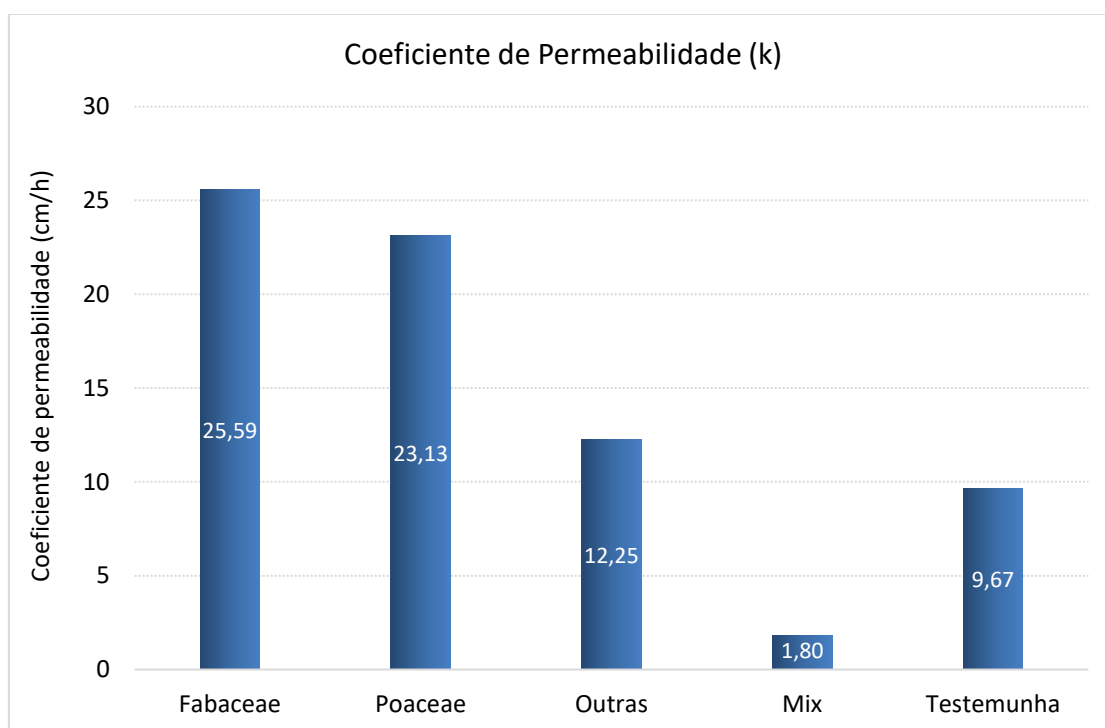
Para o grupo designado de Outras (Tabela 10), as maiores médias de k foram obtidas nos solos das espécies *Daucus carota* (35,51 cm/h) e *Centaurea cyannus* (22,06 cm/h), valores superiores ao dobro da média obtida na Testemunha (9,67 cm/h). Neste grupo, os tratamentos com as menores médias de DAP foram *Daucus carota* (1,27) e *Centaurea cyannus* (1,26), resultados estes que demonstram uma redução de mais de 7% quando comparados com a testemunha (1,36). Santos (2019) em um estudo feito em Trás-os-Montes também encontrou uma relação inversa entre k e DAP, ou seja, quanto maior a k menor será a DAP. A CMA e a CC mantiveram comportamento idêntico, com tendência de aumento em relação à Testemunha, e conseqüentemente aumento da capacidade de retenção de água no solo.

**Tabela 10** - Dados de Permeabilidade (k), Densidade Aparente (DAP), Porosidade (P), Macroporosidade (MacroP), Microporosidade (MicroP), Capacidade de Campo (C-C) e Capacidade Máxima para a Água (CMA) nos solos das espécies do grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Outras						
	K (cm/h)	DAP	CMA	CC	P (%)	MicroP	MacroP
<i>Anagallis arvensis</i>	6,13 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	34% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	47% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Centaurea cyannus</i>	22,06 <sup>a</sup>	1,26 <sup>b</sup>	43% <sup>a</sup>	38% <sup>a</sup>	55% <sup>a</sup>	48% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Daucus carota</i>	35,51 <sup>a</sup>	1,27 <sup>b</sup>	42% <sup>a</sup>	38% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	48% <sup>a</sup>	5% <sup>a</sup>
<i>Nigella damascena</i>	3,02 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	35% <sup>b</sup>	30% <sup>b</sup>	48% <sup>b</sup>	42% <sup>b</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Papaver hybridum</i>	4,18 <sup>b</sup>	1,34 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	52% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
<i>Silene clorata</i>	2,59 <sup>b</sup>	1,32 <sup>a</sup>	40% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	47% <sup>a</sup>	6% <sup>a</sup>
Mix	1,80 <sup>b</sup>	1,35 <sup>a</sup>	39% <sup>a</sup>	35% <sup>a</sup>	53% <sup>a</sup>	46% <sup>a</sup>	7% <sup>a</sup>
Testemunha	9,67 <sup>b</sup>	1,36 <sup>a</sup>	34% <sup>b</sup>	30% <sup>b</sup>	46% <sup>b</sup>	41% <sup>b</sup>	5% <sup>a</sup>
CV (%)	123,34	2,36	5,47	6,82	5,83	6,98	10,35
Erro	7,56	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00

Observam-se comportamentos similares da Porosidade total e da MacroP, onde a maioria dos tratamentos mostrou um aumento nesses parâmetros comparativamente à Testemunha, apresentando um aumento de 6 a 9% na Porosidade total e de 5 a 7% na Macroporosidade do solo. Para a Microporosidade as médias não diferiram significativamente.

