

## **Avaliação da eficiência de condicionadores do solo à base do bagaço de azeitona na redução da erosão hídrica**

**Yumi Munetiko**

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

Orientado por

**Prof. Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)**

**Prof(a). Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)**

**Prof. Doutor Paulo Agenor Alves Bueno (UTFPR-CM)**

**Bragança  
2022**

# **Avaliação da eficiência de condicionadores do solo à base do bagaço de azeitona na redução da erosão hídrica**

Yumi Munetiko

Orientada por:

Prof. Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)

Prof(a). Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)

Prof. Doutor Paulo Agenor Alves Bueno (UTFPR-CM)

**Bragança  
2022**

## AGRADECIMENTOS

Primeiro que tudo, agradeço à UTFPR pela possibilidade de realizar a Dupla Diplomação, incentivando a pesquisa e a busca de conhecimento. E também o incentivo por parte do IPB por me aceitar como discente no mestrado de Tecnologia Ambiental.

Ao professor Tomás de Figueiredo e à professora Felícia Fonseca pelas orientações, ensinamentos transmitidos e pela paciência que proporcionaram durante o desenvolvimento da tese. Ao professor Paulo que desde o início da vida acadêmica esteve me orientando nos projetos que participei e agora no final dela, esteve como orientador da tese de mestrado.

Agradeço às pessoas do laboratório de solos do IPB que me auxiliaram na realização da pesquisa; em especial à Ana Royer, Brenda Bueno e Laura Silvestre, que auxiliaram na realização da simulação da chuva. E também a todos os professores e alunos do C101 e da CELF que me ajudaram ao me aconselharem sobre os meus caminhos, que mais do que os ensinamentos, me deram a amizade.

Um agradecimento especial aos amigos do Brasil, à Ana e à Ceci que por mais de 10 anos estão ao meu lado conversando e rindo, mesmo seguindo por caminhos diferentes. Aos amigos que conheci durante o período universitário, que estiveram comigo nos momentos alegres e tristes, especialmente Ana Mecena, Carol Nakao e Karine Mares. E por fim, às minhas amigas, que mesmo não nos conhecemos pessoalmente, a nossa confiança ultrapassou essa barreira e fez com que a nossa amizade pudesse perdurar por tantos e tantos anos. Obrigada Flor, Maga, Gabi, Pree e Tata, sem vocês ao meu lado não conseguiria passar pelo sufoco psicológico nos meses que estive em Portugal.

Também sou grata aos novos laços de amizade criados aqui em Bragança, em especial à Rene, que esteve comigo nos momentos de ansiedade e nervosismo, levando-me à conhecer novos locais e expandir minha bolha cultural.

E por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família por ser meu principal suporte, o lar para onde sempre poderei retornar. Aos meus pais por permitirem e incentivarem a perseguição dos meus sonhos, investindo para que eu chegasse onde

cheguei. Aos meus avós, carinhosamente chamando de *batian* e *ditian* que me deram carinho e amor, cuidando de mim onde quer que estivessem.

Agradeço à todos que foram responsável, de maneira direta e indireta, na construção do meu caminho para que eu chegasse até aqui.

*“O parasita agarra tudo e não dá nada, o hospedeiro dá tudo e não agarra nada. O direito de dominação e de propriedade reduz-se ao parasitismo. Pelo contrário, o direito de simbiose define-se pela reciprocidade: aquilo que a natureza dá ao homem é o que este lhe deve dar a ela, tornada sujeito de direito”*

O Contrato Natural – Serres Michel (1990)

## RESUMO

A erosão do solo é uma das grandes adversidades globais relacionada ao meio ambiente, devido ao deslocamento de partículas que desencadeiam outros processos, como formação de ravinas ou assoreamento de linhas de água. Por conta disso, é necessário realizar pesquisas para remediar os problemas associados à erosão do solo. Nesse sentido, a partir do aproveitamento dos bagaços da azeitona, resultantes da extração do azeite, foi produzido um condicionador do solo com vista a reduzir os efeitos causados pela erosão hídrica. Este trabalho tem como objetivo avaliar, utilizando um simulador de chuva do tipo dispersor, a eficiência e persistência de condicionadores do solo à base de resíduos da extração do azeite na redução da erosão hídrica em solos da região de Trás-os-Montes, com mais de 6 meses após a aplicação, comparando-os com um condicionador sintético.

Foram realizados ensaios de simulação de chuva em amostras de solo separados por tabuleiros com 310,5 cm<sup>2</sup>, preparados com diferentes doses dos condicionadores à base do bagaço de azeitona. Os parâmetros a medir em cada simulação foram: precipitação e intensidade, escoamento, sedimentos em suspensão, sedimentos de frente e salpico. Com os dados foi possível calcular indicadores de erosão: perda de solo, coeficiente de escoamento, concentração de sedimentos global, concentração de sedimentos em suspensão, erodibilidade e destacabilidade. Os resultados mostraram que, após o intervalo, os tratamentos BSES 1 e BES 2 possuíram as melhores performances à médio prazo, enquanto o condicionador sintético perdeu a eficácia. Para futuros estudos, pode-se realizar análises com o solo para determinar a estabilidade de agregados e análises de microbiota.

Palavra-chave: Condicionadores Orgânicos, Simulação de Chuva, Solos, Bagaço de Azeitona, Erosão Hídrica

## ABSTRACT

Soil erosion is one of the great global adversities related to the environment, due to the displacement of particles that trigger other processes, such as formation of ravines or silting of water lines. Because of this, it is necessary to carry out research to remedy the problems associated with soil erosion. In this sense, from the use of olive pomace, resulting from the extraction of oil, a soil conditioner was produced in order to reduce the effects caused by water erosion. This work aims to evaluate, using a disperser-type rainfall simulator, the efficiency and persistence of soil conditioners based on residues from oil extraction in reducing water erosion in soils in the region of Trás-os-Montes, with more than 6 months after application, comparing them with a synthetic conditioner.

Rainfall simulation tests were carried out on soil samples separated by trays measuring 310.5 cm<sup>2</sup>, prepared with different doses of conditioners based on olive pomace. The parameters to be measured in each simulation were: Precipitation and Intensity, Flow, Suspended Sediments, Front Sediments and Splash. With the data it was possible to calculate erosion indicators: Soil loss, Runoff coefficient, Global sediment concentration, Suspended sediment concentration, Erodibility and Detachability. The results showed that, after the interval, the treatments BSES 1 and BES 2 had the best performances in the medium term, while the synthetic conditioner lost its effectiveness. For future studies, soil analyzes can be performed to determine aggregate stability and microbiota analyses.

Keywords: Organic Conditioners, Rainfall Simulation, Soils, Olive Pomace, Water Erosion

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1	Solos.....	3
2.2	Degradação do Solo .....	3
2.3	Perda de Matéria Orgânica no Solo.....	4
2.4	Erosão .....	4
2.5	Erosão hídrica.....	6
2.6	Proteção do solo.....	6
2.7	Condicionadores do Solo.....	8
2.7.1	Condicionadores Sintéticos.....	8
2.7.2	Condicionadores Orgânicos .....	9
2.8	Avaliação da erosão .....	10
2.8.1	Modelos de erosão.....	10
2.8.2	Simulador de Chuva.....	11
2.9	Olivicultura em Portugal.....	12
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	Área de Estudo .....	14
3.2	Tratamento do Solo .....	15
3.3	Simulação de Chuva.....	19
3.4	Análise dos dados .....	23
3.5	Tratamento de Dados .....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1	Teste de Análise de Variância e comparação de médias .....	25
4.1.1	Intensidade da Precipitação .....	25
4.1.2	Escoamento .....	25
4.1.3	Perda de Solo .....	25
4.1.4	Salpico .....	26
4.1.5	Coeficiente de Escoamento .....	26
4.1.6	Concentração de Sedimentos Global.....	27
4.1.7	Concentração de Sedimentos em Suspensão .....	27
4.1.8	Erodibilidade .....	28

4.1.9	Destacabilidade.....	28
4.2	Respostas Erosivas.....	28
4.2.1	Precipitação e Intensidade da Precipitação .....	28
4.2.2	Escoamento .....	30
4.2.3	Sedimentos em Suspensão, Sedimento de Frente e Perda de Solo .....	33
4.2.4	Salpico .....	35
4.2.5	Coeficiente de Escoamento .....	37
4.2.6	Concentração de Sedimentos Global.....	39
4.2.7	Concentração de Sedimentos em Suspensão .....	41
4.2.8	Erodibilidade .....	43
4.2.9	Destacabilidade.....	45
4.2.10	Erodibilidade x Destacabilidade .....	47
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
	REFERÊNCIAS .....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Poliacrilamida ramificada de cadeia longa .....	9
Figura 2- Evolução da área de olival em Portugal (em ha) .....	12
Figura 3 - Material de crivagem do solo.....	16
Figura 4 - Simulador de chuva e suporte para tabuleiros, durante o ensaio da intensidade da chuvada .....	20
Figura 5 - Simulador com coletor de precipitação, durante ensaio da intensidade da chuvada .....	20
Figura 6 - Recipientes, placa, rampa e protetor da rampa.....	22
Figura 7 - Potes com as coletas de Sedimento de Frente, Salpico e Escoamento Superficial, após simulação .....	23
Figura 8 - Média da Intensidade da Precipitação e Quantidade de Precipitação.....	29
Figura 9 - Média de Escoamento .....	31
Figura 10 - Comparação das médias de Escoamento entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	32
Figura 11 - Média da Perda de Solo .....	33
Figura 12 - Comparação das médias de Perda de Solo entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	34
Figura 13 - Média de Salpico .....	35
Figura 14 - Comparação das médias de Salpico entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	36
Figura 15 - Média de Coeficiente de Escoamento .....	37
Figura 16 - Comparação das médias de Coeficiente de Escoamento entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	38
Figura 17 - Média da Concentração de Sedimentos Global .....	39
Figura 18 - Comparação das médias de Concentração de Sedimentos Global entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	40
Figura 19 - Média da Concentração de Sedimentos em Suspensão.....	41
Figura 20 - Comparação das médias de Concentração de Sedimentos em Suspensão entre as Simulação 1 (efetuada há 6 mese) e Simulação 2 (presente) .....	42

Figura 21 - Média de Erodibilidade .....	43
Figura 22 - Comparação das médias de Erodibilidade entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	45
Figura 23 - Média de Destacabilidade .....	46
Figura 24 - Comparação das médias de Destacabilidade entre a Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente) .....	47
Figura 25 - Relação de performance entre Erodibilidade e Destacabilidade .....	48
Figura 26 - Relação entre destacabilidade e erodibilidade do solo entre os tratamentos quando comparados com o solo exposto .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das Zonas Climáticas do NE de Portugal .....	15
Tabela 2 - Tipos de tratamento e concentração do corretivo.....	17
Tabela 3 - Componentes de cada pilha de compostagem.....	18
Tabela 4 - Características físico-químicas dos compostos finais (média, n=3) .....	18
Tabela 5 - Equações utilizadas no cálculo da simulação da chuva .....	23
Tabela 6 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Escoamento (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos, $p < 0,05$ ).....	25
Tabela 7 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Sapico (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos, $p < 0,05$ ).....	26
Tabela 8 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Coeficiente de Escoamento (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos, $p < 0,05$ ) ..	27
Tabela 9 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Concentração Global (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos, $p < 0,05$ ).....	27
Tabela 10 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Destacabilidade (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos, $p < 0,05$ ).....	28
Tabela 11 - Média, desvio-padrão e CV para a Intensidade da Precipitação .....	29
Tabela 12 - Média, desvio-padrão e CV para a Precipitação.....	30
Tabela 13 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Escoamento .....	31
Tabela 14 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Perda de Solo.....	34
Tabela 15 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Salpico .....	36
Tabela 16 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Coeficiente de Escoamento .....	38
Tabela 17 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Concentração de Sedimentos Global .....	40
Tabela 18 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Concentração de Sedimentos em Suspensão .....	42
Tabela 19 - Média, desvio-padrão, CV e performance paraa Erodibilidade.....	44
Tabela 20 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Destacabilidade.....	46

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos essenciais para a manutenção da vida na Terra. Contudo com o uso descontrolado e sem medidas de conservação, acaba sofrendo processos de degradação, com perda das suas funções produtivas e ambientais. Alguns processos que podem ocorrer são a erosão, assoreamento, perda da capacidade produtiva, entre outros (FAO & ITPS, 2015; Guerra et al., 2014).

A erosão do solo é um processo natural e complexo; porém, o uso do solo na agricultura sem manejo adequado pode acelerar o processo e assim aumentar a perda de solo na superfície. Uma das soluções para reduzir este impacto é a incorporação de resíduos orgânicos no solo (Guerra et al., 2014), como os compostos.

O subproduto da produção de azeite, conhecido como bagaço de azeitona, destaca-se pela sua alta disponibilidade, já que para a produção de 1 ton de azeite são produzidas 4 ton de resíduo. Note-se que Portugal é um dos maiores produtores de azeite da Europa (Giner-Santonja et al., 2019).

A Ciência do Solo foi sendo estabelecida ao longo do séc. XIX para estudar a origem, formação e dinâmica dos processos do solo, mais tarde dedicando-se também a estudar as consequências do seu uso descontrolado e as soluções de minimização dos correspondentes impactos (Hartemink, 2016). Conhecendo as propriedades do solo é possível utilizar técnicas de reabilitação para a recuperação de suas funções originais (FAO & ITPS, 2015). Uma destas técnicas consiste na aplicação de matéria orgânica ao solo como o um condicionador, diminuindo os efeitos que as chuvadas erosivas podem ocasionar no solo (Xiong et al., 2018a).

Como os olivais da região de Trás-os-Montes são, em sua maioria, encontrados sobre solos muito erodíveis, delgados, pedregosos e pobres em matéria orgânica, os Leptosolos (Figueiredo et al., 2002), este trabalho tem como objetivo avaliar, utilizando um simulador de chuva, a eficiência e persistência de condicionadores do solo à base do bagaço de azeitona na redução da erosão hídrica em solos da região de Trás-os-Montes.

A estrutura deste trabalho compreende uma introdução, onde se encontra a explicação do problema a ser abordado, a justificativa do trabalho e o objetivo a ser

alcançado com esta pesquisa. Em seguida há o desenvolvimento da fundamentação teórica, buscando descrever sucintamente as características e distribuição dos solos no Nordeste de Portugal, os processos erosivos e também apresentar os sistemas da produção de azeite em Portugal que estão na origem da acumulação de bagaço de azeitona.

Seguidamente encontra-se a parte de Materiais e Métodos, apresentando o solo a ser utilizado no experimento, detalhando-se também a realização das simulações de chuva e os parâmetros a serem coletados e analisados. Posteriormente são detalhados os resultados do experimento, consistindo em uma primeira parte a análise estatística e depois a descrição dos resultados de acordo com os parâmetros detalhados na parte de metodologia. E por fim, há a síntese dos resultados finalizando com a conclusão e ideias finais, como sugestão para estudos futuros e possíveis melhorias.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Solos**

Antigamente o solo era definido como rochas sedimentadas misturadas com matéria orgânica. Contudo, esta concepção mudou e hoje é descrito como a parte superior da crosta terrestre, constituída pela componente mineral particulada e componente orgânica / biológica (matéria orgânica e organismos do solo), além da água e do ar (Simonson, 1959).

A formação do solo ocorre com interações do material de origem (rocha de origem) com a fragmentação deste por fatores abióticos e bióticos. Sendo do primeiro grupo ações do clima (como chuva e vento), relevo (declividade) e o tempo (EMBRAPA, 2019; FAO & ITPS, 2015). E no segundo grupo encontram-se ações de fauna e flora, além de microrganismos que auxiliam na decomposição da matéria orgânica, fechando o ciclo do carbono (FAO & ITPS, 2015; Lima & Lima, 2019).

Estes processos de evolução dos constituintes minerais e orgânico conduzem à diferenciação dos solos quanto às suas características, e conseqüente classificação em diferentes categorias e subcategorias (Baldwin, Kellogg & Thorp, 1938, Pereira et al., 2019). Porém acabam sendo degradados por ações antrópicas quando usados agressivamente (Lal et al., 2020).

### **2.2 Degradação do Solo**

A expressão “Degradação do Solo” é comumente utilizada para descrever o fenômeno da deterioração de curto a médio prazo da parte física, química e/ou biológica do solo após usos de forma inadequada. Inicialmente começa com fatores naturais, como movimentações eólicas e hídricas, porém podem ser acelerados e tornarem-se mais agressivos por ações antrópicas (Lal et al., 2020; Saljnikov et al., 2022).

A Comissão Europeia identificou as oito principais causas para a degradação do solo, sendo: erosão, diminuição da matéria orgânica, contaminação do solo, impermeabilização, compactação, diminuição da biodiversidade, salinização e, por fim, inundações e movimentação do solo (COM, 2006). As degradações mais estudadas são a perda de material orgânico e a erosão.

### **2.3 Perda de Matéria Orgânica no Solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída por resíduos animais e vegetais em diferentes estágios de decomposição, além da meso e microfauna presente no ambiente (Santos et al, 2013). O seu estudo tornou-se um fator importante em pesquisas quando se trata da qualidade do solo, principalmente pelo fator de fertilidade para as plantas e também quando há o estudo da relação Carbono-Nitrogênio, indicador importante quando se trata da sua decomposição e incorporação no solo (Sikora & Stott, 2015).

A MOS promove alguns benefícios para a produção agrícola, para o homem e para a natureza, como: elevação de troca de catiões no solo, melhor capacidade de correção do pH do solo, reduz a toxidade, entre outros (Oliveira et al., 2004).

Mesmo que o carbono seja encontrado em forma orgânica (COS) e inorgânica, a maior parte está presente em sua primeira forma, que representa aproximadamente 58% da matéria orgânica nos solos (Nelson & Sommers, 2015; Sikora & Stott, 2015). Mesmo sendo considerado uma dinâmica complexa a relação do carbono com o solo, é indiscutível a associação que há do carbono orgânica com a estabilidade de agregados no solo (Gregorich et al., 1998; Lal, 2009; Sarker et al., 2018; Zhang et al., 2019).

Contudo, o manejo do COS no solo é complexo, já que a sua perda para o processo de mineralização é incerta, assim como também há diminuição do carbono armazenado após os cultivos, sendo necessário a ação antrópica para controlar a deposição de carbono no solo (Gregorich et al., 1998; Lal et al., 2004a). Acrescentando, também há a perda do CO superficial, devido a presença do MOS estar, em sua maioria, no primeiro horizonte do solo, que é facilmente transportado pela erosão hídrica, eólica e perturbações antrópicas (Chappell et al., 2019; Kirkels et al., 2014; Lal et al., 2004b).

### **2.4 Erosão**

A erosão do solo é definida como o desprendimento, arraste e depósito dos sedimentos, podendo ser causado pelo ambiente ou não. Os efeitos que a erosão causa ao solo é um dos principais problemas globais relacionados ao meio ambiente, não apenas porque causa prejuízos ao terreno, mas também ao homem e à economia. A erosão do solo pode ser causada por duas ações: química, causada principalmente pelo intemperismo

(meteorização, em português de Portugal), e a mecânica, causada por fatores externos, como vento, água e ações antrópicas (Guerra, 1999; Boardman, 2006). Mesmo que alguns autores estudam o intemperismo como uma erosão química, por ser a causa da remoção do solo, outros consideram como um processo diferente no ciclo geológico, separando-o da erosão (Couto Junior et al., 2016; Sampaio, 2011).

A erosão mecânica do solo é dividida em dois principais processos, o primeiro é o desprendimento dos sedimentos e o segundo é o carregamento do solo por agentes erosivos (Morgan, 2005). É uma das maiores adversidades que ocorrem no século XXI, quando o tema se refere ao solo, sendo que causam diversos problemas para a agricultura e para o meio ambiente, devido a retirada de nutrientes do solo (Bednář & Šarapatka, 2018; Marques & Mora, 1998).

Marques & Mora (1998) também afirmam que o local onde há a retirada de partículas não é o único local a sofrer com essa questão. O ponto de depósito também é afetado como é o caso quando ocorre o assoreamento de um curso de água. Os fatores que influenciam a erosão são: posição topográfica quanto à declividade do terreno, erodibilidade do solo e a cobertura vegetal protegendo de fatores cinéticos, como chuva e vento (Morgan, 2005). Por ser constituído por materiais de variada natureza, como matéria orgânica, areia, silte e argila, a percentagem de cada constituinte no solo influencia a sua capacidade de resistir à erosão, ou, inversamente a sua suscetibilidade à erosão – a erodibilidade do solo. Por exemplo, alguns dos solos mais erodíveis contêm mais de 40% de silte (limo, em português de Portugal) (Richter & Negendank, 1977).

Já os solos com baixo nível de erodibilidade são aqueles que possuem alto teor de minerais básicos ou os minerais argilosos (Morgan, 2005). Wischmeier & Mannering (1969) evidenciaram que o teor de matéria orgânica tem influência para diminuir a erodibilidade do solo com silte, porque os solos com altos teores de argila atuam na resistência dos solos. Porém, quando há o déficit de material orgânico em solo utilizados na agricultura, o silte pode acabar tornando o solo mais propício a sofrer com os diversos tipos de erosão, especialmente com a erosão hídrica.

## 2.5 Erosão hídrica

Um dos processos erosivos mais danosos para o solo é a erosão hídrica, diretamente relacionada com a ação da chuva. Isso porque a intensidade, a duração e frequência das precipitações são fatores fundamentais para explicar as taxas de erosão do solo (Santos et al., 2010). Contudo, mesmo conhecendo os fatores indicados, também é necessário saber como ocorre o deslocamento dos sedimentos. Considerando os dois aspectos, na erosão hídrica podem distinguir-se 4 tipos (Alçada, 2020; Morgan, 2005):

- Erosão por Splash ou Salpico
- Erosão Laminar
- Erosão em Sulcos
- Erosão em Ravina

A erosão por Splash, também chamada de Erosão por Salpico, corresponde à separação das partículas do solo causada pelo impacto da gota da chuva no solo. O impacto segrega as partículas, podendo lançar os sedimentos por vários centímetros a partir do local de origem. Pode ter maiores ou menores efeitos negativos no solo dependendo da duração e intensidade da chuva e da ausência ou presença da cobertura vegetal. Para além disso, é um facilitador do transporte de partículas por erosão laminar (Fachin et al., 2019, Morgan, 2005).

Este último tipo de erosão ocorre quando o escoamento da água provoca a perda da camada superficial do solo, arrastando matéria orgânica e nutrientes. Isso faz com que diminua a espessura e a fertilidade do solo e afete a produtividade agrícola (Silva & Ferreira, 2022). Já as erosões em Sulco e em Ravina ocorrem quando o escoamento da água cava fissuras na superfície do solo. É chamado de Sulco quando o canal ainda é pequeno e chamado de ravina quando a erosão está em estágio avançado (Alçada, 2020).

## 2.6 Proteção do solo

Em condições naturais, há um equilíbrio na taxa de erosão e de deposição no solo. Contudo com o uso sem o manejo correto, a taxa de erosão sofre um aumento, causando degradação do solo (Nearing et al., 2017). Para prevenir e diminuir o efeito da erosão, algumas técnicas são possíveis de ser adotadas, sendo uma delas: a implementação de

uma camada protetora sobre o solo. Quando há vegetação, as folhas e o caule reduzem a energia cinética da chuva que atinge o solo. Para além disso, as raízes servem como um auxiliar na resistência do solo à desagregação e ao destacamento pelo escoamento (Morgan, 2005).

Assim, algumas medidas são consideradas eficazes para a conservação do solo (Guerra et al., 2014):

- Aumentar a cobertura e a densidade da vegetação da área;
- Manter ou reflorestar áreas de mata ciliares e áreas em que os solos são mais propensos à erosão;
- Criar uma barreira de árvores para quebrar o vento e assim diminuir o efeito da erosão eólica.

Porém, quando se ocupa o solo com a produção, não é possível implementar os métodos citados. Para isso, Guerra et al. (2014) mencionou métodos voltados à agricultura, como:

- Práticas de manejo com o preparo mínimo;
- Retenção de resíduos da colheita, incorporando assim a matéria orgânica no solo;
- Uso de adubo verde, ou seja, a incorporação de biomassa vegetal ao solo.

A matéria orgânica utilizada pode estar em seu estágio natural, como o uso de partes do próprio cultivo ou de serrapilheira, ou em estágio de decomposição, como o uso de estrume animal ou material vegetativo fermentado. Essas ferramentas são aplicadas para diminuir os efeitos de salpico e também para a agregação do solo com reciclagem de nutrientes, como nitrogênio e carbono orgânico (Guerra et al., 2014, Morgan, 2005). Tendo em vista a economia circular, a incorporação no solo das matérias orgânicas que são desperdiçadas nas fileiras produtivas agrícolas pode contribuir para o uso sustentável do solo, se acompanhada do manejo correto seguindo premissas conservacionistas (Anache et al., 2018).

## 2.7 Condicionadores do Solo

Durante o período produtivo das culturas é necessário recorrer à aplicação de fertilizantes, como corretivo e/ou adubo. O primeiro é usado para corrigir as propriedades químicas, como o pH e concentração de fosfatos de Fe e Al (Vargas et al., 2019; Silva et al., 2019). Dentro dos corretivos destacam-se o papel particular dos condicionadores do solo, possuindo como função de servir como um material para modificar propriedades físicas, podendo ser combinado com um nutriente para a fertilização do solo (Bouranis et al., 1995; Caron et al., 2015).

Com o tempo iniciou-se o uso de condicionadores de origem mineral e após a 2ª Guerra Mundial, foram criados os condicionadores sintéticos. Sendo assim, atualmente são utilizados três tipos de condicionadores (Sojka et al., 2004):

- Condicionadores Orgânicos: podem ter resultados a curto ou a médio/longo prazo. O resultado imediato é visto ao analisar a retenção de água e infiltração no solo, já os efeitos a longo do tempo dependem de processos químicos e biológicos, como a estabilização e formação de agregados.
- Condicionadores Minerais: estes são comumente usados para afetar os processos químicos e físicos do solo, podendo afetar a agregação de argilas e melhoria do pH.
- Condicionadores Sintéticos: tem a capacidade de melhorar as propriedades físicas do solo, principalmente melhorando a agregação do solo, infiltração, aeração e drenagem, além de também ser usado para melhorar a sua resistência à erosão.

### 2.7.1 Condicionadores Sintéticos

No final da década de 40, as pesquisas sobre os polímeros foram iniciadas para o seu uso agrícola, ocorrendo a produção de polímeros solúveis em água, sendo os mais usados a Poliacrilonitrila hidrolisada (HPAN) e a Poliácridamida (PAM).

A PAM era, até então, produzida e utilizada apenas com intuitos agrícolas, porém na

década de 90, notou-se o seu uso para diminuir os efeitos erosivos nos solos, tornando-se um dos mais importantes e usados polímeros solúveis em água (Kulicke et al., 1982; Sojka et al., 2004). Isso porque sua estrutura química (Figura 1) permite uma interação eletrostática com os solos, formando uma rede de polímeros na superfície do solo, diminuindo a mobilidade dos sedimentos (Xiong et al., 2018b). Neste sentido, a PAM teve utilização mais extensa em áreas com regas por sulcos.

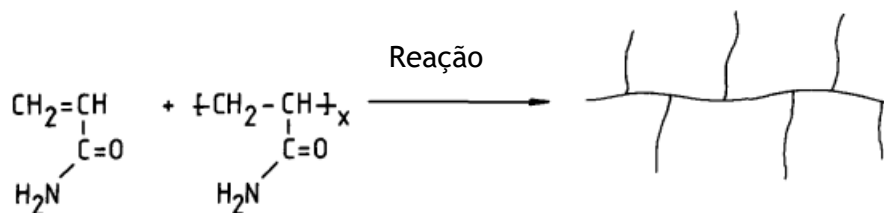


Figura 1 - Poliacrilamida ramificada de cadeia longa  
Fonte: Adaptado de Kulicke et al. (1982)

Por causa de tal capacidade, a PAM é muito usada em solos arenosos, já que os solos arenosos possuem baixa capacidade de retenção de água e sua textura facilita a erosão. Sendo possível incluir outros nutrientes para potencializar a eficiência, como cinzas de carvão mineral e biocarvão (Sadeghi et al., 2020; Yang et al., 2020)

Porém, por ser sintético, a sua degradação é potencializada por efeitos naturais de processos físico-químicos e biológicos, além da sua diluição após o contato com a água por um médio período de tempo (Xiong et al., 2018b). Essa degradação foi observada comparando os trabalhos de Morais (2018), que testou o polímero e registrou a sua eficiência em diferentes solos, enquanto Royer (2018), nos mesmos solos, registrou uma menor eficiência da PAM na redução da erosão, após um período de 6 meses de secagem ao ar das amostras tratadas pelo primeiro autor. Este efeito também foi registrado por Alves (2017), que testou a eficácia do condicionador em diversas doses de aplicação em solos queimados.

### 2.7.2 Condicionadores Orgânicos

De maneira geral, os condicionadores orgânicos possuem maior tempo até que perca totalmente o efeito, já que no início de sua aplicação nota-se a efetividade ao analisar a infiltração de água e a diminuição da destacabilidade e erodibilidade, e ao longo do tempo,

seus efeitos são vistos nas análises químicas e estabilidade dos agregados (Caron et al., 2015; Pereira, 2022; Sojka et al., 2004).

Assim, uma das alternativas para a expansão do uso de condicionadores orgânicos é o recurso a compostos produzidos a partir de resíduos orgânicos urbanos, resíduos da produção animal e/ou resíduos verdes, como restos de produtos agrícolas (Oliveira et al., 2004; Picoloto et al., 2021; Rodrigues et al., 2022).

Devido ao volume considerável dos resíduos gerados na agroindústria, estudos apontam para a necessidade do seu reaproveitamento, seja na produção de energia seja em composto (Picoloto et al., 2021; Silva et al., 2019), fazendo com que o resíduo tenha um novo uso e, por isso, se torne um subproduto da fileira produtiva que o gerou.

## **2.8 Avaliação da erosão**

A avaliação de processos do solo é importante para definir práticas conducentes ao seu manejo adequado e uma dessas avaliações é a análise da perda do solo por erosão (Bünemann et al., 2018). Para estimar e/ou prever a perda do solo, alguns métodos são utilizados, como: pequenas escalas de parcelas de campo, medição de erosões de voçorocas, levantamento de campo e simulações de chuva. Os modelos supracitados são experimentos de curta duração (Figueiredo et al., 2013).

### **2.8.1 Modelos de erosão**

Um dos métodos utilizados é a Universal Soil Loss Equation (USLE). Por ser um método relativamente simples de cálculo da perda de solo, a USLE é utilizada desde a segunda metade da década de 70 (Eisenberg & Muvundja, 2020). O cálculo da perda de solo (A) dá-se pelo produto dos fatores de erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topográficos (LS), cobertura vegetal (C) e prática de conservação (P):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \text{ (Eq. 1)}$$

No entanto, como qualquer modelo, o método precisa de ajustes, em regra realizados por comparação com estimativas por outros métodos de avaliação, por exemplo com os que recorrem a sensoriamento remoto (Souza et al., 2019). Para além disso, não é

possível o seu uso para calcular a perda de solo em eventos individuais de chuva (Gwapedza et al., 2018)

As fragilidades da USLE conduziram a versões melhoradas do mesmo modelo como é o caso da Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) e da Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). A RUSLE permite melhorar as estimativas de perda anual do solo, utilizando maior detalhe de informação no cálculo dos fatores de erosão (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020; Phinzi & Ngetar, 2019). A MUSLE foi desenvolvida incorporando o escoamento no fator de erosividade (R) (Gwapedza et al., 2018). Apesar destes avanços, a versão original da USLE ainda é o método mais utilizado para efeitos da aplicação de medidas de conservação do solo, sendo de maior visibilidade o uso de um experimento prático, quando possível (Morgan, 2005).

### **2.8.2 Simulador de Chuva**

Outro dos métodos aplicados para a análise da perda de solo é a simulação experimental usando um simulador de chuva (Morgan, 2005). O método da Simulação de Chuva é utilizado há décadas para replicar as chuvas de forma mais natural possível (André & Anderson, 1961; Cerdà, 2011; Dunne et al., 1980; Grismer, 2012) e assim poder analisar o grau de erodibilidade do solo, infiltração e escoamento superficial. Com o simulador é possível, com maior facilidade, reproduzir a chuva e assim analisar o impacto em diversos tipos de solos e inclinações (Martinez-Murillo 2013).

Há diversos modelos de simuladores de chuva, podendo ser de um bico ou mais, pequenas ou grandes e podem ser mecânicos ou eletrônicos (Martínez-Murillo et al., 2013). Os dois modelos mais utilizados para um simulador são: (a) Simulador de chuva não-pressurizados ou por formação de gotas (DRSs) e (b) Simulador de chuva pressurizado (PRSs). O primeiro modelo possui a geração de chuva a partir da força gravitacional, porém, devido a instalação do simulador da gota de água precisa de ter uma altura aproximada de 10 metros, o uso do modelo DRSs torna-o inviável. Fator que não afeta o PRSs, já que este modelo usa no simulador um pressurizador, já produzindo uma velocidade das gotas da água. Porém, neste modelo é necessário a aplicação de uma energia para ocasionar a pressão na saída (Aksoy et al., 2012; Chow & Harbaugh, 1965; Mhaske et al., 2019).

## 2.9 Olivicultura em Portugal

O azeite, extraído do fruto da oliveira (*Olea europaea* L.) é um dos alimentos mais consumidos na Europa, muito popular na dieta Mediterrânea desde tempos antigos, que se estendeu até os dias modernos, influenciando e incentivando o cultivo dos olivais (Figura 2) e a produção do azeite (Assmann et al., 1997; Reis, 2014).

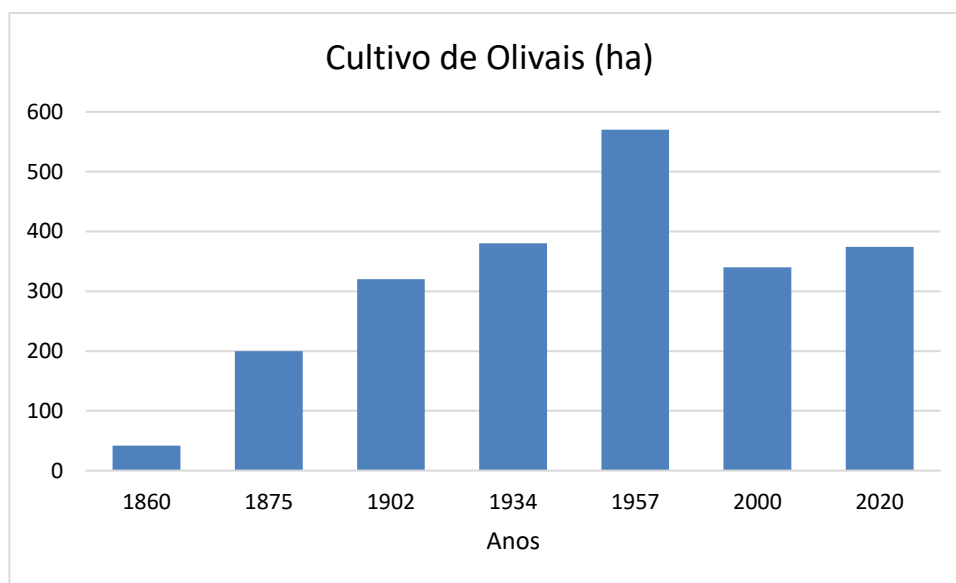


Figura 2- Evolução da área de olival em Portugal (em ha)  
Fonte: Adaptado de Reis (2014) e INE (2022)

No início do século, a região de Trás-os-Montes possuía mais de 70 mil ha de área para o cultivo de oliveiras para a produção do azeite, com mais de 70% encontrando-se em áreas de Leptossolo e 40% em áreas com precipitação superior a 600 mm (Figueiredo et al., 2002). Porém, em estudos recentes, afirma-se que no início da década de 2020, 80% dos olivais Leptossolos (Santos et al., 2022).

O aumento da plantação de olivais é devido à produção do azeite, que é o produto alimentício extraído a partir da azeitona. A Europa produz aproximadamente 97,3% do azeite mundial, sendo que dentro desta percentagem, Portugal produz 5,4% do azeite. Em 2021, Portugal produziu 2,9 milhões de hectolitros, sendo que 16,6% provém da região de Trás-os-Montes, representando a maior quantidade já produzida (Giner-Santonja et al., 2019, INE, 2021).

A extração do azeite pode ocorrer de três maneiras: forma tradicional, separação trifásica e separação bifásica. De uma forma geral, a produção do azeite ocorre da seguinte forma: as azeitonas são moídas e depois são trituradas com a adição do sal, virando uma pasta. Após a trituração, a pasta é direcionada para uma prensa, onde o óleo é extraído e depois passa por uma limpeza por sedimentação ou centrifugação. No fim do processo há a produção do azeite e do resíduo orgânico, que para 1 ton de azeite produzido, 4 ton de resíduo é gerado (Giner-Santonja et al., 2019).

Por causa da alta produtividade de materiais reaproveitáveis na extração do azeite, desde a coleta da azeitona no pé até a sua extração final, muitos estudam um meio de utilizá-los nas fabricações de produtos orgânicos, pesquisando desde áreas farmacêuticas nos usos das folhas, até como ingrediente em alimentos (Alcazar-Ruiz et al., 2021; Cappelli et al., 2021; Şahin & Bilgin, 2018). Em dos seus usos pode ser para a compostagem do bagaço de azeitona e a aplicação do mesmo diretamente ao solo (Hernandez et al., 2022).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

O estudo ocorreu com o solo predominante da região Nordeste de Portugal, especificamente a região de Trás-os-Montes. Com estudos prévios realizados por Figueiredo et al. (2013), resultou que o solo predominante foi o Leptossolo, encontrados em 72% da região, sendo seguidos pelos Cambissolos (13,4%), Antrossolos (6,9%), Pararregossolos (4,7%) e outros (3,4%).