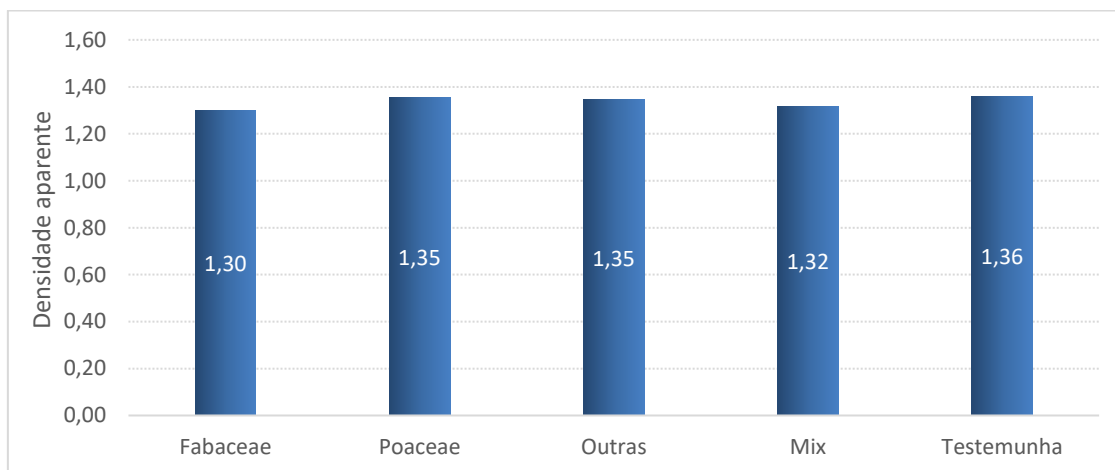
Na Figura 19 pode-se observar as médias do coeficiente de permeabilidade (k) dos solos das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. As médias de k de todos os grupos diferiram significativamente do Mix, não tendo sido possível encontrar uma explicação para o sucedido. Isto mostra a necessidade de fazer mais estudos de modo a clarificar os resultados.



**Figura 19** - Médias do coeficiente de permeabilidade (k) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

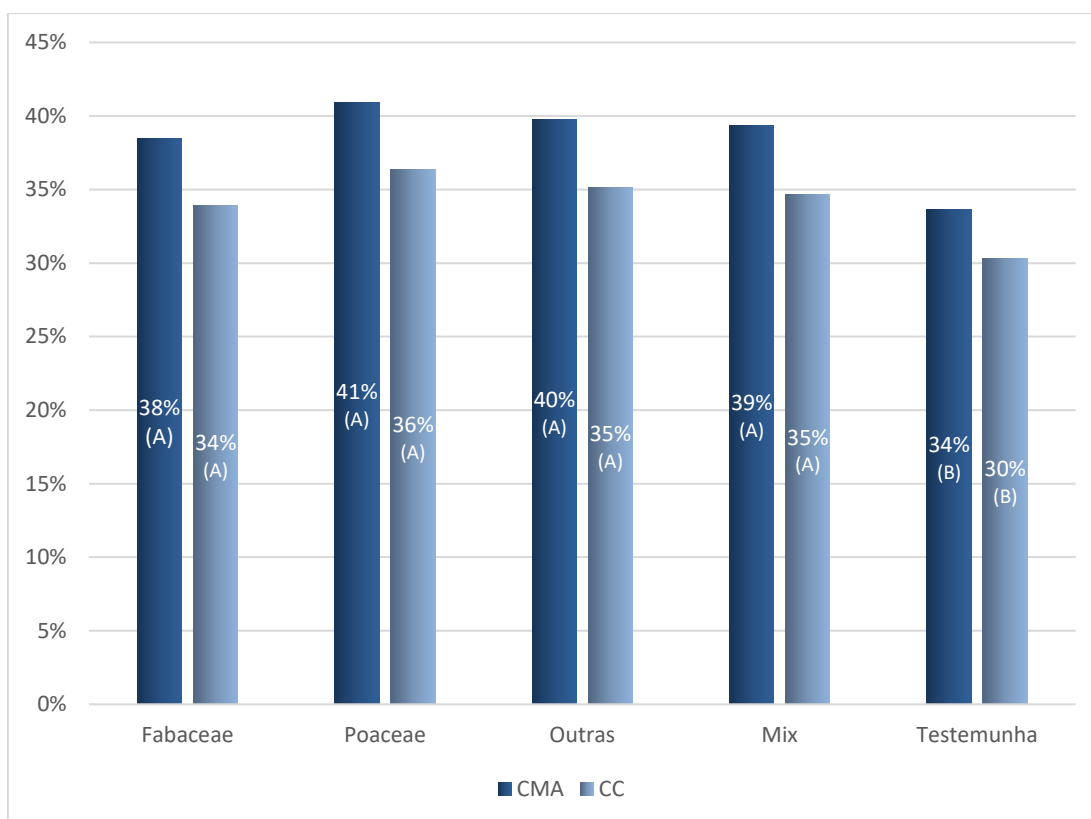
O grupo das Fabaceae, Poaceae e Outras, apresentaram uma tendência de aumento dos valores de k em comparação com a Testemunha. Esse comportamento pode ser justificado devido à conhecida propriedade que as coberturas herbáceas têm de melhorar a capacidade de infiltração do solo através da formação de bioporos ocasionado pelo crescimento das raízes através do solo (Frasca et al., 2021; Carvalho et al., 2022).

No que respeita à DAP, as médias dos solos das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre si (Figura 20). Porém, quando comparados os demais tratamentos com a Testemunha observa-se uma tendência de redução da DAP. O valor mais elevado foi registado para a Testemunha (1,36) e o mais baixo para o grupo das Fabaceae (1,30). Santos (2019) e Maria et al. (2017) em estudos realizados em Trás-os-Montes também encontraram valores de DAP entre 1,3 e 1,4. Este parâmetro, influencia diretamente outras propriedades do solo que afetam a disponibilidade de água e oxigênio para as plantas.



**Figura 20-** Médias da densidade aparente (DAP) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha.

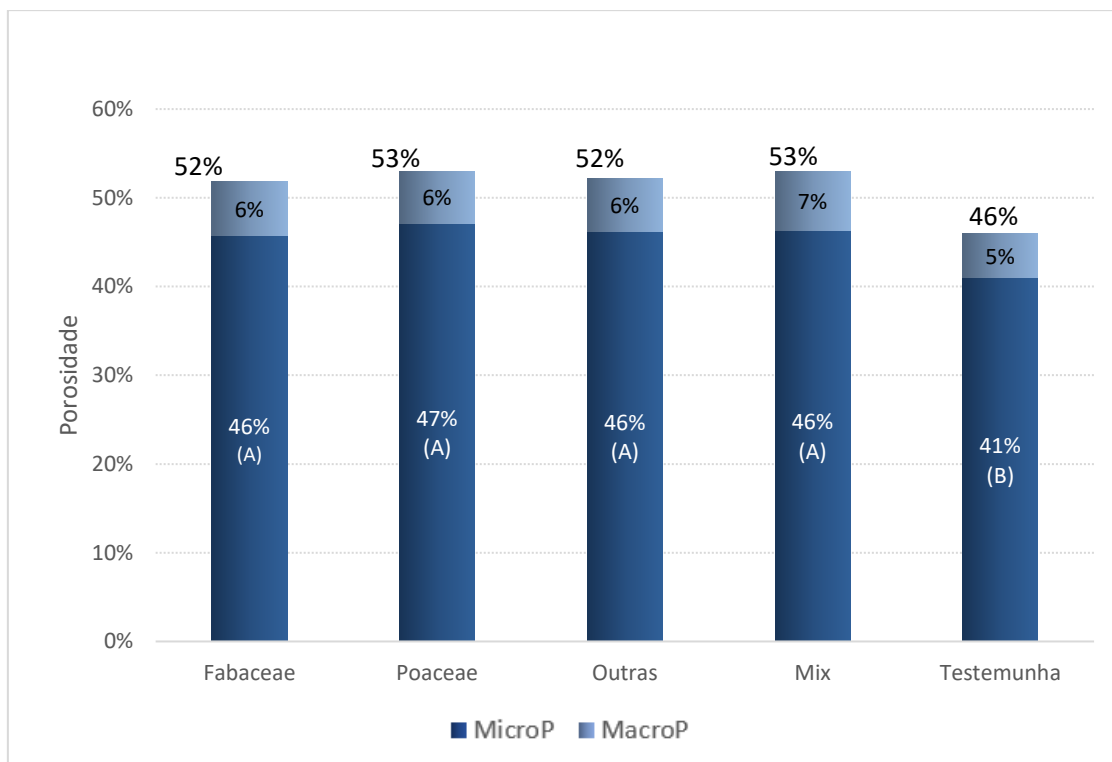
Em relação às médias da CMA e CC (Figura 21), estas registaram valores significativamente inferiores no solo da Testemunha (34% e 30% para a CMA e a CC, respetivamente), Isto coloca em evidência o efeito das coberturas herbáceas na melhoria de propriedades do solo que conduziram ao aumento da capacidade de retenção de água do solo. Tendência idêntica foi encontrada por Santos (2019). Carvalho et al., (2022) sugere que o aumento da capacidade de retenção de água no solo, ocasionado por coberturas verdes, é devido à presença e crescimento de raízes diversificadas que promovem alterações na estrutura do solo, formando espaço poroso capaz de aumentar a retenção de água.



**Figura 21-** Médias da Capacidade Máxima para a Água (CMA) e da Capacidade de Campo (CC) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Para a mesma variável, letras diferentes nas colunas diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

A porosidade total (P), macroporosidade (MacroP) e microporosidade (MicroP) (Figura 22) mostram a mesma tendência de evolução e com valores significativamente inferiores para a P e a MicroP na Testemunha. Os tratamentos com espécies de cobertura verde proporcionaram um aumento superior a 5% da P e da MacroP em relação à Testemunha.

Carvalho et al. (2020) explicam que a porosidade é determinada através da proporção entre o volume de poros de uma determinada amostra por seu volume total. Para o crescimento de plantas é ideal que solo apresente, pelo menos, 50% do volume ocupado por espaço poroso, padrão esse alcançado por todos os tratamentos, exceto a Testemunha, o que corrobora o facto de as coberturas herbáceas promoverem melhorias significativas na porosidade do solo.



**Figura 22** - Médias da Porosidade total (P), da Macroporosidade (MacroP) e da Microporosidade (MicroP) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas, diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.2 Estabilidade dos Agregados

A estabilidade dos agregados do solo é a resistência que essas unidades estruturais oferecem à ação destrutiva da água (chuva ou irrigação), evitando assim que as partículas finas se individualizam e obstruem os poros do solo, dificultando a circulação de água e ar (Pereira et al., 2020).

No grupo das Poaceae (Tabela 11) a Estabilidade dos Agregados da classe 0,25 mm foi superior para as espécies *Bachypodium distachyon* (69,62%) e *Hordeum gemiculatum* (65,15%), apresentando o Mix valor similar (70,56%). A Testemunha apresentou um valor de 59,09%, que acompanhou a espécie *Bromus scoparius* (55,46%).

Para a classe de agregados 0,4 mm, todos os tratamentos com espécies herbáceas de cobertura obtiveram maiores médias que a Testemunha. O tratamento com maior percentagem de EA foi o *Hordeum gemiculatum* (60%).