O Leptossolo, por ser o solo com maior distribuição das áreas de cultivo de olivais na região, encontrando-se sob 80% das produções, acabou sendo selecionado como o material de estudo (Figueiredo, 2002; Santos et al., 2022). Além de possuir como características ser delgados e de alta pedregosidade, sendo considerados de baixa fertilidade e de fácil degradação (Afonso & Arrobas, 2009; Figueiredo, 2013; Morais, 2018).

Assim, para avaliar os processos erosivos anuais, analisou-se o clima, particularmente a precipitação da região. De acordo com o Portal do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, 2022) a área de estudo situa-se no clima temperado, ou seja, possui as estações bem definidas, caracterizadas por verões secos e invernos chuvosos. E na subclassificação de Köppen-Geiger para a região de Trás-os-Montes é encontrado dois tipos da subclassificação do clima:

- Csa: classificado no clima temperado, possuindo o verão quente, porém seco. Geralmente encontrado no Vale do Douro e no sul das cadeias montanhosas do Montejunto-Estrela
- Csb: classificado no clima temperado, possuindo o verão quente, porém com temperaturas mais suaves. Geralmente encontrado no norte da cadeia montanhosa do Montejunto-Estrela.

Há ainda a classificação proposta por Agroconsultores & Coba (1991). A determinação da classe ocorre com a junção das características de temperatura média anual com a precipitação média anual, representadas por uma letra e um número, respetivamente (Tabela 1). Assim, a região da coleta de solo situa-se nas categorias

classificadas como Terra de Transição e Terra Quente, com precipitação abaixo dos 800 mm.

Tabela 1 - Classificação das Zonas Climáticas do NE de Portugal

<b>Classificação das Zonas Climáticas do Nordeste de Portugal</b>	
<b>Temperatura média anual</b>	
<b>A</b>	Terra Fria de Alta Montanha, com temperatura média (T) < 9°C
<b>M</b>	Terra Fria de Montanha, com T>9°C e T<10°C
<b>F</b>	Terra Fria de Planalto, com T>10°C e T<12,5°C
<b>T</b>	Terra de Transição, com T>12,5°C e T<14°C
<b>Q</b>	Terra Quente, com T>14°C
<b>Precipitação média anual</b>	
<b>1</b>	Precipitação superior a 1200mm
<b>2</b>	Precipitação entre 1000 e 1200mm
<b>3</b>	Precipitação entre 800 e 1000mm
<b>4</b>	Precipitação entre 600 e 800mm
<b>5</b>	Precipitação abaixo de 600mm

Assim, considerando o tipo de solo, o clima regional e o seu uso, a coleta ocorreu em uma área rural com plantio de olivais. O solo foi coletado em uma altitude de 535 m, com 13% de declive e a profundidade de 35 cm (Pereira, 2022).

### 3.2 Tratamento do Solo

Para a realização da pesquisa, foi utilizado a metodologia já aplicada por Morais (2018) e adaptada por Royer (2018). Assim, o processo inicia com a crivagem do solo coletado, pois os elementos grosseiros interferem no resultado ao facilitarem a infiltração da água, influenciando o resultado. Para diminuir a interferência, passaram pela primeira malha de 2 mm e assim o material desagregado foi separado, sobrando o resultante, que foi crivado novamente em uma malha de 0,75 mm. Após a segunda crivagem, o solo resultante foi separado e deixado para secar em temperatura ambiente por 24 horas (Figura 3).



Figura 3 - Material de crivagem do solo  
a. Crivos de malhas 2mm e 0,75mm  
b. Amostra do solo já crivado  
c. Material desagregado da crivagem

Fonte: Pereira, 2022

Após a secagem do solo, foram preparados tabuleiros perfurados em sua base e na parte de dentro ocorreu a forragem com um tecido permeável, de maneira que cobrisse o fundo e a lateral do tabuleiro, permitindo assim a passagem da água infiltrada. Após a inserção do tecido, os solos crivados foram dispostos de maneira uniforme até que quase todo o tabuleiro fosse preenchido, restando apenas uma camada. Nesta última, nos tabuleiros com corretivos orgânicos, tiveram o solo original misturada com o tratamento a ser utilizada com concentração pré-determinada (Tabela 2). Para os tabuleiros a serem manuseados para o controle e para o corretivo sintético, o solo crivado preencheu até a borda. Assim, foram produzidos 3 tabuleiros com solo original (controle), 15 tabuleiros com corretivos orgânicos (Compostos A, B e C; Bagaço Semi-Extratado Seco, BSES; Bagaço Extratado Seco, BES) e 3 com corretivo sintético, a PAM (poliacrilamida) (Tabela 2).

Tabela 2 - Tipos de tratamento e concentração do corretivo

<b>Bateria</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Concentração do Corretivo</b>
<b>1</b>	Controlo	Amostra com Solo Original
<b>2</b>	Composto A	1,2 kg/m <sup>2</sup> de composto de bagaço de azeitona
<b>3</b>	Composto B	1,2 kg/m <sup>2</sup> de composto de bagaço de azeitona
<b>4</b>	Composto C	1,2 kg/m <sup>2</sup> de composto de bagaço de azeitona
<b>5</b>	Bagaço Semi-Extratado Seco (BSES)	1,2 kg/m <sup>2</sup> de subproduto do bagaço de azeitona
<b>6</b>	Bagaço Extratado Seco (BES)	1,2 kg/m <sup>2</sup> de subproduto do bagaço de azeitona
<b>7</b>	PAM	5,0 g/m <sup>2</sup> do corretivo sintético poliacrilamida

Fonte: Adaptado de Pereira (2022)

Para este experimento, as nomenclaturas dos tratamentos ocorreram pelo tipo de corretivo que foi utilizado na simulação.

- Controlo: é a denominação para o solo original, sem a aplicação dos corretivos. Utilizado para corresponder ao solo com máxima exposição à chuva.

- Compostos: termo referente aos tabuleiros com os compostos orgânicos à base do bagaço de azeitona, produzidas no projeto BIOMA. Comparam-se 3 formulações de composto produzido no âmbito do projeto BIOMA. Para a simulação foram chamados de Composto A, Composto B e Composto C, diferenciando para cada pilha de compostagem onde foram coletadas.

- Bagaço Semi-Extratado Seco (BSES) e Bagaço Extratado Seco (BES): nomenclaturas utilizadas para os subprodutos intermédios e produto final do processo da extração do azeite. O BSES tem como diferença do BES, a presença de 1% de gordura que não foi extraído pelo uso do hexano.

- Poliacrilamida (PAM): corretivo sintético disposto na superfície do solo, representando a máxima proteção à erosão.

As características dos compostos utilizados neste estudo foram descritas por Hernandez et al. (2022). Foram contruídas 3 pilhas de compostagem, cada um com uma percentagem diferente de bagaço húmido, agente estruturante e estrume de ovelha (Tabela 3). Sendo que o composto utilizado possui, no final do processo, suas características analisadas (Tabela 4).

Tabela 3 - Componentes de cada pilha de compostagem

	<b>Bagaço Húmido (%)</b>	<b>Agente Estruturante (%)</b>	<b>Estrume de Ovelha (%)</b>
<b>Pilha A</b>	31	62	8
<b>Pilha B</b>	44	44	11
<b>Pilha C</b>	25	25	50

Fonte: Hernandez et al. (2022)

Tabela 4 - Características físico-químicas dos compostos finais (média, n=3)

<b>Tratamento (Unidades*)</b>	<b>Matéria-prima BA</b>	<b>Composto A</b>	<b>Composto B</b>	<b>Composto C</b>
<b>Densidade (Kg.m<sup>-3</sup>)</b>	1080	809	885	944
<b>Humidade (%)</b>	63,9	37,7	43,7	42,5
<b>Matéria Orgânica (MO) (%)</b>	94,0	57,8	61,3	36,2
<b>pH</b>	5,25	7,9	8,0	9,5
<b>Condutividade Elétrica</b>	5,38	2,61	1,94	5,24
<b>Carbono (C) (%)</b>	54,1	30,4	32,0	18,8
<b>Azoto (N) (%)</b>	0,8	1,8	2,1	1,7
<b>Fósforo (P) (%)</b>	0,1	0,22	0,26	0,49
<b>C/N</b>	50	17	16	11
<b>Fitotoxicidade (MLV) (%)</b>	0	83	90	60
<b>Granulometria (%)</b>	nd	29,7	9,2	22,6

\*Resultados (reportados à matéria seca, com exceção da Humidade e Densidade) referentes às análises efetuadas ao composto pelo Laboratório colaborativo MORE Colab. Métodos: pH em água 1:2.5 p/v; Condutividade Elétrica em água 1:5 p/v; Densidade aparente húmida, método do cilindro; Humidade, base em peso húmido; C e N- Determinação por Análise elementar; MO - Matéria orgânica, pelo método gravimétrico, inceneração ou LOI; Teste de Fitotoxicidade com agrião, segundo Zucconi et al, 1981, expresso em % de germinação; valores acima de 80, considerado não fitotóxico; de 60 a 80, considerado pouco fitotóxico e valores perto de 0 muito fitotóxico; Granulometria, fração > 20mm; nd- não determinado.

Fonte: Hernandez (2022) Comunicação Pessoal

Os compostos A, B e C resultaram da colheita e posterior homogeneização de 5 amostras em cada pilha, respetivamente. Por fim, os compostos foram misturados com o solo e utilizados como o horizonte superficial dos tabuleiros.

Após o preparo dos tabuleiros, Pereira (2022) realizou uma primeira simulação de chuva sobre os solos finalizada em outubro de 2021. Encerradas as simulações, os tabuleiros foram conservados no laboratório de física dos solos do Instituto Politécnico de Bragança. O armazenamento dos tabuleiros ocorreu em temperatura ambiente, cobertos com um plástico opaco e sem interferência externa, mantidos até o segundo experimento.

Com o objetivo de avaliar a persistência dos tratamentos, os ensaios foram realizados sobre os tabuleiros supracitados. Antes de iniciar as simulações, os tabuleiros foram colocados sobre uma base de água (tabuleiros com pequenos furos na parte inferior) para o solo saturar por capilaridade em um período de 12 horas. O humedecimento lento do solo por capilaridade faz com que a absorção da água não afete a superfície do solo e a disposição das partículas dos condicionadores aplicados.

### **3.3 Simulação de Chuva**

O ensaio foi realizado com um simulador de chuva do tipo aspersor, possuindo 4 sustentos ajustados para 2,65 m de altura. No centro do simulador encontra-se situado o bico do tipo aspersor e abaixo dele foi posicionado o suporte dos tabuleiros simulando os solos com inclinação de 14,5% (Figura 4).



Figura 4 - Simulador de chuva e suporte para tabuleiros, durante o ensaio da intensidade da chuvada

Fonte: Royer (2018)

Antes de iniciar a simulação foi realizada a calibração das chuvadas por meio da análise da sua intensidade. Utilizando um duto coletor, ele foi encaixado logo abaixo do dispersor e permitiu a coleta da água da chuva durante 10 minutos, que foi conduzida até o frasco de plástico (Figura 5). O pote foi envolto por um plástico filme para impedir que coletasse a chuva de fora do bidão.

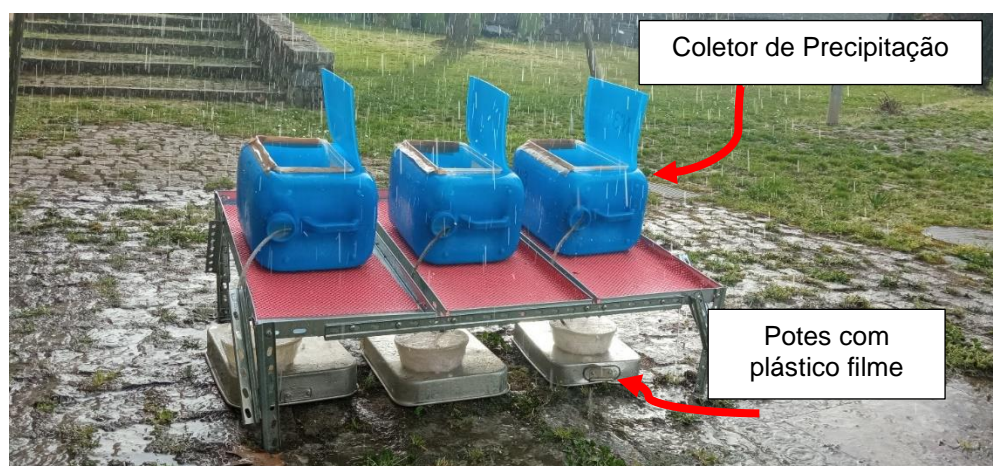


Figura 5 - Simulador com coletor de precipitação, durante ensaio da intensidade da chuvada

Passado o tempo, foi medido o volume da coleta e a intensidade da chuvada (Equação 2), sendo o valor da área do tabuleiro de 310,5 cm<sup>2</sup>.

$$I (mm. h^{-1}) = \frac{V (mm)}{A (cm^2)} \times 6 \times 10 \text{ (Eq. 2)}$$

Com a coleta da água da chuva, também foi realizado o cálculo do caudal de cada simulação, calculado pela razão entre o volume da coleta recolhida em um bidão pelo tempo levado para enchê-lo.

Após a calibração ter sido realizada, ocorreu uma simulação da chuva sobre o solo, para cada tratamento. O período total de simulação foi de 30 minutos e realizaram-se 3 coletas de 4 minutos de escoamento superficial, especificamente nos minutos entre: 6-10 min, 16-20 min e a 26-30 min. Esta coleta foi utilizada para a medição do volume escoado e conseqüentemente para as análises de outras variáveis.

Finalizadas as simulações, foi realizado o registro dos dados do volume escoado, dos sedimentos de frente e do salpico, e para que não seja coletado volume da chuva, foi colocado uma tampa para proteger a área de coleta dos sedimentos de frente (Figura 6). Assim, foram calculados os parâmetros de resposta erosiva seguintes: Escoamento (*e*), Sedimento em Suspensão (SS), Sedimento de Frente (SF) e o Salpico (Sp).

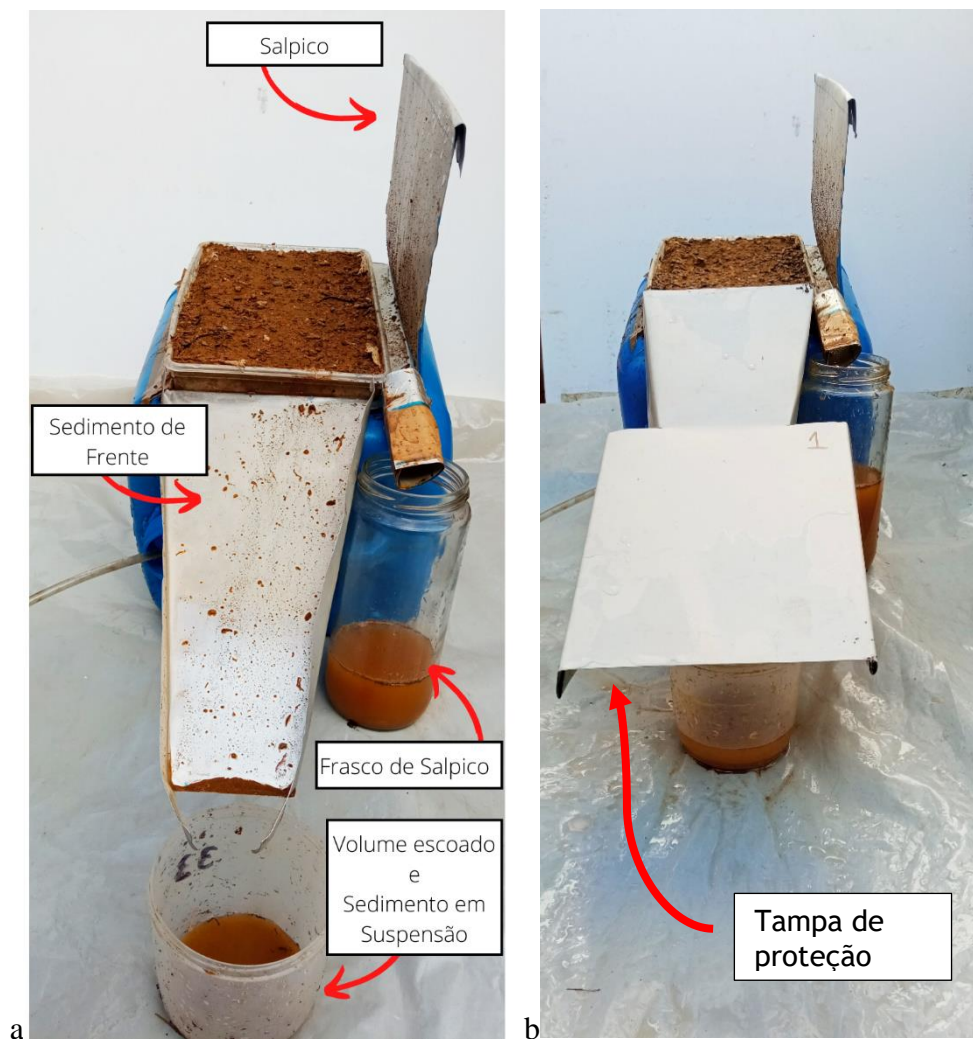


Figura 6 - Recipientes, placa, rampa e protetor da rampa

a. Áreas de coleta de dados

b. Protetor para o coletor de sedimento de frente

As coletas de sedimentos de cada simulação foram separadas em 18 potes, sendo 9 para o escoamento superficial, 3 para os sedimentos de frente, 3 para o salpico e 3 para o frasco de salpico (Figura 7). Após a separação, os potes contendo a coleta do volume de escoamento superficial tiveram suas medidas tiradas para a análise de volume e posteriormente foram colocados na estufa a 104°C por 24 horas. E ao fim desse tempo, ocorreu a pesagem dos potes em uma balança analítica.