**Tabela 11** - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos das Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	Poaceae			
	0,25 mm		0,4 mm	
	EA (%)	PP(%)	EA (%)	PP(%)
<i>Brachypodium distachyon</i>	69,62 <sup>a</sup>	79,41 <sup>a</sup>	49,08 <sup>b</sup>	39,48 <sup>a</sup>
<i>Hordeum geniculatum</i>	65,14 <sup>a</sup>	72,60 <sup>a</sup>	60,00 <sup>a</sup>	32,65 <sup>b</sup>
<i>Bromus scoparius</i>	55,46 <sup>b</sup>	73,38 <sup>a</sup>	52,63 <sup>b</sup>	34,48 <sup>b</sup>
Mix	70,56 <sup>a</sup>	64,81 <sup>b</sup>	51,98 <sup>b</sup>	24,73 <sup>c</sup>
Testemunha	59,09 <sup>b</sup>	59,44 <sup>b</sup>	37,98 <sup>c</sup>	20,55 <sup>c</sup>
CV (%)	11,24	6,48	9,61	10,73
Erro	3,60	2,26	2,42	1,63

As médias de Estabilidade dos Agregados (EA) do solo da classe 0,25 mm do grupo das Fabaceae (Tabela 12), evidenciam que a maioria dos solos apresentam EA superior à Testemunha (59,09%), com exceção das espécies *Scorpius vermiculatus* (56,14%) e *Astragalus pelecinus* (41,71%).

Para a classe de agregados 0,4 mm, todos os tratamentos apresentam valores superiores ao da Testemunha (37,98%) e, a grande maioria dos solos mostram diferenças significativas.

**Tabela 12** - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos das Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	Fabaceae			
	0,25 mm		0,4 mm	
	EA (%)	PP(%)	EA (%)	PP(%)
<i>Astragalus pelecinus</i>	41,71 <sup>c</sup>	66,29 <sup>a</sup>	41,03 <sup>b</sup>	22,68 <sup>a</sup>
<i>Medicago orbicularis</i>	64,42 <sup>a</sup>	59,98 <sup>b</sup>	53,63 <sup>a</sup>	23,48 <sup>a</sup>
<i>Scorpius vermiculatus</i>	56,14 <sup>b</sup>	64,15 <sup>a</sup>	54,98 <sup>a</sup>	25,28 <sup>a</sup>
<i>T. cherleri</i>	67,98 <sup>a</sup>	61,57 <sup>b</sup>	61,98 <sup>a</sup>	20,28 <sup>b</sup>
<i>T. glomeratum</i>	69,03 <sup>a</sup>	62,38 <sup>b</sup>	60,18 <sup>a</sup>	19,93 <sup>b</sup>
<i>T. lappaceum</i>	75,65 <sup>a</sup>	56,10 <sup>b</sup>	56,60 <sup>a</sup>	18,00 <sup>b</sup>
<i>T. subterraneum</i>	80,19 <sup>a</sup>	69,39 <sup>a</sup>	61,50 <sup>a</sup>	25,90 <sup>a</sup>
<i>T. hirtum</i>	65,45 <sup>a</sup>	60,22 <sup>b</sup>	43,83 <sup>b</sup>	19,88 <sup>b</sup>
Mix	70,56 <sup>a</sup>	64,81 <sup>a</sup>	51,98 <sup>a</sup>	24,73 <sup>a</sup>
Testemunha	59,09 <sup>b</sup>	59,44 <sup>b</sup>	37,98 <sup>b</sup>	20,55 <sup>b</sup>
CV (%)	11,73	4,72	10,8	16,9
Erro	3,81	1,47	2,83	1,87

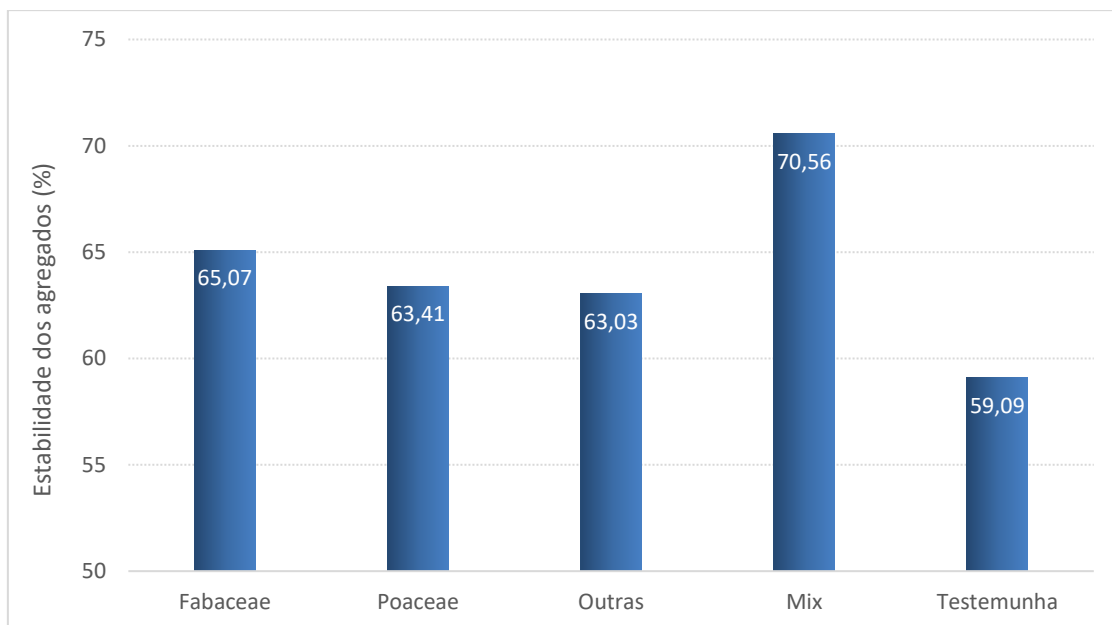
No grupo designado de Outras, a Estabilidade dos Agregados das classes 0,25 mm e 0,4 mm (Tabela 13), seguem um padrão muito similar ao já descrito para o grupo Fabaceae.