Figura 7 - Potes com as coletas de Sedimento de Frente, Salpico e escoamento Superficial, após simulação

### 3.4 Análise dos dados

Com os parâmetros definidos foi possível calcular os indicadores de resposta erosiva do solo: Escoamento (E), Perda do Solo (PS), Salpico (SP), Coeficiente de Escoamento (CE), Concentração de Sedimentos Global (CSg), Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSs), Erodibilidade (EROD) e Destacabilidade (DET), com as equações descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações utilizadas no cálculo da simulação da chuva

<b>Indicador</b>	<b>Equação para o Cálculo</b>
<b>E</b> - Escoamento (E, mm)	$E = \frac{e(L).I}{A_{\text{tabuleiro}}(m^2).I_{\text{média}}}$
<b>Ps</b> - Perda de Solo (g.m <sup>-2</sup> )	$Ps = \frac{SF + SP(g).I}{A_{\text{tabuleiro}}(m^2).I_{\text{média}}}$
<b>SP</b> - Salpico (g.m <sup>-2</sup> )	$SP = \frac{2.SP(g).I}{A_{\text{tabuleiro}}(m^2).I_{\text{média}}}$
<b>CE</b> - Coeficiente de Escoamento	$CE = \frac{E \text{ (mm)}}{P \text{ (mm)}}$

---

<b>CSg</b> - Concentração de Sedimentos Global (g.L <sup>-1</sup> )	$CSg = \frac{PS (g.m^{-2})}{E (mm)}$
<b>CSs</b> - Concentração de Sedimentos em Suspensão (g.L <sup>-1</sup> )	$CSg = \frac{SS (g). 1000}{e (mL)}$
<b>EROD</b> - Erodibilidade (ton.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	$EROD = \frac{PS (g.m^{-2}). 0.01}{P (mm)}$
<b>DET</b> - Destacabilidade (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	$DET = \frac{SP (g.m^{-2})}{P (mm)}$

---

Após os resultados dos parâmetros foi calculado um indicador de performance (Equação 3) dos tratamentos em relação ao Controle.

$$\text{Performance (\%)} = \frac{Méd_{Controlo} \times Méd_{Tratamento}}{Méd_{Controlo}} \times (100) \text{ (Eq. 3)}$$

### 3.5 Tratamento de Dados

Após os cálculos da Tabela 5, os resultados obtidos foram tratados estatisticamente, sendo grande parte das análises realizadas em folha de cálculo Excel. Estas compreenderam o cálculo de estatísticas descritivas dos parâmetros calculados para cada simulação, sendo a média, desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV). O efeito dos tratamentos sobre estes parâmetros foi testado realizando para cada um deles uma ANOVA a um fator (5%) no Software Excel, seguida, quando aplicável, de um teste de comparação de médias (Tukey, 5%) no Software Past.

Por fim, os dados foram comparados com os resultados obtidos em pesquisa de Pereira (2022), verificando-se assim a eficiência e a persistência do efeito dos condicionadores à base de bagaço da azeitona na resposta do solo a chuvadas erosivas. Para uma melhor compreensão dos resultados comparativos, a primeira chuvada, ocorrida há 6 meses, foi chamada de Simulação 1 e a recente simulação foi chamada de Simulação 2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teste de Análise de Variância e comparação de médias

#### 4.1.1 Intensidade da Precipitação

As análises de variância para a Intensidade da Precipitação foram realizadas no software Excel, mostrando que não houve diferenças significativas entre as simulações de chuva efetuadas quanto a este parâmetro, sendo os valores de p, respetivamente, de 0,310 e 0,314. Deste modo, pode-se afirmar que as condições de precipitação produzidas pelo simulador foram homogêneas ao longo de todo o ensaio.

#### 4.1.2 Escoamento

Entre os resultados das simulações para o Escoamento há diferenças significativas ( $p < 0,000$ ). Para os tratamentos há similaridade entre os Compostos A, Composto C e PAM e também entre os Composto C, BSES 1 e BES 2, com os valores-p sendo de  $p > 0,900$ . E a diferença entre os dois grupos possui valor-p sendo de  $p < 0,000$  (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Escoamento (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos,  $p < 0,05$ )

	Controlo	Composto A	Composto B	Composto C	BSES 1	BES 2	PAM
Controlo	x	<b>0,004</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>0,007</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>0,02</b>
Composto A		x	<b>&lt;0,000</b>	1	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	0,974
Composto B			x	<b>&lt;0,000</b>	0,985	0,907	<b>&lt;0,000</b>
Composto C				x	<b>&lt;0,000</b>	<b>0,001</b>	0,996
BSES 1					x	0,999	<b>&lt;0,000</b>
BES 2						x	<b>&lt;0,000</b>
PAM							x

#### 4.1.3 Perda de Solo

Analisando o valor da variância para a análise da perda de solo, nota-se que não há diferenças significativas, sendo o valor- $p=0,626$  e assim comprovando a homogeneidade dos resultados dos tratamentos.

#### 4.1.4 Salpico

Nos resultados para o salpico foi obtido dados mostrando que há diferenças significativas entre o Controlo e os tratamentos com o Composto B e o Composto C, e dos extratos BSES 1 e BES 2 (Tabela 7). Enquanto tratamento com o Composto A possui diferença significativa apenas com BSES, sendo valor-p=0,047. Os resultados da PAM não apresenta diferenças significativas em relação aos tratamentos com compostos orgânicos e ao controlo.

Tabela 7 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Salpico (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos,  $p < 0,05$ )

	Controlo	Composto A	Composto B	Composto C	BSES 1	BES 2	PAM
Controlo	x	0,456	<b>0,006</b>	<b>0,013</b>	<b>0,001</b>	<b>0,01</b>	0,058
Composto A		x	0,192	0,382	<b>0,047</b>	0,295	0,824
Composto B			x	0,999	0,977	0,999	0,848
Composto C				x	0,835	1	0,981
BSES 1					x	0,91	0,393
BES 2						x	0,947
PAM							x

#### 4.1.5 Coeficiente de Escoamento

Os resultados do coeficiente de escoamento (CE) mostram diferenças significativas, encontradas no solo do Controlo, por ele ser diferente dos tratamentos orgânicos e sintético (PAM). Em relação aos tratamentos, o Composto A e Composto C não possuem diferenças significativas do condicionador sintético. Porém, apresentam diferenças significativas dos tratamentos com o Composto B e dos condicionadores BSES 1 e BES 2, que não possuem diferença significativa entre si (Tabela 8).

Tabela 8 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Coeficiente de Escoamento (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos,  $p < 0,05$ )

	Controlo	Composto A	Composto B	Composto C	BSES 1	BES 2	PAM
<b>Controlo</b>	x	0,006	<b>&lt;0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>0,013</b>
<b>Composto A</b>		x	<b>&lt;0,000</b>	0,996	<b>0,001</b>	0,001	0,999
<b>Composto B</b>			X	<b>0,001</b>	0,971	0,938	<b>&lt;0,000</b>
<b>Composto C</b>				x	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>	0,95
<b>BSES 1</b>					x	1	<b>0,001</b>
<b>BES 2</b>						x	<b>0,001</b>
<b>PAM</b>							x

#### 4.1.6 Concentração de Sedimentos Global

Os resultados de Concentração de Sedimento Global (CSg) entre o Composto B e os corretivos BSES 1 e BES 2 não mostram diferenças significativas, com valores de variância  $p=0,308$  e  $p=0,291$ , respetivamente. Porém ele difere do tratamento Controlo, dos solos com os tratamentos orgânicos do Compostos A e do Composto C e também diferenciando do solo com o tratamento sintético (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Concentração Global (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos,  $p < 0,05$ )

	Controlo	Composto A	Composto B	Composto C	BSES 1	BES 2	PAM
<b>Controlo</b>	x	0,999	<b>0,009</b>	0,999	0,408	0,429	1
<b>Composto A</b>		x	<b>0,017</b>	1	0,624	0,647	0,999
<b>Composto B</b>			X	<b>0,014</b>	0,308	0,291	<b>0,008</b>
<b>Composto C</b>				x	0,565	0,589	0,999
<b>BSES 1</b>					x	1	0,386
<b>BES 2</b>						x	0,406
<b>PAM</b>							x

#### 4.1.7 Concentração de Sedimentos em Suspensão

Os dados analisados para a Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSs) obteve como resultado de similaridade valor- $p=0,443$ . Mostrando que entre os tratamentos não há diferenças significativas, com os dados podendo ser considerados como homogêneos.

### 4.1.8 Erodibilidade

Entre os resultados de Erodibilidade do solo, foi obtido como resultado do ANOVA o valor-p sendo de 0,747, mostrando não ocorrer diferenças significativas entre os tratamentos.

### 4.1.9 Destacabilidade

Entre os tratamentos não há diferença significativa entre os tabuleiros do controle e do tratamento utilizando o Composto A (valor-p=0,704) e há diferença significativa entre os dois tratamentos citados e os outros tratamentos, sendo a maior diferença com o BSES 1 (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultado do Teste de Tukey para os dados de Destacabilidade (valores de p a negrito assinalam diferenças significativas entre tratamentos,  $p < 0,05$ )

	Controlo	Composto A	Composto B	Composto C	BSES 1	BES 2	PAM
Controlo	x	0,704	<b>0,013</b>	<b>0,008</b>	<b>0,004</b>	<b>0,014</b>	<b>0,044</b>
Composto A		x	0,201	0,131	0,06	0,2152	0,499
Composto B			x	1	0,989	1	0,992
Composto C				x	0,999	0,999	0,961
BSES 1					x	0,985	0,799
BES 2						x	0,995
PAM							x

## 4.2 Respostas Erosivas

### 4.2.1 Precipitação e Intensidade da Precipitação

Na pesquisa, a Intensidade e quantidade de Precipitação foram parâmetros utilizados para verificar se as condições foram homogêneas durante a simulação. Assim, a intensidade média global foi de 61,62 mm.h<sup>-1</sup>, com o valor máximo de 69,88 mm.h<sup>-1</sup> obtido para o tabuleiro com o condicionador orgânico do Composto C e o valor mínimo de 55,59 mm.h<sup>-1</sup> para o tabuleiro que possui o condicionador com o BSES 1 como componente.

O desvio padrão médio foi de 7,25 mm.h<sup>-1</sup>, com o maior desvio no tabuleiro com a PAM e o menor no tabuleiro com o condicionador orgânico do Composto B e o BES 2. Em

relação ao CV, os resultados com maiores variâncias foram os do Composto A, BES 2 e PAM, com aproximadamente 14% (Tabela 11).

Tabela 11 - Média, desvio-padrão e CV para a Intensidade da Precipitação

Tratamento	Média da Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> )	DP da Intensidade	CV (%)
Controlo	62,42	5,59	8,96
Composto A	60,56	8,89	14,68
Composto B	56,52	4,40	7,79
Composto C	69,88	8,98	12,86
BSES 1	55,59	4,40	7,92
BES 2	60,56	8,89	14,68
PAM	65,84	9,56	14,52

Já o valor médio encontrado de precipitação num período de 30 minutos foi de 30,81 mm, com o maior valor encontrado no tabuleiro com o condicionador do Composto C (34,94 mm), e o menor no tabuleiro com o condicionador orgânico BES 2 (27,80 mm) (Figura 8).

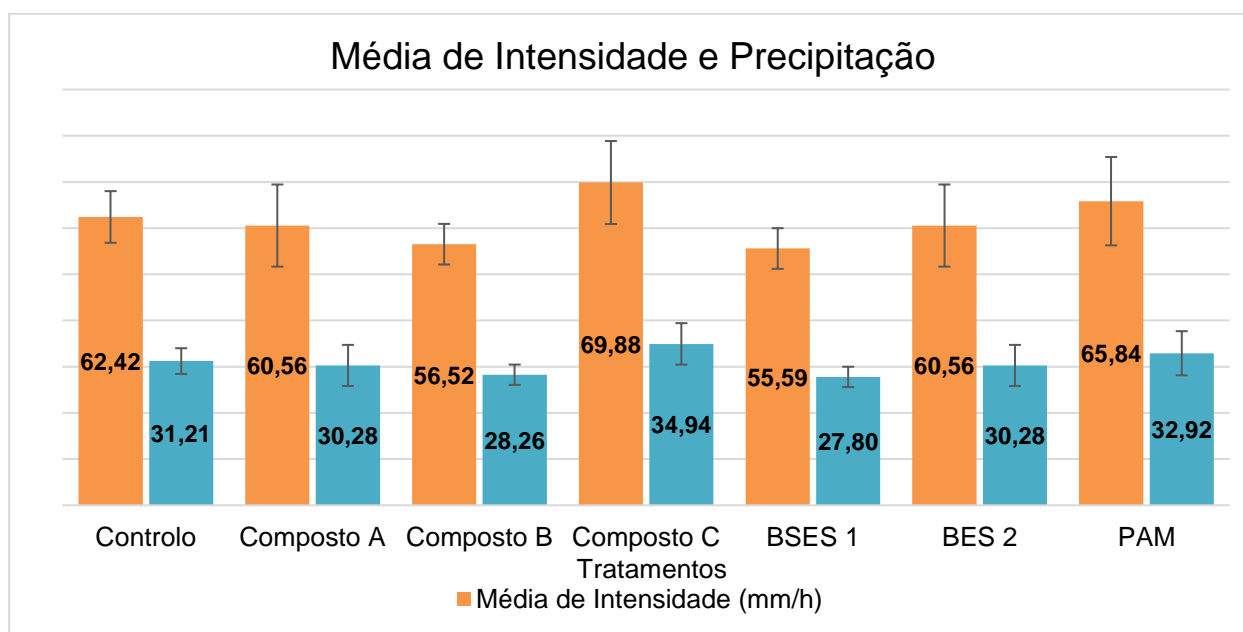


Figura 8 - Média da Intensidade da Precipitação e Quantidade de Precipitação

Para os dados de precipitação, o desvio padrão médio foi de 3,62 mm, com o maior desvio encontrado para a PAM (4,78 mm), e o menor para o tabuleiro do Composto B (2,20 mm) (Tabela 12).

Tabela 12 - Média, desvio-padrão e CV para a Precipitação

<b>Tratamento</b>	<b>Média de Precipitação (mm)</b>	<b>DP de Precipitação</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Controlo</b>	31,21	2,80	8,96
<b>Composto A</b>	30,28	4,44	14,68
<b>Composto B</b>	28,26	2,20	7,79
<b>Composto C</b>	34,94	4,49	12,86
<b>BSES 1</b>	27,80	2,20	7,92
<b>BES 2</b>	30,28	4,44	14,68
<b>PAM</b>	32,92	4,78	14,52

A intensidade de precipitação média utilizada com os dados coletados na região de Trás-os-Montes varia entre 54,7 mm.h<sup>-1</sup> e 70,19 mm.h<sup>-1</sup> (Morais, 2018; Pereira, 2022), mostrando que a análise realizada se encontra dentro do padrão das simulações realizadas. Porém, a intensidade ainda se mostra inferior à utilizada por Alves (2017) que realizou a pesquisa com as intensidades variando entre 68,48 mm.h<sup>-1</sup> e 79,67 mm.h<sup>-1</sup>.

Os valores de intensidade obtidos na simulação são considerados altos para a média calculada na estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia, Bragança, em que para 30 minutos, o valor da intensidade é de 37,46 mm.h<sup>-1</sup> (Ramos, 2008). A intensidade simulada neste trabalho corresponde à de uma chuvada com período de retorno elevado, superior a 100 anos, por isso de ocorrência relativamente rara (Matos & Silva, 1982). A diferença ocorre porque para a simulação é considerado uma chuvada de alta intensidade para que o seu impacto seja verificável experimentalmente em curto período de tempo.

#### **4.2.2 Escoamento**

A análise do Escoamento Superficial teve seu processo iniciado após a percepção do início deste, anotado o tempo de resposta, obteve-se uma média de escoamento de 9,07 mm, sendo o valor máximo de 18,91 mm para o tabuleiro que não possui uma camada protetora (Controlo), e o valor mínimo de 1,80 mm para o tabuleiro que possui o condicionador orgânico do Composto B. O desvio padrão médio foi de 11,59 mm, sendo o maior desvio de 2,65 mm para o tabuleiro que é protegido com a PAM e o menor para o condicionador o BSES 1, com o valor de 0,11 mm (Figura 9).

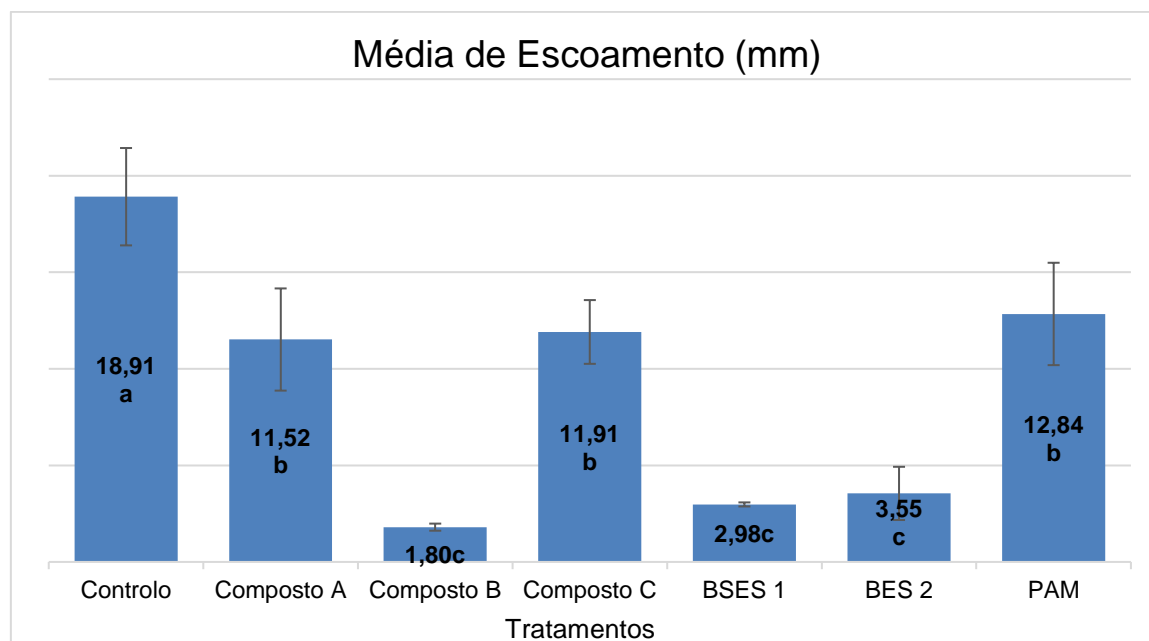


Figura 9 - Média de Escoamento

Em relação à performance dos tratamentos, o Composto B obteve uma performance acima de 90%, sendo seguido pelo BSES 1, com 84,26%, e pelo BES 2 com 81,23%, os tratamentos restantes não alcançaram 40% de eficiência. Entre os condicionadores, os dados mais homogêneos são os dos Composto B, Composto C e BES 2. O Composto A apresentou uma dispersão média e o único que mostrou uma elevada dispersão foi o BSES 1 (Tabela 13).

Tabela 13 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Escoamento

Treatmento	Média de Escoamento (mm)	DP de Escoamento (mm)	CV (%)	Performance
<b>Controlo</b>	18,91	2,52	13,33	0,00
<b>Composto A</b>	11,52	2,65	22,97	39,10
<b>Composto B</b>	1,80	0,18	10,21	90,48
<b>Composto C</b>	11,91	1,65	13,86	37,03
<b>BSES 1</b>	2,98	0,11	3,53	84,26
<b>BES 2</b>	3,55	1,38	38,82	81,23
<b>PAM</b>	12,84	2,65	20,64	32,11

Assim, comparando os tratamentos após o período de repouso (6 meses), pode-se notar que os tratamentos com corretivos orgânicos possuem uma eficácia superior ao

corretivo sintético, que além de permitir maior infiltração há melhoria de sua eficiência a médio prazo.

Comparando com a Simulação 1 (efetuada 6 meses antes), notou-se uma melhor eficácia dos tratamentos orgânicos compostos pelo Composto B, BSES 1 e BES 2, com ênfase para o Composto B, onde ocorreu uma redução de 71% de escoamento. Entre os tratamentos, ocorreu diminuição da eficiência dos tratamentos do Composto A e Composto C, mostrado pelo aumento do escoamento, e também ocorreu redução da eficácia do condicionador sintético PAM, ocasionando menor escoamento e maior infiltração. Já no controle, ocorreu aumento de 82% de escoamento do solo (Figura 10), podendo ter sido ocasionado pela compactação causada pela simulação (Alaoui et al., 2018).