**Tabela 13** - Médias de Estabilidade dos Agregados (EA) e Partículas Primárias (PP), para as classes de agregados 0,25 mm e 0,4 mm, nos solos do grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamento	Outras			
	0,25 mm		0,4 mm	
	EA (%)	PP(%)	EA (%)	PP(%)
<i>Anagallis arvensis</i>	49,87 <sup>b</sup>	69,37 <sup>a</sup>	46,13 <sup>c</sup>	24,30 <sup>b</sup>
<i>Centaurea cyannus</i>	74,06 <sup>a</sup>	76,39 <sup>a</sup>	50,78 <sup>b</sup>	24,15 <sup>b</sup>
<i>Daucus carota</i>	68,17 <sup>a</sup>	72,61 <sup>a</sup>	48,73 <sup>b</sup>	29,45 <sup>a</sup>
<i>Nigella damascena</i>	65,19 <sup>a</sup>	72,21 <sup>a</sup>	61,43 <sup>a</sup>	30,75 <sup>a</sup>
<i>Papaver hybridum</i>	67,92 <sup>a</sup>	66,19 <sup>b</sup>	52,68 <sup>b</sup>	22,93 <sup>b</sup>
<i>Silene clorata</i>	53,00 <sup>b</sup>	65,77 <sup>b</sup>	53,10 <sup>b</sup>	29,70 <sup>a</sup>
Mix	70,56 <sup>a</sup>	64,81 <sup>b</sup>	51,98 <sup>b</sup>	24,73 <sup>b</sup>
Testemunha	59,09 <sup>b</sup>	59,44 <sup>b</sup>	37,98 <sup>d</sup>	20,55 <sup>b</sup>
CV (%)	9,52	6,69	9,61	15,91
Erro	3,02	2,29	2,42	2,05

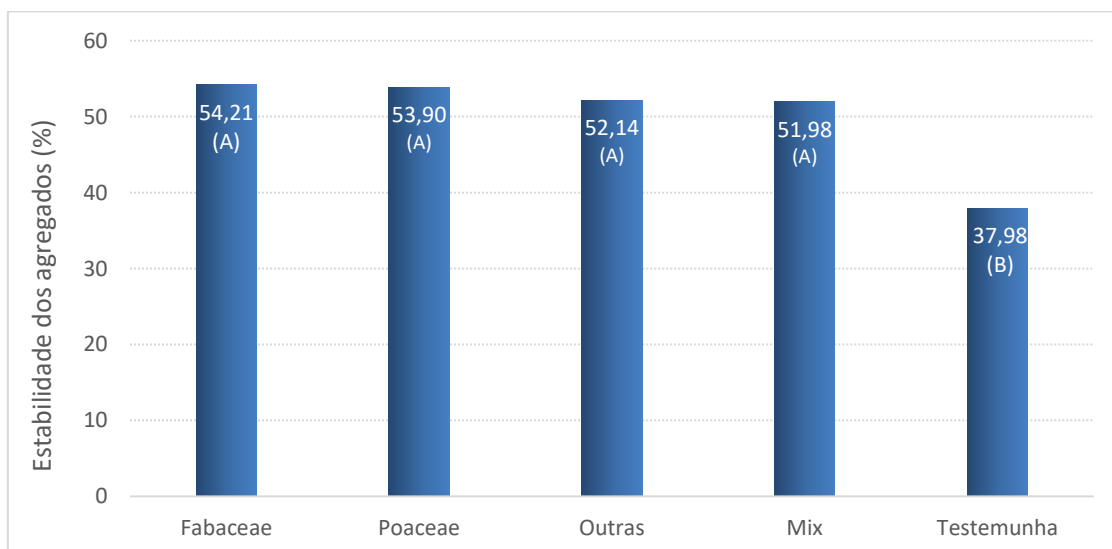
Os resultados obtidos para a EA das classes 0,25 mm e 0,4 mm, para todos os tratamentos, mostram que a EA foi sempre superior para a classe 0,25 mm (microagregados) comparativamente à classe 0,4 mm (macroagregados), o que corrobora o trabalho apresentado por Santos et al. (2022).

Na Figura 23 apresentam-se as médias da EA da classe 0,25 mm, obtidas nos solos das espécies dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Apesar de não ocorrerem diferenças significativas, os tratamentos com espécies herbáceas de cobertura mostram sempre valores de EA superiores ao da Testemunha (59,09%).



**Figura 23** - Médias da Estabilidade dos Agregados (EA) da classe 0,25 mm dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha.

Relativamente à EA da classe 0,4 mm (Figura 24), esta segue um padrão idêntico ao da classe 0,25, mas agora com acréscimos significativos, que chegam a ser superiores a 15%, quando se compara a Testemunha com os restantes tratamentos.



**Figura 24** - Médias da Estabilidade dos Agregados (EA) da classe 0,4 mm dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha. Letras diferentes nas colunas, diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

O aumento da EA com a inserção de coberturas verdes, pode ser explicado pelo facto do aporte promovido pelas raízes das plantas aumentarem os processos de cimentação de partículas do solo e, portanto, promover uma maior estabilidade dos agregados (Carvalho, 2022)

#### 4.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

As propriedades químicas do solo estão aqui representadas pelos teores de carbono orgânico (C) e azoto total (N), determinados nos solos dos diversos tratamentos. Uma das propriedades das coberturas verdes é a habilidade de funcionarem como recicladoras de nutrientes do solo e sequestrar Carbono a partir da atmosfera. No caso das leguminosas ainda acresce a fixação de N atmosférico no solo (Oliveira, 2014; Locatelli, 2018).

A Tabela 14 mostra que as espécies de Poaceae não diferiram significativamente para os parâmetros carbono orgânico e azoto total do solo. Isto pode encontrar explicação no curto período de tempo do experimento, que foi apenas de 45 dias, uma vez que as mudanças no carbono e azoto raramente ocorrem em períodos tão curtos (Terçariol, 2020). Aparentemente, o tempo de permanência das espécies no solo foi demasiado curto, para que pudessem ocorrer variações nestes parâmetros químicos.