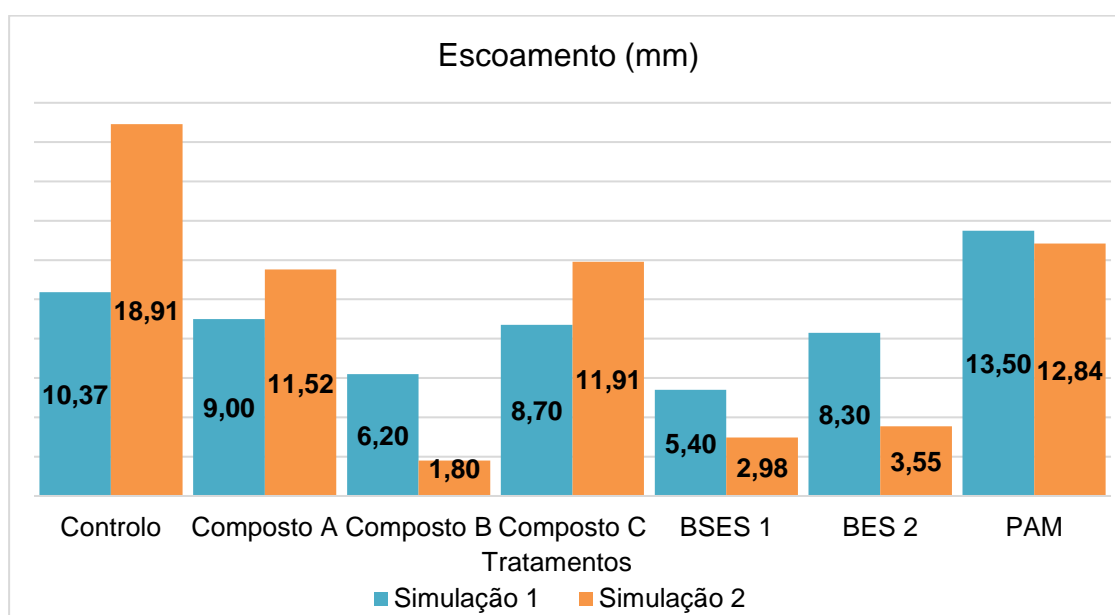


Figura 10 - Comparação das médias de Escoamento entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Estudos já mostraram que dependendo da concentração ou do método de aplicação da PAM, pode ocorrer aumento do escoamento em relação ao controlo ou aumento da quantidade de água infiltrada (Ao et al., 2018; Peterson et al., 2002). Ensaios com o método de aplicação direta de PAM foram realizados por Alves (2017), que deparou-se com situação semelhante ao resultado obtido quando se aplicou uma dose de  $5 \text{ g m}^{-2}$  no solo de PAM. Em seu estudo, ocorreu decréscimo da quantidade de água escoada, mostrando a perda da efetividade do sintético (PAM) após a segunda chuvada, ocorrida em um curto período de tempo. Com isso, pode-se afirmar que a perda da efetividade ocorre em decorrência dos efeitos da chuva e não do tempo.

### 4.2.3 Sedimentos em Suspensão, Sedimento de Frente e Perda de Solo

A perda de solo é o resultado da soma dos sedimentos em suspensão e do sedimento de frente. O valor médio encontrado foi  $76,94 \text{ g.m}^{-2}$ , com a maior perda de solo no tabuleiro com o solo controle e o menor no tabuleiro com PAM. O maior desvio padrão foi o do Controle, sendo de  $44,90 \text{ g.m}^{-2}$  e o menor desvio no Composto A com o valor de  $5,75 \text{ g.m}^{-2}$ , encontrado a média do desvio sendo o valor de  $25,75 \text{ g.m}^{-2}$  (Figura 11).

Já em relação aos tratamentos orgânicos estudados, a maior perda de solo foi encontrada no tratamento com o Composto A e o tratamento com menor perda de solo foi o BSES 1, produzindo 27,71% menos sedimentos que o primeiro. Em contrapartida, o tratamento com o Composto B é o que apresenta menor quantidade de sedimento em suspensão carregado, ou seja, em relação ao carregamento do solo fino, o corretivo com melhor resultado foi o Composto B.

Mesmo que o solo controle possua a maior perda em relação aos sedimentos em suspensão, o maior valor do sedimento de frente é encontrado no Composto A. Isso pode ser explicado pelo desprendimento do condicionador orgânico, podendo ser comparado com a PAM que possui o menor resultado em relação à perda de sedimentos de frente.

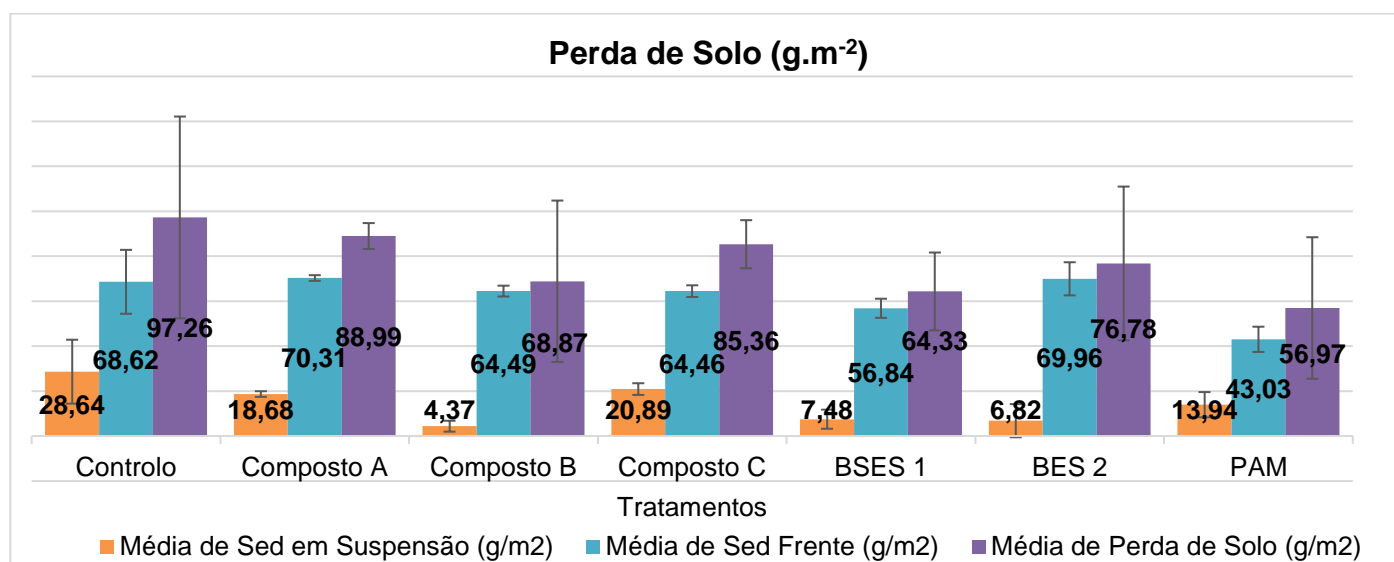


Figura 11 - Média da Perda de Solo

Para a perda de solo, não ocorreu tratamentos com performance acima de 50%, o tratamento com maior desempenho foi o condicionador sintético PAM, com a performance

de 41,43%, porém também foi o que mostrou a maior dispersão dos dados. O condicionador orgânico com melhor performance foi o BSES 1 com 33,86% e o tratamento com menor performance foi o Composto A, este também apresentou a menor dispersão (Tabela 14).

Tabela 14 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Perda de Solo

Tratamento	Média de Perda de Solo ( $\text{g.m}^{-2}$ )	DP de Perda de Solo ( $\text{g.m}^{-2}$ )	CV (%)	Performance
Controlo	97,26	44,90	46,17	0,00
Composto A	88,99	5,75	6,47	8,50
Composto B	68,87	35,90	52,13	29,19
Composto C	85,36	10,69	12,52	12,24
BSES 1	64,33	17,32	26,93	33,86
BES 2	76,78	34,21	44,56	21,06
PAM	56,97	31,50	55,29	41,43

No início da aplicação dos tratamentos pode ocorrer uma maior perda de solo, pois a Simulação 1 mostrou maiores perdas, variando entre  $36,6 \text{ g.m}^{-2}$  e  $232,4 \text{ g.m}^{-2}$  (Pereira, 2022). Na Simulação 1, os resultados mostram-se divergentes em relação aos tratamentos com o BSES 1 e BES 2 comparativamente ao que ocorreu na Simulação 2, já que elas mostraram-se com as menores performances, com ambas performances inferiores ao controlo, e melhoraram para 33,86% e 21,06%, respetivamente. Com exceção da PAM, que para as duas simulações mostrou-se a mais eficaz, com perda de  $36,6 \text{ g.m}^{-2}$  e performance de 74%, porém sendo a única que a teve diminuída (Figura 12).

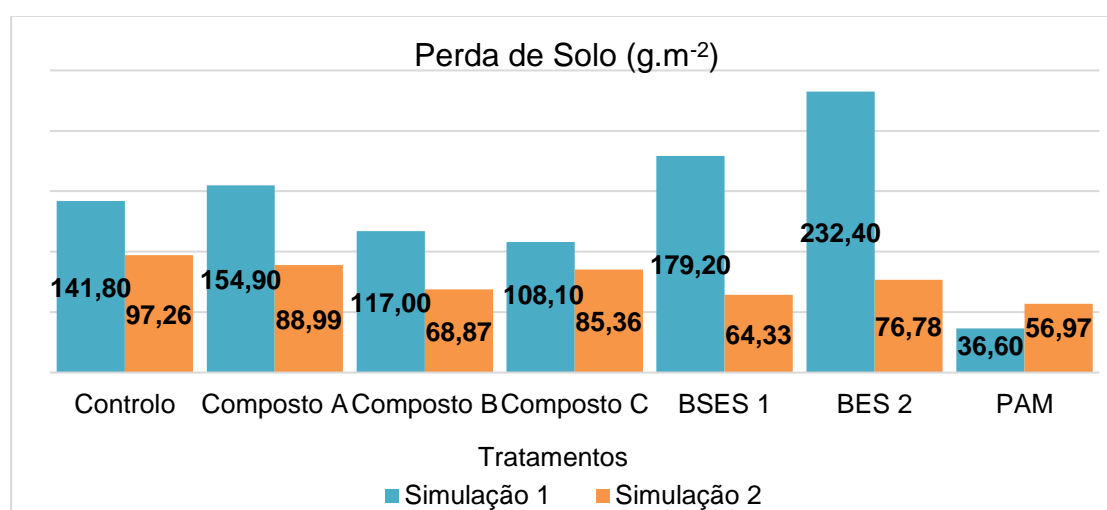


Figura 12 - Comparação das médias de Perda de Solo entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Um estudo com solos semelhantes foi realizado por Morais (2018) que utilizou a simulação de chuva para quantificar a perda de solo por erosão hídrica. Os resultados

obtidos permitiram fazer a comparação entre o solo original (Leptossolo dístico órtico de xisto) sem tratamento, o solo com um composto orgânico e o solo com um condicionador sintético (PAM), sendo os valores de  $225,7 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $197 \text{ g.m}^{-2}$  e de  $35,3 \text{ g.m}^{-2}$ , respetivamente. Após um período de secagem dos solos, a perda de solo no solo original foi inferior à da simulação antes da secagem, sendo que a chuvada sobre o solo seco registou uma perda de  $94,3 \text{ g.m}^{-2}$  e sobre o solo húmido foi de  $116,2 \text{ g.m}^{-2}$  (Royer, 2018).

A diminuição da perda de solo em uma segunda simulação pode ocorrer devido ao arrastamento das partículas que são maiores e mais instáveis no tabuleiro e também devido ao efeito ocorrido durante o período de pausa do condicionador orgânico na estabilização dos agregados dos solos (Amézqueta, 2008; Boix-Fayos et al., 2007).

#### 4.2.4 Salpico

A média global encontrada no salpico durante o experimento prático foi de  $203,87 \text{ g.m}^{-2}$ , com o maior valor para o tratamento Controlo. Entre os restantes tratamentos, o Composto A é o que apresenta o valor mais elevado e o BSES 1 o mais baixo. Em relação ao desvio padrão, o menor desvio ocorreu no Composto C, sendo de  $17,25 \text{ g.m}^{-2}$ , e o maior i no Composto B, sendo de  $67,74 \text{ g.m}^{-2}$  (Figura 13).

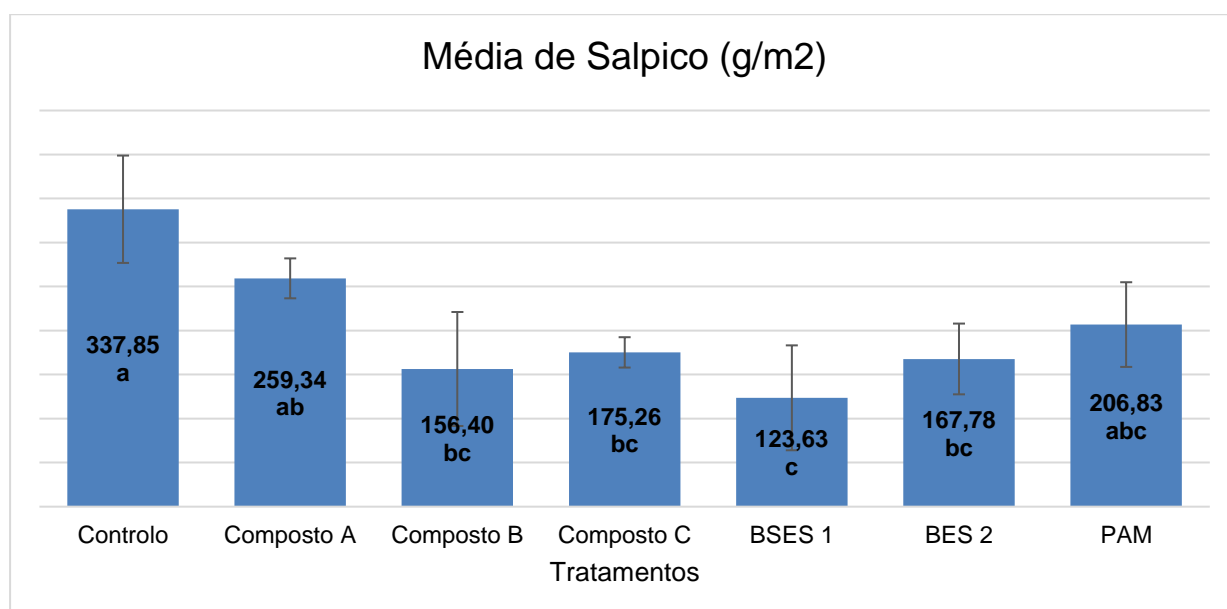


Figura 13 - Média de Salpico

Em relação às performances dos tratamentos em comparação com o Controlo (Tabela 15), com exceção do tratamento com Composto A, todos os outros possuíram uma

performance superior a 38%. Entre eles, o mais eficaz foi o BSES 1, com performance de 63,41%, seguido pelo Composto B, com performance de 53,71%, apresentando performance semelhante o BES 2 com 50,34%.

Tabela 15 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Salpico

Tratamento	Média de Salpico (g.m <sup>-2</sup> )	DP de Salpico (g.m <sup>-2</sup> )	CV (%)	Performance (%)
<b>Controlo</b>	337,85	60,97	18,05	0,00
<b>Composto A</b>	259,34	22,67	8,74	23,24
<b>Composto B</b>	156,40	64,74	41,39	53,71
<b>Composto C</b>	175,26	17,25	9,84	48,13
<b>BSES 1</b>	123,63	59,58	48,19	63,41
<b>BES 2</b>	167,78	40,20	23,96	50,34
<b>PAM</b>	206,83	48,10	23,26	38,78

Comparando a Simulação 1 (efetuada há 6 meses) com a Simulação 2 (presente), nota-se melhor eficácia dos tratamentos orgânicos (Figura 14). Principalmente do BES onde se observa uma diminuição de 73,65% de salpico, o único a ter os resultados acima do controlo na Simulação 1. Porém o tratamento que possui melhor resultado foi o BSES 1, que teve o salpico reduzido em 77,93%. E entre os compostos, o que obteve menor redução foi o Composto A, que o salpico diminuiu 40,35%. Já a PAM foi a única a ter sua eficácia inferior à Simulação 1, sendo um aumento de 183,33% de salpico.

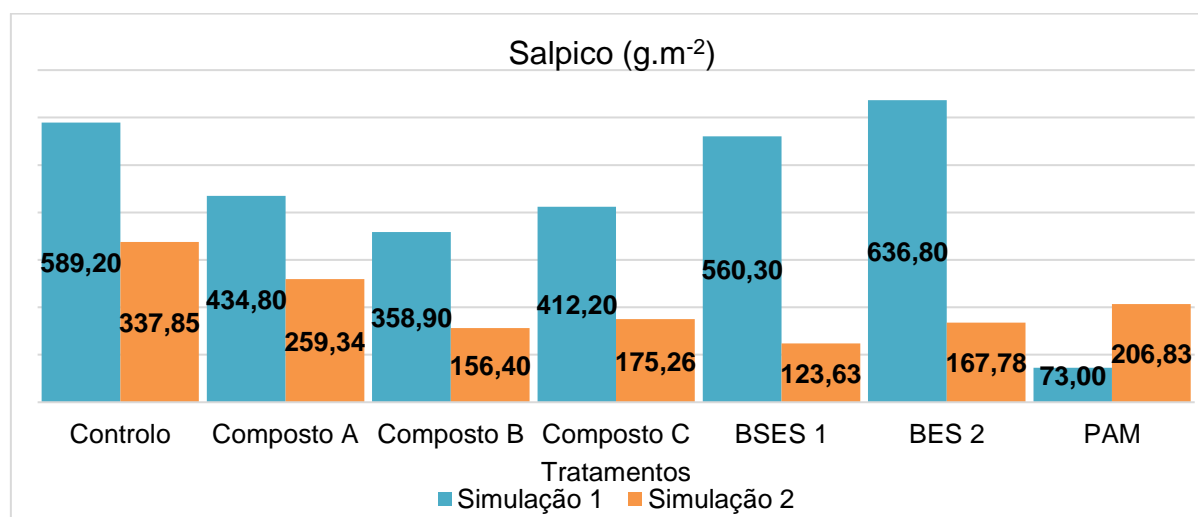


Figura 14 - Comparação das médias de Salpico entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Com os resultados da Simulação 2, pode-se inferir que os compostos orgânicos contribuíram para aumentar a estabilidade dos agregados do solo, diminuindo o efeito

“*splash*” provocado pelas gotas das chuvas. Amézqueta (2008) afirma que a matéria orgânica, juntamente com a água, pode promover maior estabilidade dos agregados, fator demonstrado por Royer (2018), que comparou o salpico em um solo seco e posteriormente em um solo húmido, verificando que o segundo solo obteve 20% a menos de salpico.