**Tabela 14** - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo das espécies Poaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Poaceae	
	C g C kg <sup>-1</sup>	N g N kg <sup>-1</sup>
<i>Brachypodium distachyon</i>	11,26 <sup>a</sup>	1,16 <sup>a</sup>
<i>Bromus scoparius</i>	11,53 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>
<i>Hordeum geniculatum</i>	12,10 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>
Mix	12,13 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>
Testemunha	11,76 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>
CV (%)	7,15	6,03
Erro	0,49	0,04

A Tabela 15 contém as médias dos valores de carbono orgânico e azoto total do solo do grupo das espécies Fabaceae. É possível verificar que apesar de não haver diferenças significativas entre tratamentos, ocorreu uma tendência de aumento no carbono orgânico do solo para todas as espécies de Fabaceae e para o Mix em relação à Testemunha (11,76 g kg<sup>-1</sup>). O solo da espécie *Astragalus pelecinius* exibe o valor mais elevado (13,70 g kg<sup>-1</sup>), que corresponde a um aumento superior a 15% comparativamente à Testemunha.

**Tabela 15** - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo das espécies Fabaceae. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Fabaceae	
	C g C kg <sup>-1</sup>	N g N kg <sup>-1</sup>
<i>Astragalus pelecinius</i>	13,70 <sup>a</sup>	1,36 <sup>a</sup>
<i>Medicago orbicularis</i>	12,28 <sup>a</sup>	1,28 <sup>a</sup>
<i>Scorpius vermiculatus</i>	10,95 <sup>a</sup>	1,14 <sup>a</sup>
<i>T. cherleri</i>	11,67 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>
<i>T. glomeratum</i>	12,16 <sup>a</sup>	1,28 <sup>a</sup>
<i>T. lappaceum</i>	11,66 <sup>a</sup>	1,17 <sup>a</sup>
<i>T. subterraneum</i>	12,02 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>
<i>Trifolium hirtum</i>	12,09 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>
Mix	12,13 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>
Testemunha	11,76 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>
CV (%)	7,46	6,93
Erro	0,52	0,05

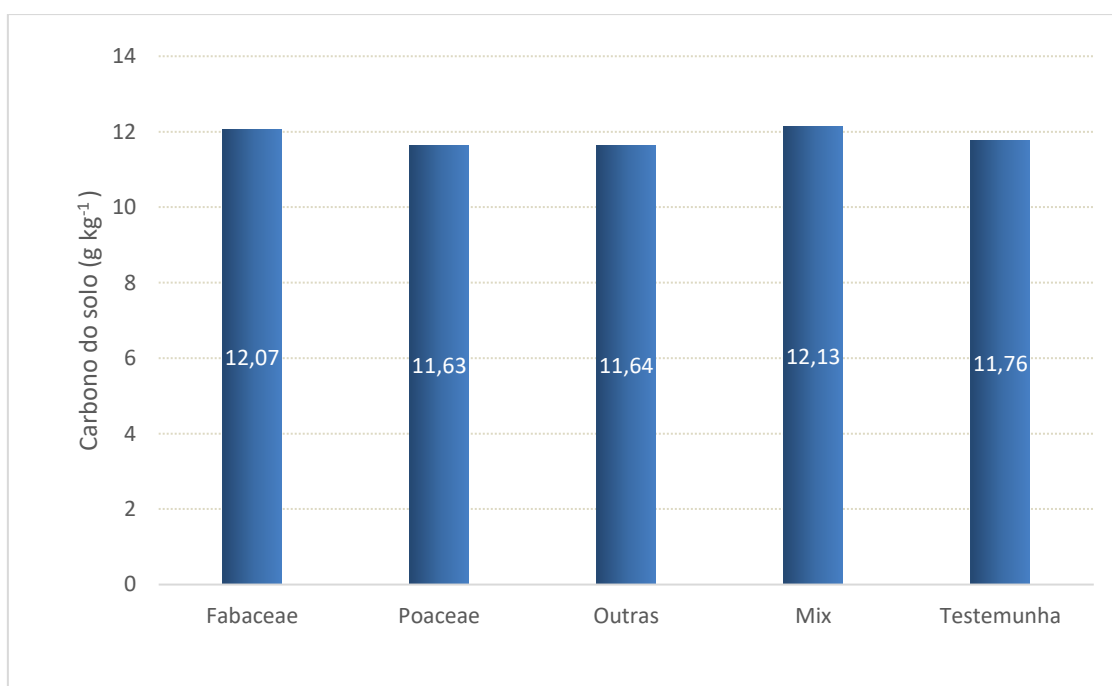
Para o grupo designado de Outras (Tabela 16), o padrão seguido foi idêntico ao do grupo das Poaceae.

**Tabela 16** - Carbono orgânico do solo (C) e Azoto total do solo (N) para o grupo designado de Outras. Para a mesma coluna, letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Tratamentos	Outras	
	C g C kg <sup>-1</sup>	N g N kg <sup>-1</sup>
<i>Anagallis arvensis</i>	12,04 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>
<i>Centaurea cyannus</i>	11,86 <sup>a</sup>	1,23 <sup>a</sup>
<i>Daucus carota</i>	11,67 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>
<i>Nigella damascena</i>	11,33 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>
<i>Papaver hybridum</i>	11,37 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup>
<i>Silene clorata</i>	11,54 <sup>a</sup>	1,17 <sup>a</sup>
Mix	12,13 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>
Testemunha	11,76 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>
CV (%)	7,66	7,27
Erro	0,52	0,05

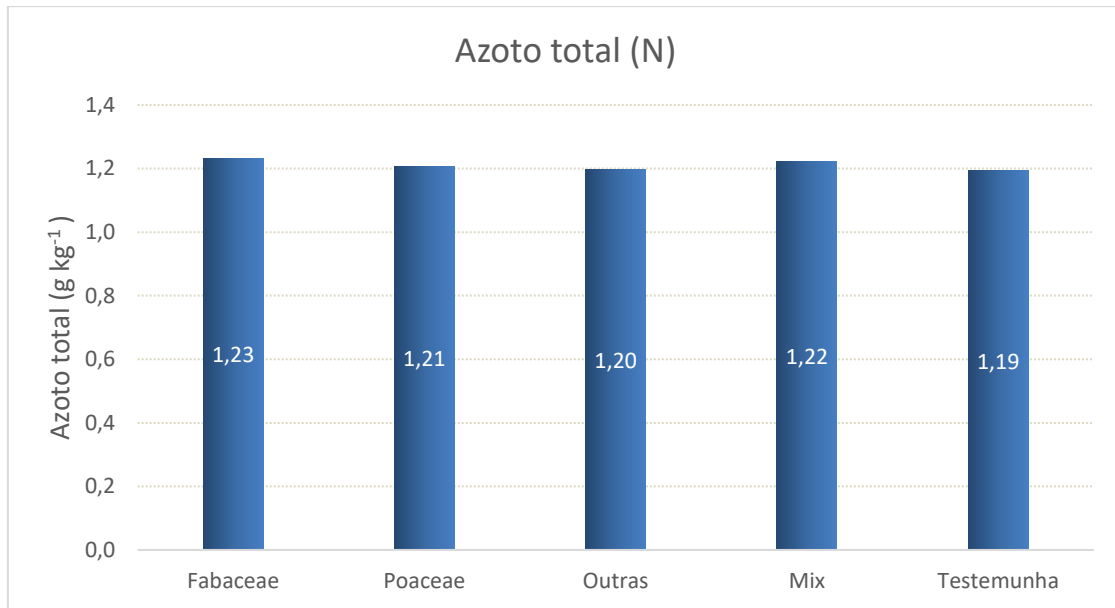
A Figura 24 coloca em evidência que apesar de não se verificarem diferenças significativas, num período de 45 dias houve uma tendência de aumento de teor de carbono nos solos das Fabaceae ( $12,07 \text{ g kg}^{-1}$ ) e do Mix ( $12,13 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação à Testemunha ( $11,76 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Kaspar & Singer (2015) relatam que a decomposição dos resíduos das culturas de cobertura também afetam o equilíbrio entre perdas e entradas de C no solo. No presente trabalho, a decomposição de resíduos provenientes das culturas foi praticamente nula, pelo que estas adições de C no solo estão essencialmente relacionadas com a rizodeposição das plantas.



**Figura 25** - Médias de carbono orgânico (C) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha.

Também o azoto total do solo (Figura 26) não registou diferenças significativas entre tratamentos. No entanto, o balanço é positivo para todos os tratamentos com culturas herbáceas de cobertura. Como seria de esperar, o grupo das espécies Fabaceae ( $1,23 \text{ g kg}^{-1}$ ) mostrou o maior valor, com um acréscimo de cerca de 3% relativamente à Testemunha ( $1,19 \text{ g kg}^{-1}$ ).



**Figura 26** - Médias de azoto total (N) dos solos dos grupos das Fabaceae, Poaceae, Outras, Mix e Testemunha.

## 5 CONCLUSÃO

As espécies apresentaram grande variação de altura das plantas, dentro do mesmo grupo, porém o tratamento que mais se destacou foi o Mix (50,77 cm). Este tratamento também alcançou as maiores médias de produção de biomassa da parte aérea (254,19 g/m<sup>2</sup>). Já para a biomassa radicular, o grupo Poaceae destacou-se com os maiores valores (112,56 g/m<sup>2</sup>). Os rácios Biomassa radicular / Biomassa aérea apresentaram grande variação de acordo com as espécies, sendo assim, aconselha-se o uso do rácio individual de cada espécie (quando possível) e não a média global das espécies.

Relativamente às propriedades físicas do solo, verificou-se de forma evidente uma tendência de aumento da permeabilidade, porosidade total, micro e macroporosidade, capacidade máxima para a água, capacidade de campo e redução da densidade aparente, na maioria dos tratamentos com instalação de espécies de cobertura. Também a estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,4 mm mostraram, para a quase totalidade das espécies, acréscimos significativos comparativamente à Testemunha.

O carbono e o azoto do solo não registaram diferenças significativas entre tratamentos, porém o grupo das Fabaceae e o Mix apresentaram aumentos importantes relativamente aos restantes grupos e à Testemunha. Dentro do grupo das Fabaceae, a espécie que mais se destacou foi a *Astragalus pelecinus*, com aumentos de carbono no solo superiores a 15% e de azoto de 14%. Sugere-se estudos mais aprofundados sobre o tema, com maior duração e avaliação da decomposição dos resíduos orgânicos provenientes das espécies de cobertura.

Mediante o exposto, é possível perceber de forma clara, uma tendência de melhoria da qualidade física e química do solo, por efeito da instalação de espécies herbáceas de cobertura, mesmo que a curto prazo. Assim, torna-se pertinente realizar estudos para verificar o potencial destas espécies a médio e longo prazo, bem como o seu comportamento em ambiente não controlado.

## REFERÊNCIAS

- Basile, B., Roupshael, Y., Colla, G., Soppelsa, S. & Andreotti, C. (2020). Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 267, 109330. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109330>
- Bohm, J. & Antunes, M. (2013). O grande livro da oliveira e do azeite. In: A evolução da espécie *Olea europaea*. p. 34 – 52
- Carvalho, C. A. de, Lúcia, R., Ferreira, F., Andrade, R. A., Silva De Brito, R., Cristina, T., Pereira, R., José, T. & Lima, L. (2020). Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. *Scientia Naturalis*, 2(1), 38–41. <http://revistas.ufac.br/revista/index.php/SciNat>
- Carvalio, M. L. (2022). Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo. Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo, 126-il.
- Cassol, C. Plantas De Cobertura E Adubação Nitrogenada Como Fonte De Nitrogênio À Cultura Do Milho Em Plantio Direto. 2019. 86 f. Dissertação Mestrado em Agronomia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, Paraná.
- Cieslik, L. F. Leguminosas de verão como cobertura do solo para produção de milho em sistema de plantio direto. 2014. 71 f. Dissertação Mestrado em Agronomia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014
- Conceição, P. C. et al. Plantas de cobertura de verão e uso na safrinha da cultura do milho no Sudoeste do Paraná .V 2, n1. Francisco Beltrão: Grafisul, 2016.
- DeVincentis, A. J., Solis, S. S., Bruno, E. M., Leavitt, A., Gomes, A., Rice, S., & Zaccaria, D. (2020). Using cost-benefit analysis to understand adoption of winter cover cropping in California's specialty crop systems. *Journal of Environmental Management*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110205>
- Fausto, M. F. R. (2013). Manual de boas práticas de coberturas verdes. Análise de casos de estudo Construção e Reabilitação [Dissertação de Mestrado]. Instituto Técnico de Lisboa.