Outro estudo que analisou a efetividade de condicionadores orgânicos e sintéticos para a diminuição do efeito de salpico foi (Morais, 2018). Quando comparada a performance, nota-se eficiência de 33,73% do condicionador a base de composto orgânico e de 94,1% da PAM.

#### 4.2.5 Coeficiente de Escoamento

A percentagem média global encontrada para o Coeficiente de Escoamento foi de 29%, apresentando o Controlo a maior percentagem (60%), e o Composto B a menor (6%). O desvio padrão médio encontrado foi de 5%, sendo o maior desvio de 11%, observado para a PAM, e o menor desvio foi de 1%, para o Composto B e o BSES 1 (Figura 15).

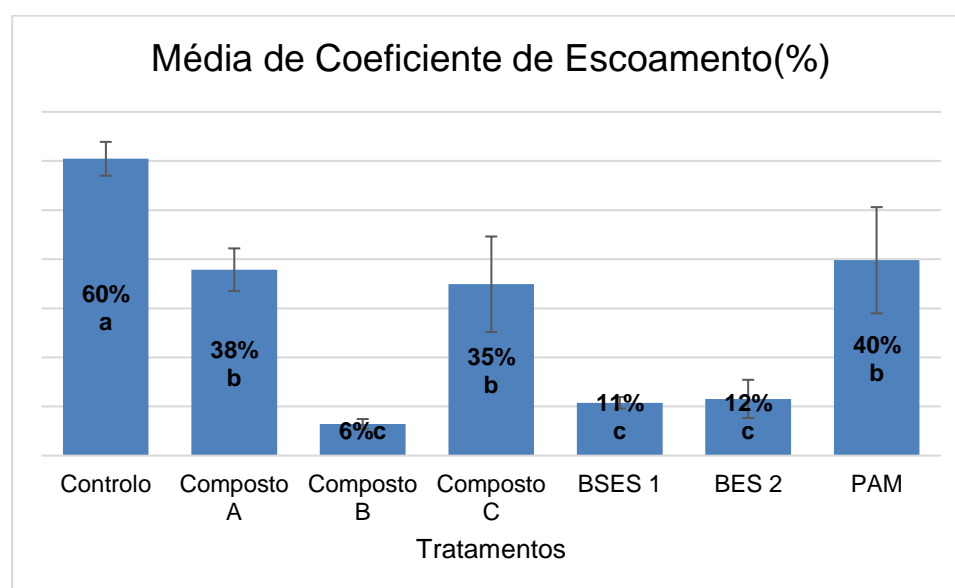


Figura 15 - Média de Coeficiente de Escoamento

Quanto à performance dos tratamentos, o Composto B, BSES 1 e BES 2 obtiveram os melhores resultados, mostrando os três performances acima de 80%. Os tratamentos com Composto A, Composto C e com o condicionador sintético (PAM) possuem as menores performances, apresentando a PAM a menor percentagem entre os três, com 34,19% (Tabela 16).

Tabela 16 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Coeficiente de Escoamento

Tratamento	Média de Coeficiente de Escoamento (%)	DP de Coeficiente de Escoamento (%)	CV (%)	Performance (%)
Controlo	60%	0,03	5,70	0,00
Composto A	38%	0,04	11,48	37,38
Composto B	6%	0,01	16,05	89,37
Composto C	35%	0,10	27,87	42,27
BSES 1	11%	0,01	10,93	82,17
BES 2	12%	0,04	33,63	80,89
PAM	40%	0,11	27,20	34,19

Comparando a Simulação 2 (presente) com a Simulação 1 (efetuada à 6 meses), os tratamentos que possuem as maiores percentagens ainda são os dos Composto A, Composto C e da PAM, sendo que nos dois tratamentos orgânicos ocorreu um aumento do coeficiente de escoamento, verificando-se o maior no composto A com 9%. No controlo ocorreu um acréscimo de 24% (Figura 16). Em contrapartida, os tabuleiros com os tratamentos do Composto B, BSES 1 e BES 2 obtiveram menores percentagens e neles também ocorreram decréscimo em relação à Simulação 1, apresentando o Composto B a maior redução percentual.

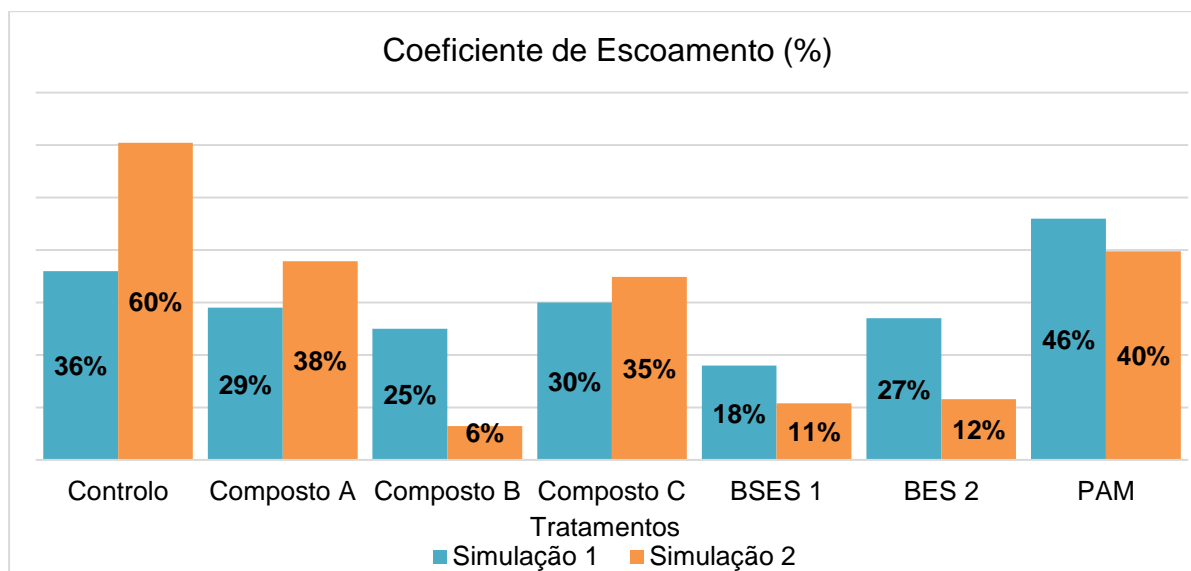


Figura 16 - Comparação das médias de Coeficiente de Escoamento entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Tal diferença entre os resultados dos tratamentos pode ser explicada pela percentagem de bagaço húmido que entrou na composição de cada um. O Composto B

possui na sua composição maior quantidade de bagaço, em relação aos restantes compostos (Composto A e Composto C), assim como em relação ao BSES 1 e BES 2, mostrando que a percentagem de matéria orgânica afeta a formação de agregados, contribuindo para aumentar a infiltração da água no solo (Amézketa, 2008; Hernandez et al., 2022).

#### 4.2.6 Concentração de Sedimentos Global

A média global encontrada para a Concentração de Sedimentos (CSg) após a realização do experimento foi de 15,32 g.L<sup>-1</sup>, sendo o maior valor de 39,69 g.L<sup>-1</sup> no solo protegido pelo Composto B e o menor de 4,64 g.L<sup>-1</sup> no solo que foi tratado com o condicionador sintético PAM. O tratamento PAM foi o único com resultado inferior ao do Controlo (Figura 17). O desvio padrão médio da concentração de sedimentos globais é de 5,65 g.L<sup>-1</sup>, mostrando o tratamento com Composto B o maior desvio de 24,68 g.L<sup>-1</sup>, e o tratamento com Composto C o menor desvio de 1,18 g.L<sup>-1</sup>.

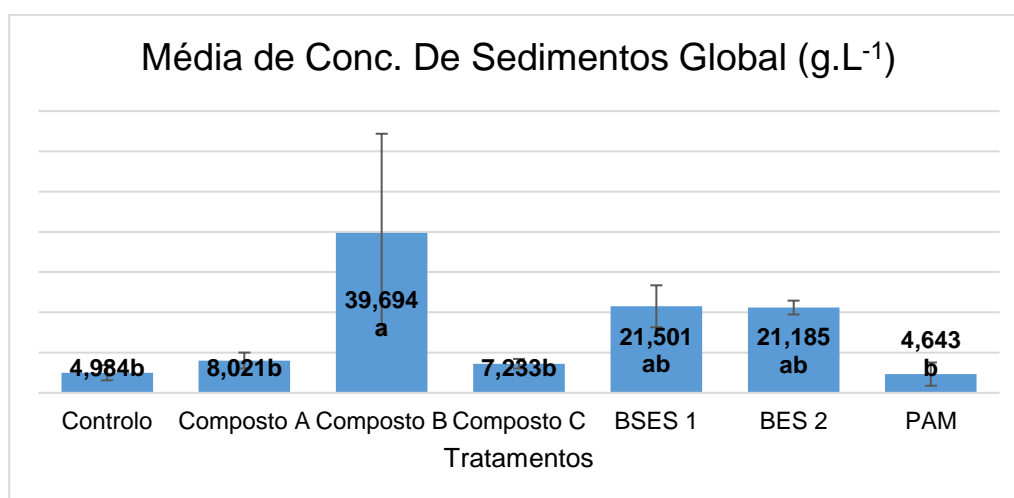


Figura 17 - Média da Concentração de Sedimentos Global

Na Tabela 17 é possível notar que o tratamento com o condicionador sintético (PAM) é o único com performance positiva. Entre os tratamentos orgânicos, o que obteve melhor performance foi o condicionador à base do Composto C, enquanto a menor performance foi encontrada no tratamento com Composto B. Neste sentido, pode-se interpretar que os sedimentos destacados e analisados são em sua maior parte o bagaço desprendido do solo.

Tabela 17 - Média, desvio-padrão, CV e performance para o Concentração de Sedimentos Global

Tratamento	Média de CSg (g.L <sup>-1</sup> )	DP da CSg (g.L <sup>-1</sup> )	CV (%)	Performance (%)
Controlo	4,98	1,88	37,67	0,00
Composto A	8,02	1,98	24,68	-60,94
Composto B	39,69	24,68	62,17	-696,43
Composto C	7,23	1,18	16,33	-45,13
BSES 1	21,50	5,21	24,25	-331,40
BES 2	21,19	1,72	8,14	-325,07
PAM	4,64	2,89	62,30	6,85

Analisando os dados de Pereira (2022), a autora afirma não obter diferença significativa em seus dados, já que eles seguem uma tendência estabelecida devido à Perda de Solos. Seguindo a lógica, o motivo das diferenças significativas pode ser devida à influência do escoamento, já que neste há diferenças.

Na Figura 19 é possível comparar os resultados obtidos na Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e na Simulação 2 (presente) e nela pode-se observar que entre os tratamentos apenas o Composto B e o condicionador sintético (PAM) apresentaram aumento de CSg. Destaca-se o Composto A, que entre a primeira e a segunda simulação registou uma redução de aproximadamente 59%, enquanto o BSES 1 obteve 53% de redução na concentração de sedimentos.

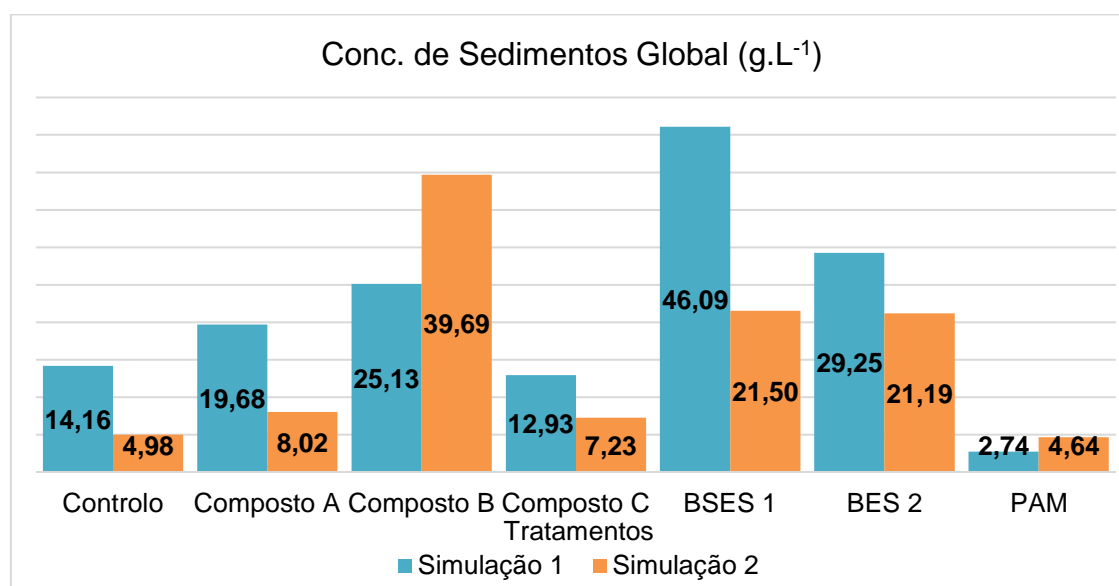


Figura 18 - Comparação das médias de Concentração de Sedimentos Global entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Os altos valores do Composto B e dos BSES 1 e BES 2 podem ser respondidos pela concentração de bagaço húmido que entra na composição dos tratamentos, além de possíveis diferenças de intensidade de precipitação.

Assim, quando analisada a diferença entre os tratamentos com o solo controlo e com os corretivos orgânicos, é visto de forma divergente relativamente aos dados obtidos por Moraes (2018). Pois, em seus estudos mostra que no solo com composto orgânico resultou menor concentração de sedimentos globais que no solo original. Acrescentando, quando a simulação de chuva é repetida por Royer (2018), nota-se uma similaridade nos dados obtidos com os do autor, pois quando conduzida à segunda simulação, ocorrendo um decréscimo da concentração de sedimentos.

#### 4.2.7 Concentração de Sedimentos em Suspensão

O resultado médio encontrado para os resultados da Concentração de Sedimentos em Suspensão foi de  $1,7 \text{ g.L}^{-1}$ . O solo que obteve o maior valor foi o que foi tratado com o condicionador orgânico BSES com uma média de  $2,50 \text{ g.L}^{-1}$  e o menor valor foi encontrado para o tratamento sintético (PAM) sendo de  $1,06 \text{ g.L}^{-1}$  (Figura 19).

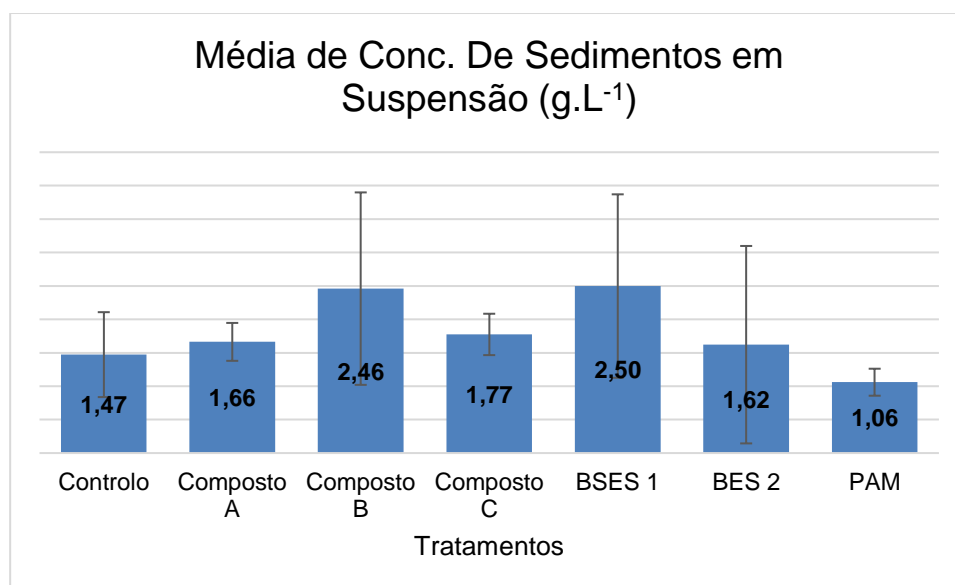


Figura 19 - Média da Concentração de Sedimentos em Suspensão

O desvio padrão médio encontrado foi de  $0,82 \text{ g.L}^{-1}$ , sendo o maior desvio verificado no tratamento BES 2 e o menor no condicionador sintético (PAM). Entre os resultados dos tratamentos notou-se elevada dispersão dos valores nos condicionadores orgânicos à base

do Composto B, BSES 1 e BES 2, com CV superiores a 50%. Os tratamentos com o Composto A, Composto C e PAM, mostram CV abaixo de 20% (Tabela 18). As respostas erosivas dos tratamentos orgânicos foram negativas, em relação ao controle, sendo observada a melhor performance no tratamento BES 2, com 10% abaixo do controle, enquanto o tratamento com a mais baixa performance foi o BSES 1 com 69,69% abaixo do controle.

Tabela 18 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Concentração de Sedimentos em Suspensão

Tratamento	Média de CSs (g.L <sup>-1</sup> )	DP de CSs (g.L <sup>-1</sup> )	CV (%)	Performance (%)
Controlo	1,47	0,64	43,14	0,00
Composto A	1,66	,28	17,04	-12,97
Composto B	2,46	1,44	58,52	-67,06
Composto C	1,77	0,31	17,44	-20,52
BSES 1	2,50	1,37	54,92	-69,69
BES 2	1,62	1,48	91,09	-10,10
PAM	1,06	0,20	19,04	28,02

Na Simulação 2 (presente) comparativamente à Simulação 1 (efetuada há 6 meses), ocorreu diminuição dos sedimentos em suspensão nos tratamentos com os condicionadores de Composto A, Composto B e BES 2, diminuindo 29,22%, 8,22% e 34,63%, respetivamente. Enquanto é visto aumento da concentração de sedimentos nos tratamentos a base do Composto C e de BSES 2, sendo respetivamente de 13,75% e de 0,34% (Figura 20).