- Figueiredo, T. (2013). Determinação laboratorial da condutividade hidráulica do solo e Realização de exercícios sobre exploração de aquíferos. Mestrado em Tecnologia Ambiental. Escola Superior Agrária de Bragança.
- Fonseca, F., de Figueiredo, T. & Bompastor Ramos, M. A. (2012). Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agroforestry Systems*, 86(3), 463–475. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9509-5>
- Fontaneli, R. S., Santos, H. P. dos, & Fontaneli, R. S. (2012). Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira (2a). Embrapa.
- Frasca, L. L. de M., Silva, M. A., Rezende, C. C., Faria, D. R., Lanna, A. C., Ferreira, E. P. de B., Lacerda, M. C. & Nascente, A. S. (2021). Utilização de plantas de cobertura como alternativa de manejo sustentável. *recima21 - Revista Científica Multidisciplinar*, 2(7), 1–14. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i7.571>
- Guimarães, D. V., Silva, M. L. N., Beniaich, A., Pio, R., Gonzaga, M. I. S., Avanzi, J. C., Bispo, D. F. A. & Curi, N. (2021). Dynamics and losses of soil organic matter and nutrients by water erosion in cover crop management systems in olive groves, in tropical regions. *Soil and Tillage Research*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104863>
- Gusmão Filho, J. D. A. (2008). Solos da formação geológica ao uso na engenharia- 2º ed. - Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- Kaspar, T. C., & Singer, J. W. (2015). The Use of Cover Crops to Manage Soil. In *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture* (pp. 321–337). Wiley. <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c21>
- Leal, A. J. F. (2010). Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo do milho em sistema de plantio direto em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 03.
- Lepsch, I. F. (2010). Formação e conservação dos solos. In São Paulo: Oficina de Texto (2.ed.). Oficina de Textos.
- Lima, V. C., Lima, M. R. & Melo, V. de F. (2007). O solo no meio ambiente (1a, Vol. 1). Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.

- Locatelli, J. L. (2018). Plantas de cobertura em sucessão ao milho e sua contribuição no carbono orgânico do solo. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, SC.
- Michelon, C. J. (2019). Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 18, n. 2, p. 230-239.
- Montanarella, L., Badraoui, M., Chude, V., Baptista Costa, I. D. S., Mamo, T., Yemefack, M. & McKenzie, N. (2015). Intergovernmental technical panel on soils intergovernmental technical panel on soils Status of the World's Soil Resources.
- Pereira, A. D. R. (2022). Efeito de condicionadores do solo à base de resíduos olivícolas no controle de processos de degradação do solo [Dissertação de Mestrado]. Instituto Politécnico de Bragança .
- Pereira, M. G., Neto, A. R., Anjos, L. H. C. dos, Ceddia, M. B. & Schultz, N. (2020). Práticas de morfologia e física do solo (1st ed.). Editora da UFRRJ.
- Pinto, L. & Gonçalves, R. C. J. M. (2022). Olival tradicional: situação e perspectivas.
- Rallo, L., Díez, C. M., Morales-Sillero, A., Miho, H., Priego-Capote, F., & Rallo, P. (2018). Quality of olives: A focus on agricultural preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 491–509. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.034>.
- Reginatto, M. (2018). Potencial Alelopático De Plantas De Adubação Verde Sobre A Cultura Do Milho E Plantas Espontâneas. Dissertação Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural (Linha de pesquisa: Agroecossistemas, sustentabilidade e agrobiodiversidade) Universidade Federal da Fronteira Sul. Laranjeiras do Sul.
- Resolução de Proteção dos Solos, Pub. L. No. 1386/2013/UE (2021).
- Rosado, M. G., Alcántara, L. P., Huertas, J. A. & García, B. L. (2021). Soil productivity degradation in a long-term eroded olive orchard under semiarid mediterranean conditions. *Agronomy*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/Agronomy11040812>.
- Salton, J. C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Boeni, M., Cesar Conceição, P., Carvalho Fabrício, A., Cláudio Motta Macedo, M. & Luiz Broch, D. (2008). Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul (1). *R. Bras. Ci. Solo*, 11–21.

- Santos, R. V. dos. (2019). Efeito de mobilizações com tração animal nas propriedades físicas do solo [Dissertação de Mestrado]. Instituto Politécnico de Bragança.
- Silvestre, L. M. (2022). Utilização de condicionadores à base de bagaço de azeitona para melhoria da estabilidade da agregação do solo na região de Trás-os-Montes [Dissertação de Mestrado]. Instituto Politécnico de Bragança.
- Terçariol, M. C. (2020). Formas lábeis de carbono e nitrogênio no solo em função de plantas de cobertura e adubação nitrogenada [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual Paulista.
- Veríssimo, F. P.; Ferraz, L. R. (2018). Efeito de plantas de cobertura no manejo do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) em sistema de plantio direto. Monografia. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.
- Vilela, Â. A. M. (2017). Influência do tipo de coberto vegetal nas propriedades físicas e químicas dos horizontes orgânicos e minerais do solo Orientado por [Dissertação de Mestrado]. Instituto Politécnico de Bragança.
- Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R. & Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 36, Issue 3). Springer-Verlag France. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0385-7>
- Ziech, A. R. D., Conceição, P. C., Luchese, A. V., Balin, N. M., Candiotto, G. & Garmus, T. G. (2015). Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50, 374-382.