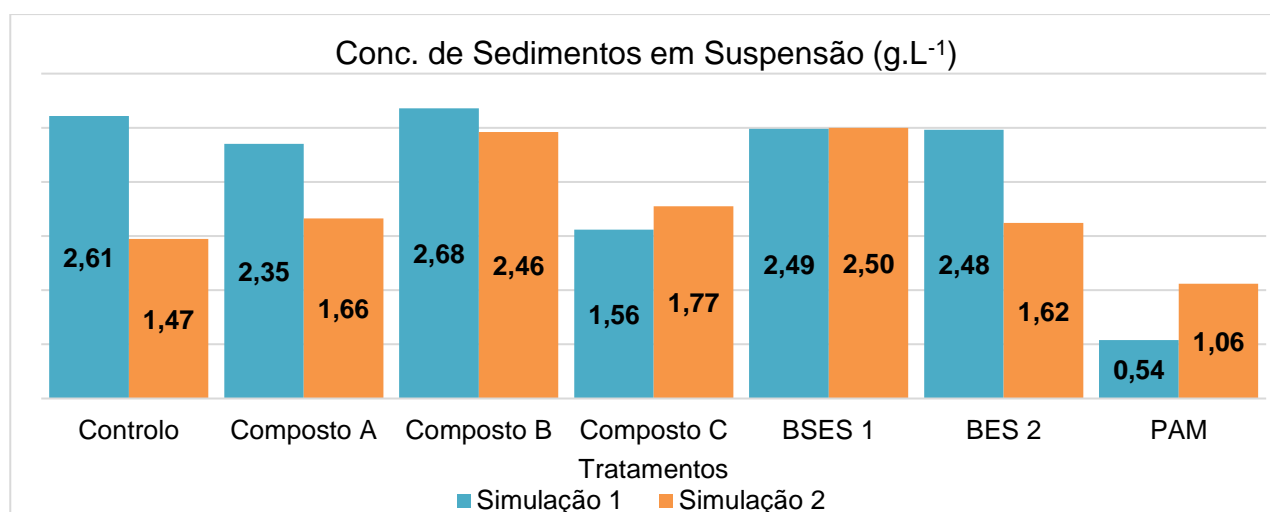


Figura 20 - Comparação das médias de Concentração de Sedimentos em Suspensão entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Assim, como ocorrido para a CSg, a quantidade dos sedimentos em suspensão pode ter sido influenciada pelos componentes orgânicos dos tratamentos. Influenciando os resultados das análises dos corretivos orgânicos do Composto C e do BSES 1, que na Simulação 2 os resultados mostraram-se superiores à Simulação 1. Contudo, as análises do corretivo sintético (PAM) são equivalentes aos resultados encontrado por Alves (2017), já que foi verificado uma diminuição da eficiência do sintético em uma segunda chuvada, porém ainda com resultados abaixo do solo controle.

#### 4.2.8 Erodibilidade

A média global encontrada entre os resultados dos condicionadores é de  $2,51 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ . Sendo o maior resultado encontrado no solo Controle e o menor resultado encontrado na PAM. Entre os tratamentos orgânicos, o maior resultado é visto no Composto A ( $2,98 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ), enquanto o menor é encontrado no BES 2 ( $2,35 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ) (Figura 21).

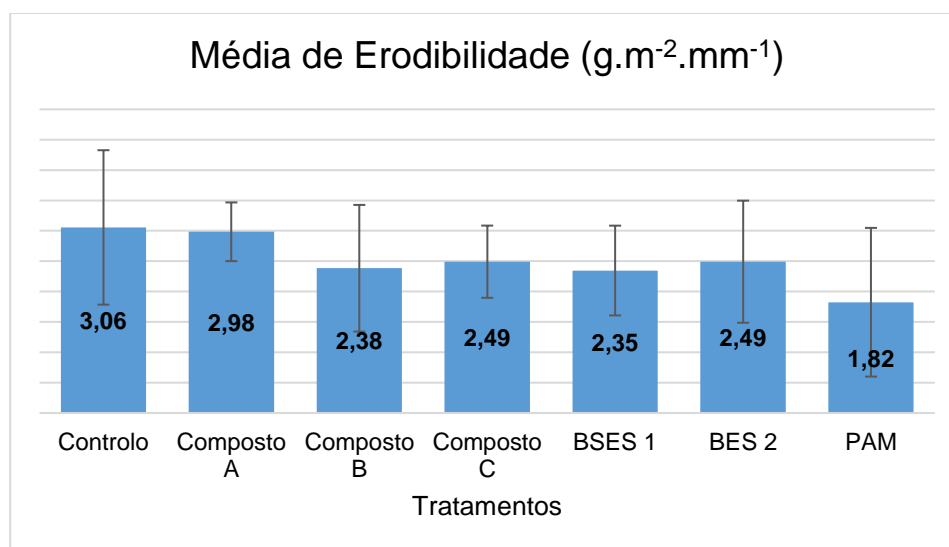


Figura 21 - Média de Erodibilidade

O desvio padrão médio para estes tratamentos é de  $0,91 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ . O maior desvio é de  $1,27 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$  no tratamento Controle e o menor é de  $0,48 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$  no tratamento com Composto A. Entre os resultados, com exceção do Composto A e do Composto C, é

visto que os tratamentos obtiveram coeficiente de variação superior a 30%, indicando que os dados são bastante heterogêneos.

O tratamento com melhor performance foi o condicionador sintético (PAM), com performance 40,30% superior à do Controlo. Entre os tratamentos orgânicos, o BSES 1 foi o que mostrou melhor resultado, seguido pelo Composto B (23,23% e 21,99%, respetivamente) (Tabela 19).

Tabela 19 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Erodibilidade

Tratamento	Média de Erodibilidade (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	DP de Erodibilidade (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	CV (%)	Performance (%)
Controlo	3,06	1,27	41,60	0,00
Composto A	2,98	0,48	16,19	2,34
Composto B	2,38	1,04	43,74	21,99
Composto C	2,49	0,59	23,86	18,46
BSES 1	2,35	0,74	31,50	23,23
BES 2	2,49	1,01	40,35	18,46
PAM	1,82	1,22	67,10	40,30

Os resultados encontrados para a Erodibilidade na Simulação 2 (presente) foram menores que os dados encontrados na Simulação 1 (efetuada há 6 meses), exceto no tratamento com o condicionador sintético (PAM). Na Figura 22 pode-se notar que os tratamentos com BSES 1 e BES 2 obtiveram uma redução acima de 60% em relação à Simulação 1. Já o tratamento com a PAM, mesmo sendo o que alcançou melhor performance, foi o único condicionador a perder efetividade, o que acabou provocando aumento da erodibilidade em 52%.

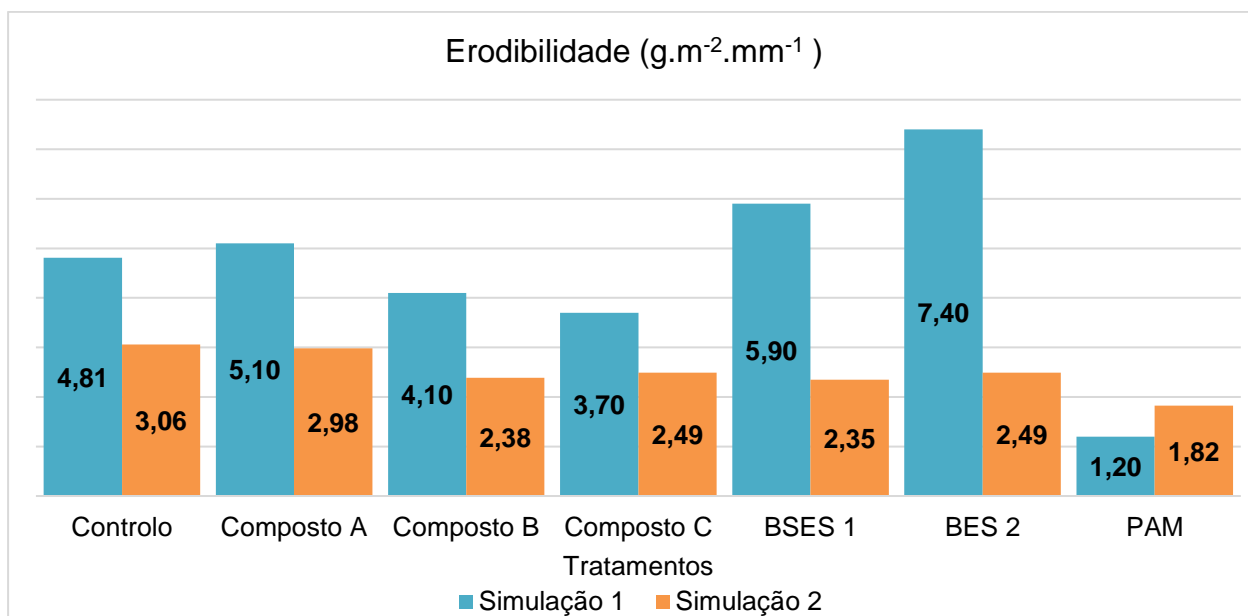


Figura 22 - Comparação das médias de Erodibilidade entre as Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Devido à Erodibilidade estar diretamente relacionada à perda de solo, as partículas liberadas pelos tratamentos orgânicos estão diretamente relacionadas aos resultados, provocando a sensação de homogeneidade dos dados. Porém, como visto por Morais (2018), os tratamentos podem provocar o aumento dos valores devido à percentagem de material orgânico, numa primeira simulação, e em uma segunda simulação ocorrer o decréscimo dos resultados (Royer, 2018).

#### 4.2.9 Destacabilidade

Analisando os dados, foi possível obter os resultados da Destacabilidade. O maior valor foi encontrado no tratamento Controlo e o menor no tratamento com o condicionador orgânico BSES 1. Já a média geral encontrada foi de  $6,63 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$  (Figura 23).

Em relação ao desvio padrão, a média encontrada para os tratamentos foi de  $1,48 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ . O maior desvio observa-se no solo com BSES 1, com o valor de  $2,31 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ , e o menor no tratamento realizado com o BES 2, com o valor de  $0,76 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ .

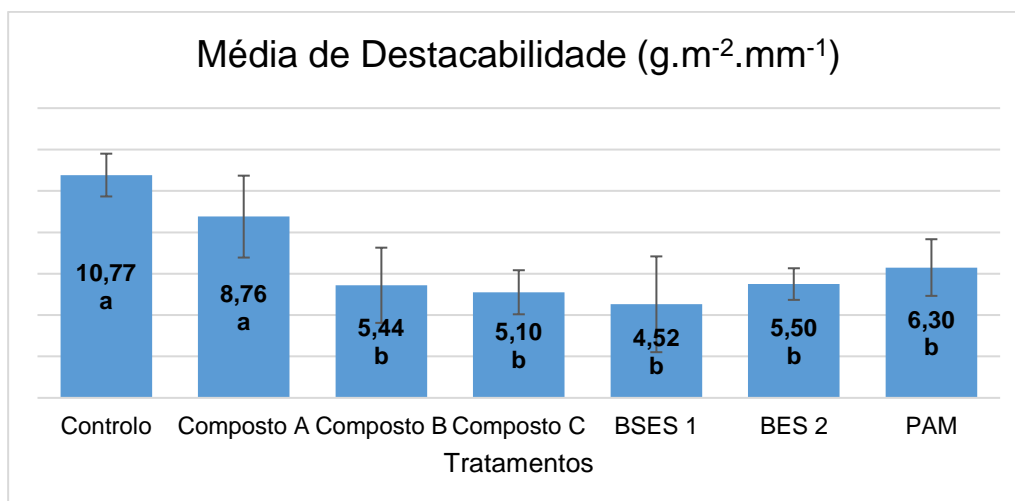


Figura 23 - Média de Destacabilidade

No que diz respeito à performance dos tratamentos em relação ao Controlo, é possível notar que os tratamentos com o Composto C e com o BSES 1 apresentam uma eficiência acima de 50%, enquanto os que possuem o Composto B, o BES 2 e o tratamento sintético (PAM) mostram performance entre 40-50%. Já o tratamento com o Composto A possui performance de aproximadamente 19% (Tabela 20).

Tabela 20 - Média, desvio-padrão, CV e performance para a Destacabilidade

Treatmento	Média de Destacabilidade (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	DP de Destacabilidade (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	CV (%)	Performance (%)
Controlo	10,77	1,03	9,60	0,00
Composto A	8,76	1,98	22,60	18,64
Composto B	5,44	1,82	33,40	49,46
Composto C	5,10	1,06	20,86	52,60
BSES 1	4,52	2,31	51,17	57,99
BES 2	5,50	0,76	13,89	48,92
PAM	6,30	1,37	21,74	41,50

Comparando a Simulação 1 (efetuada há 6 meses) com a Simulação 2 (presente), é notado um decréscimo significativo nos tratamentos orgânicos, sendo mais expressivo no BSES 1 e BES 2, acima de 70%. Enquanto nos tratamentos com Composto A, Composto B e Composto C ocorreram, respetivamente, decréscimos de 38,75%, 55,77% e 64,06%. Em contrapartida, o condicionador sintético (PAM) aumentou 162% a sua destacabilidade (Figura 24).

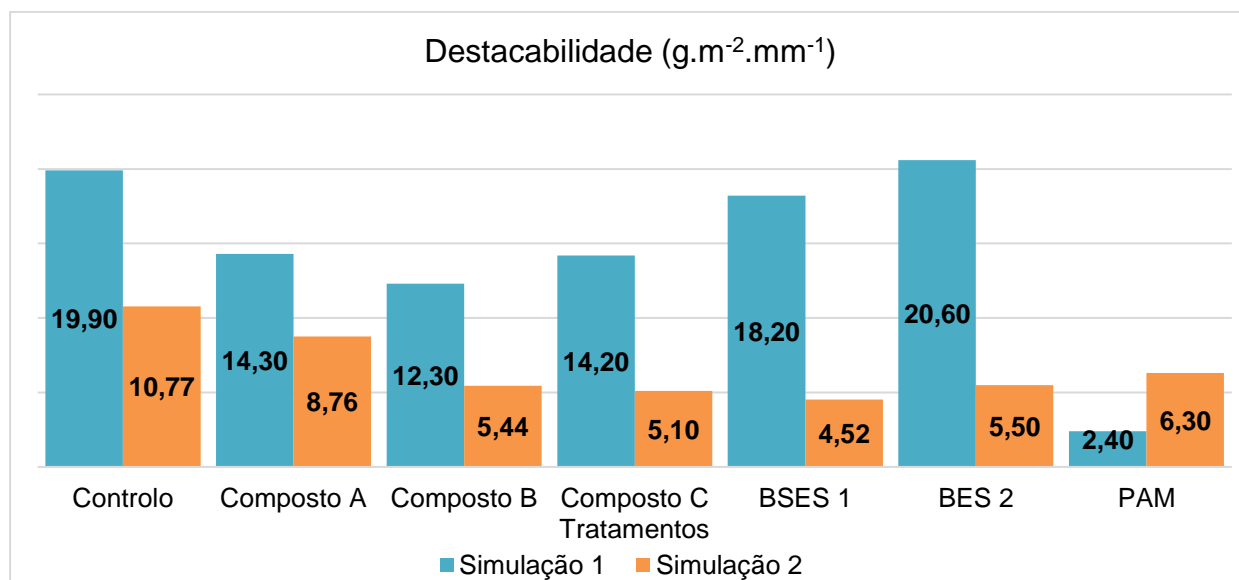


Figura 24 - Comparação das médias de Destacabilidade entre a Simulação 1 (efetuada há 6 meses) e Simulação 2 (presente)

Na Simulação 2, nota-se uma redução da destacabilidade, situação também observada por Royer (2018), quando comparou os seus resultados com os de Morais (2018), propondo como um dos motivos para esse decréscimo o esgotamento dos materiais destacáveis.

#### 4.2.10 Erodibilidade x Destacabilidade

Com os resultados de quanto o solo sofre com o desprendimento e quanto dele é arrastado no escoamento, é possível realizar a análise de relação entre as duas variáveis, verificando assim que quantidade de solo destacado é carregada pela água de escoamento.

A Figura 25 mostra os tratamentos com melhores performances na redução dos efeitos causadores da erosão hídrica. É possível verificar que os três tratamentos com maior eficiência em relação à destacabilidade são o BSES 1, seguido do Composto C e por fim o Composto B. Contudo, em relação à Erodibilidade, nota-se diferença já que os tratamentos orgânicos que possuem melhores performances são o BSES 1, depois o Composto B e por fim o Composto C com mesmo resultado que o BES 2. Também se nota um alto desempenho do corretivo sintético (PAM), tanto em relação à destacabilidade, quanto à erodibilidade.

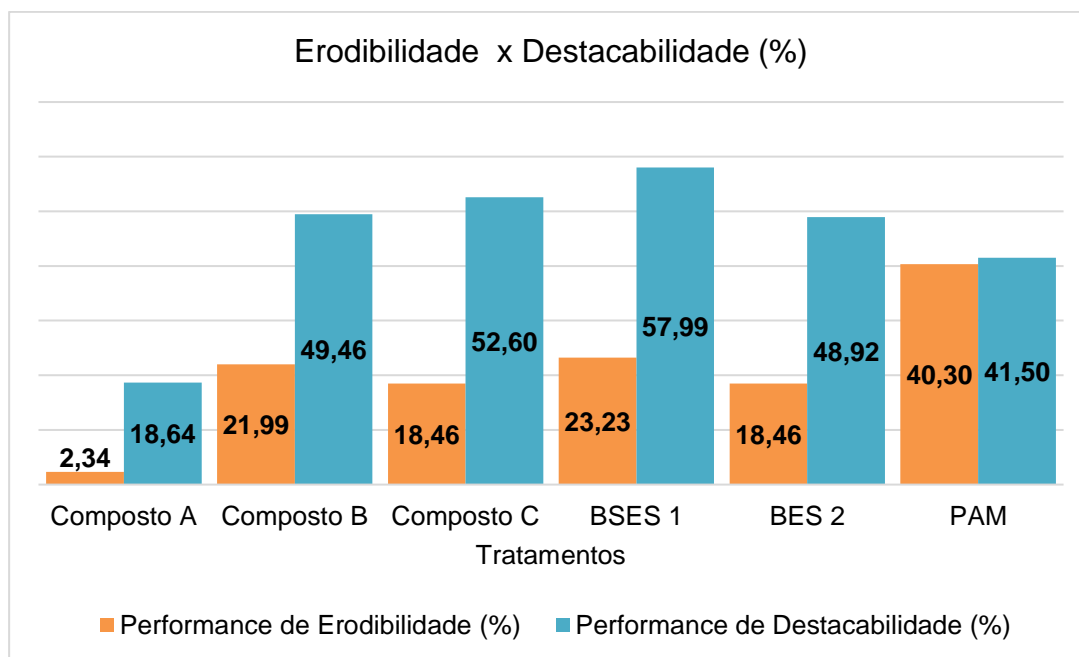


Figura 25 - Relação de performance entre Erodibilidade e Destacabilidade

Comparados estes resultados (Simulação 2) aos obtidos na Simulação 1 (efetuada há 6 meses), é notável a melhoria dos tratamentos orgânicos, com maior destaque para o BES que antes possuía uma performance negativa tanto para Erodibilidade, como para a Destacabilidade (Figura 26), melhorando em 72,46% e 52,92%, respetivamente. Porém, o mesmo não ocorre com a PAM, que tem suas performances reduzidas para 34,7% e 46,5%.

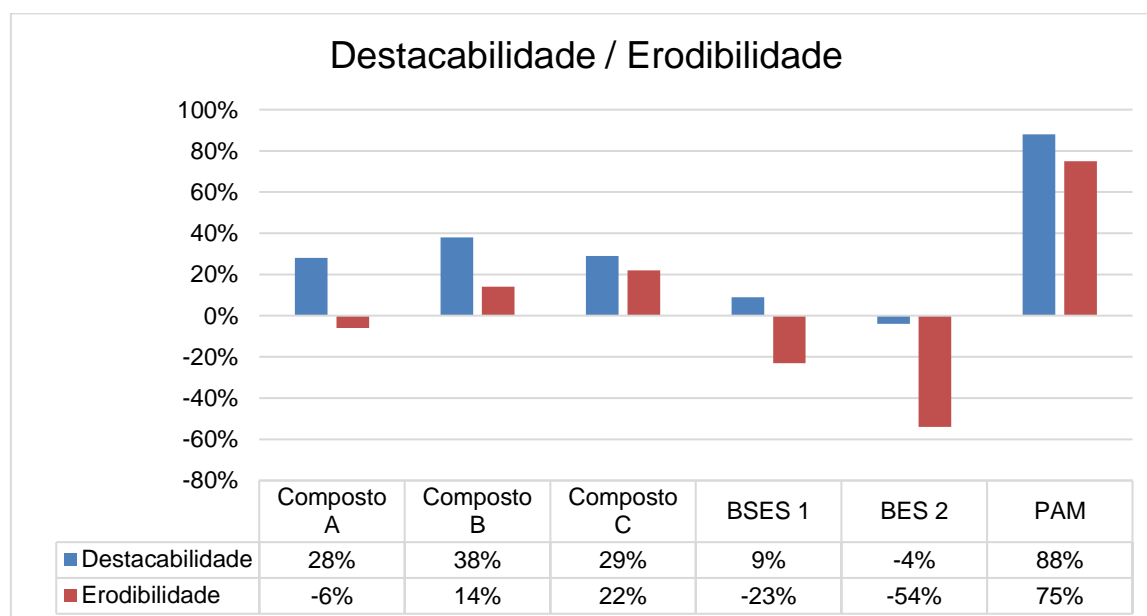


Figura 26 - Relação entre destacabilidade e erodibilidade do solo entre os tratamentos quando comparados com o solo exposto

Fonte: Adaptado de Pereira (2022)

Com isso nota-se que os tratamentos orgânicos melhoraram a qualidade do solo a médio prazo, auxiliando na diminuição da destacabilidade do solo e conseqüentemente em sua erodibilidade.

## 5. CONCLUSÃO

Tendo em vista a economia circular para a produção de azeite em Portugal, é possível utilizar o bagaço de azeitona na conservação do solo ao utilizá-lo como um corretivo orgânico, como mostrado com a performance do Bagaço Extratado Seco (BES 2) e o Composto B que foram utilizados como condicionadores orgânicos. Ambos mostram alta performance na redução das taxas de destacabilidade e erodibilidade, mostrando-se eficientes mesmo a médio prazo.

O Composto B, BSES 1 e BES 2 mostraram-se eficazes quanto aos parâmetros Escoamento, Perda de Solo, Salpico, Coeficiente de Escoamento, Erodibilidade e Destacabilidade. E quando analisados a médio prazo, os mesmos tratamentos, mostraram melhores resultados que no período inicial da sua aplicação (Simulação 1).

A médio prazo, nota-se a perda da performance da PAM, notado devido que em seus resultados de Perda de Solo, Salpico, Concentração de Sedimentos Globais e em Suspensão, Erodibilidade e Destacabilidade mostraram-se maiores de na primeira chuvada. E mesmo que após 6 meses os resultados sejam inferiores, a longo prazo a PAM pode acabar perdendo a performance, aumentando a erosão.

As análises efetuadas mostram que a médio prazo, os tratamentos que obtiveram melhores resultados foram os bagaços BSES 1 e BES 2. Porém, futuramente pode-se realizar outras pesquisas para os mesmos solos, como a análise da estabilidade dos agregados e o teste de respiração do solo para verificar a atividade microbológica do solo.

## REFERÊNCIAS

- Afonso, N., & Arrobas, M. (2009). Contribuição para a elaboração da carta de solos da cidade de bragança. In *Qualidade do ambiente urbano: Novos desafios* (pp. 136–142). Instituto Politécnico de Bragança.
- Agroconsultores & Coba. (1991). Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta da Terra do Nordeste de Portugal. In *PDRITM*, Ed. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Aksoy, H., Unal, N. E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., Inci, S. B., & Eris, E. (2012). A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *CATENA*, 98, 63–72. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2012.06.009>
- Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S., & Blöschl, G. (2018). Does soil compaction increase floods? A review. *Journal of Hydrology*, 557, 631–642. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.12.052>
- Alçada, A. J. (2020). NOTA TÉCNICA Conservação de condutas. Medidas a adotar em situações de erosão hídrica. *Águas e Resíduos*, (8), 55–62. <https://doi.org/10.22181/aer.2020.0805>
- Alcazar-Ruiz, A., Garcia-Carpintero, R., Dorado, F., & Sanchez- Silva, L. (2021). Valorization of olive oil industry subproducts: ash and olive pomace fast pyrolysis. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 37–45. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2020.10.011>
- Alves, A. L. F. (2017). Efeitos de condicionadores do solo na erosão hídrica em áreas aridas no Nordeste de Portugal. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/18635>
- Amézketa, E. (2008). Soil Aggregate Stability: A Review. [Http://Dx.Doi.Org/10.1300/J064v14n02\\_08](Http://Dx.Doi.Org/10.1300/J064v14n02_08), 14(2–3), 83–151. [https://doi.org/10.1300/J064V14N02\\_08](https://doi.org/10.1300/J064V14N02_08)
- Anache, J. A. A., Flanagan, D. C., Srivastava, A., & Wendland, E. C. (2018). Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. *Science of The Total Environment*, 622–623, 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.11.257>
- André, J. E., & Anderson, H. W. (1961). Variation of soil erodibility with geology, geographic zone, elevation, and vegetation type in northern California wildlands. *Journal of Geophysical Research*, 66(10), 3351–3358. <https://doi.org/10.1029/JZ066I010P03351>
- Ao, C., Yang, P., Ren, S., & Xing, W. (2018). Mathematical model of ammonium nitrogen transport with overland flow on a slope after polyacrylamide application. *Scientific Reports* 2018 8:1, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24819-9>
- Assmann, G., Backer, G., Betteridge, J., Crepaldi, G., Fernandez-Cruz, A., Gostfredsen, J., Jacotot, B., Paoletti, R., Renaud, S., Ricci, G., Rocha, E., Trautwein, E., Urbinati, G., Varela, G., & Williams, C. (1997). Declaração de consenso internacional sobre o azeite e

- a dieta mediterrânea: implicações para a saúde na Europa. *Revista Europeia de Prevenção Do Câncer*. <https://www.jstor.org/stable/45074338>
- Baldwin, M., Kellogg, C. E., & Thorp, J. (1938). *Soil classification*. Bobbs-Merrill
- Bednář, M., & Šarapatka, B. (2018). Relações entre fatores físico-geográficos e degradação do solo em terras agrícolas. *Environmental Research*, 164, 660-668.
- Bertoni, J.; Lombardi-Neto, F. (1985). *Conservação do solo*. 4. Piracicaba, Brasil: Cone
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Boardman, J. (2006). Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, 68(2-3), 73–86. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.03.007>
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalén, E., Albaladejo, J., & Castillo, V. (2007). Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(1), 85–101. <https://doi.org/10.1002/ESP.1382>
- Bouranis, D. L., Theodoropoulos, A. G., & Drossopoulos, J. B. (1995). Designing synthetic polymers as soil conditioners. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26(9–10), 1455–1480. <https://doi.org/10.1080/00103629509369384>
- Cappelli, A., Menditto, N., & Cini, E. (2021). Innovative Olive Tree Leaves Shredder Prototype for the Valorization of Wasted Leaves: An Application to High-Quality Compost Production. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 9421, 13(16), 9421. <https://doi.org/10.3390/SU13169421>
- Caron, V. C., Graças, J. P., & Castro, P. R. de C. e. (2015). Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos. *Produtor Rural*, 58, 5–36.
- Cerdà, A. (2011). The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. <https://doi.org/10.4141/S97-060>, 78(2), 321–330. <https://doi.org/10.4141/S97-060>
- Chappell, A., Webb, N. P., Leys, J. F., Waters, C. M., Orgill, S., & Eyres, M. J. (2019). Minimising soil organic carbon erosion by wind is critical for land degradation neutrality. *Environmental Science & Policy*, 93, 43–52. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2018.12.020>
- Chow, V. T., & Harbaugh, T. E. (1965). Raindrop production for laboratory watershed experimentation. *Journal of Geophysical Research*, 70(24), 6111–6119. <https://doi.org/10.1029/JZ070I024P06111>
- COM. (2006). EUR-Lex - 52006PC0232 - PT. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52006PC0232&from=GA>

- Couto Junior, A. A., Conceição, F. T., Fernandes, A. M., Cunha, C., & Junior, E. P. S. (2016). GEOQUÍMICA FLUVIAL APLICADA À AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE INTEMPERISMO QUÍMICO E REMOÇÃO DE SOLO DA FORMAÇÃO RIO CLARO. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 17(3). <https://doi.org/10.20502/RBG.V17I3.1006>
- Dunne, T., Dietrich, W. E., & Brunengo, M. J. (1980). Simple, portable equipment for erosion experiments under artificial rainfall. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25(2), 161–168. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(80\)90057-8](https://doi.org/10.1016/0021-8634(80)90057-8)
- Eisenberg, J., & Muvundja, F. A. (2020). Quantification of erosion in selected catchment areas of the ruzizi river (DRC) using the (R)USLE model. *Land*, 9(4), 125. <https://doi.org/10.3390/land9040125>
- Fachin, P. A., Pereira, A. A., & Thomaz, E. L. (2019). Erosão por salpico: Padrões de chuva e produção de sedimentos em latossolo bruno. *ACTA Geográfica*, 13(32), 59–75. <https://doi.org/10.5654/acta.v13i32.4991>
- FAO and ITPS. (2015). Status of the World 's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Figueiredo, T., Almeida, A., & Araújo, J. (2002). Edaphic characteristics of olive-tree areas in the trás-os-montes region (portugal): A map-based approach. *Acta Horticulturae*, (586), 151–154. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2002.586.24>
- Figueiredo, T. d. F. R. d. (2013). Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Instituto Politécnico de Bragança.
- Figueiredo, T. de, Evelpidou, N., Merino, A., & Centeri, C. (2013). Runoff erosion in Portugal: a broad overview. In *Runoff Erosion* (pp. 345–363). University of Athens. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/11210>
- Ghosal, K., & Das Bhattacharya, S. (2020). A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0>
- Giner-Santonja, G., Karlis, P., Stubdrup, K. R., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). Best available techniques (BAT) reference document for the food, drink and milk industries (Industrial Emissions Directive 2010/75/EU). European Union. <https://doi.org/10.2760/243911>
- Gregorich, E. G., Greer, K. J., Anderson, D. W., & Liang, B. C. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 47(3–4), 291–302. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00117-2)
- Grismer, M. (2012). Standards vary in studies using rainfall simulators to evaluate erosion. *California Agriculture*, 66(3), 102–107. <https://doi.org/10.3733/CA.V066N03P102>
- Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. C. O., & Alexandre, S. T. (2014). Erosão e conservação de solos no brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 37\_1(1), 81–91. [https://doi.org/10.11137/2014\\_1\\_81\\_91](https://doi.org/10.11137/2014_1_81_91)

- Gwapedza, D., Hughes, D. A., & Slaughter, A. R. (2018). Spatial scale dependency issues in the application of the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). *Hydrological Sciences Journal*, 63(13-14), 1890–1900. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1546388>
- Hartemink, A. E. (2016). The definition of soil since the early 1800s. A. E. Hartemink (ed.) *Advances in Agronomy* (pp. 74-116). Wisconsin: University of Wisconsin-Madison
- Hernandez, Z. H., Figueiredo, D., Royer, A. C., Fonseca, F., Almendros, G., & Figueiredo, T. de. (2022). Qualidade da matéria orgânica e perda de fitotoxicidade em estágios progressivos da compostagem de bagaço de azeitona. IX Congresso Ibérico Das Ciências Do Solo (CICS 2022), 138–141. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/25629>
- Instituto Nacional de Estatística (INE). Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt). Acedido a 28 de Fevereiro de 2022
- IPMA. (2022). <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true>
- Kirkels, F. M. S. A., Cammeraat, L. H., & Kuhn, N. J. (2014). The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes — A review of different concepts. *Geomorphology*, 226, 94–105. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.07.023>
- Kirkels, F. M. S. A., Cammeraat, L. H., & Kuhn, N. J. (2014). The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes — A review of different concepts. *Geomorphology*, 226, 94–105. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.07.023>
- Kulicke, W. M., Kniewske, R., & Klein, J. (1982). Preparation, characterization, solution properties and rheological behaviour of polyacrylamide. *Progress in Polymer Science*, 8(4), 373–468. [https://doi.org/10.1016/0079-6700\(82\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0079-6700(82)90004-1)
- Lal, R. (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 60(2), 158–169. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2389.2008.01114.X>
- Lal, R., Blum, W. E. H., Valentin, C., & Stewart, B. A. (2020). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, 2020.
- Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L., & Morgan, G. (2004a). Response to Comments on “Managing Soil Carbon.” *Science*, 305(5690), 1567–1567. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1101271>
- Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L., & Morgan, M. G. (2004b). Managing Soil Carbon. *Science*, 304 (5669), 393. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1093079/ASSET/7E1EBAE6-925E-43E7-B928-9ADAA812BC0B/ASSETS/SCIENCE.1093079.FP.PNG>
- Lima, V. C., & LIMA, M. R. (2007). Formação do solo. LIMA, CV et al. O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio (pp: 1-10) . Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola.
- Marques, M.A., & Mora, E. (1998). Efeitos na erosão de duas práticas de manejo pós-fogo:

- corte raso versus não intervenção. *Soil and Tillage Research*, 45 (3-4), 433-439.
- Martínez-Murillo, J. F., Nadal-Romero, E., Regúés, D., Cerdà, A., & Poesen, J. (2013). Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: A review. *CATENA*, 106, 101–112. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2012.06.001>
- Matos, M. R.; Silva, M. H. da., 1986 – Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial: Curvas de Intensidade-Duração-Frequência da precipitação em Portugal. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Mhaske, S. N., Pathak, K., & Basak, A. (2019). A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *CATENA*, 172, 408–420. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.08.039>
- Morais, L. A. de. (2018). Eficácia de condicionadores do solo para a redução da sua erodibilidade no Nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/22414>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion* (3a ed.). Blackwell. (Obra original publicada em 1986)
- Nearing, M. A., Xie, Y., Liu, B., & Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.001>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (2015). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. 539–579. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR9.2.2ED.C29>
- Oliveira, F. N. S., Lima, H. J. M., & Cajazeira, J. P. (2004). *Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicas* (Vol. 89). EMBRAPA.
- Pereira, A. D. R. (2022). Efeito de condicionadores do solo à base de resíduos olivícolas no controle de processos de degradação do solo [Master Thesis]. Instituto Politécnico de Bragança.
- Pereira, M. G.; Anjos, L. H. C. dos; Pinheiro Junior, C. R.; Pinto, L. A. da S. R.; Silva Neto, E. C. da; Fontana, A. (2019). Formação e caracterização de solos. In: L. TULLIO. (Org.). *Formação, classificação e cartografia dos solos* (pp. 1-20). Ponta Grossa: Atena Editora.
- Phinzi, K., & Ngetar, N. S. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 27-46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- Peterson, J. R., Flanagan, D. C., & Tishmack, J. K. (2002). POLYACRYLAMIDE AND GYPSIFEROUS MATERIAL EFFECTS ON RUNOFF AND EROSION UNDER SIMULATED RAINFALL. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1011-. <https://doi.org/10.13031/2013.9912>
- Picoloto, J., JC, R., & Rech, A. (2021). Dimensão de uma unidade de compostagem para tratamento de dejetos suínos . Embrapa Suínos e.

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1133058/1/final96971.pdf>

- Ramos, M. A. B. (2008). Matos do Parque Natural de Montesinho: erosão hídrica e dinâmica do carbono: um estudo à micro-escala com simulação de chuva. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/1051>
- Reis, P. (2014). O Olival em Portugal - Dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural. ANIMAR. <https://www.animar-dl.pt/recursos/o-olival-em-portugal-dinamicas-tecnologias-e-relacao-com-o-desenvolvimento-rural/>
- Richter, G., Negendank, J. F. W. (1977) Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Processes*. 2 (2-3) 261-278, doi: 10.1002/esp.3290020217
- Rodrigues, A. da S., Souza, C. R. de, Galhardo, C. X., & Silva, P. T. de S. e. (2022). A representatividade da compostagem na destinação dos resíduos orgânicos no Brasil e nordeste brasileiro. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 18(53), 167–179. <https://doi.org/10.3895/RTS.V18N53.15479>
- Royer, A. C. (2018). Caracterização e efeitos dos períodos de seca e da aridez na suscetibilidade do solo à erosão hídrica no nordeste de Portugal. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/19513>
- Sadeghi, S. H., Kiani-Harchegani, M., Hazbavi, Z., Sadeghi, P., Angulo-Jaramillo, R., Lassabatere, L., & Younesi, H. (2020). Field measurement of effects of individual and combined application of biochar and polyacrylamide on erosion variables in loess and marl soils. *Science of The Total Environment*, 728, 138866. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138866>
- Şahin, S., & Bilgin, M. (2018). Olive tree (*Olea europaea* L.) leaf as a waste by-product of table olive and olive oil industry: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1271–1279. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8619>
- Saljnikov, E., Mirschel, W., Prasuhn, V., Keller, T., Blum, W. E. H., Chumbaev, A. S., Zhang, J., Abuduwaili, J., Eulenstein, F., Lavrishchev, A., Schindler, U., & Mueller, L. (2022). Types of Physical Soil Degradation and Implications for Their Prevention and Monitoring. 43–73. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85682-3_2)
- Sampaio, E. (2011). Formação do Solo - Processos de Meteorização.
- Santonja, G. G.; Karlis, P.; Stubdrup, K. R.; Brinkmann, T.; Roudier, S. (2019) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries; EUR 29978 EN; doi:10.2760/243911.
- Santos, R. V. dos, Fonseca, F., Royer, A. C., Hernandez Hernandez, Z., Baptista, P., & Figueiredo, T. de. (2022). Características edáficas das áreas de olival do nordeste de Portugal: abordagem baseada em cartografia de solos e ocupação do solo. IX Congresso Ibérico Das Ciências Do Solo (CICS 2022), 36–39. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/25624>

- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T. ; Anjos, L. H. C. ; Oliveira, V. Á. ; Oliveira, J. B. ; Coelho, M. R. ; Lumbrreras, J. F. ; & Cunha, T. J. F. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2013. 353 p. Rio de Janeiro: Embrapa Solos-SPI, 353.
- Santos, G. G., Griebeler, N. P., & Oliveira, L. F. C. d. (2010). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(2), 115–123. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000200001>
- Sarker, T. C., Incerti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S., & Bonanomi, G. (2018). Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: Insight from <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 175–184. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2017.11.011>
- Sikora, L. J., & Stott, D. E. (2015). Soil organic carbon and nitrogen. *Methods for Assessing Soil Quality*, 157–167. <https://doi.org/10.2136/SSASPEC PUB49.C9>
- Silva, I. P. da, Lima, R. M. A., Ruzene, D. S., & Silva, D. P. da. (2019). Resíduos agroindustriais como biomassa alternativa para geração de energia distribuída em comunidades rurais. *Energias Alternativas: Novas Tecnologias Para o Nordeste Brasileiro*. <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12607/2/EnergiasAlternativas-Cap9.pdf>
- Silva, F. B. V., Nascimento, C. W. A., Alvarez, A. M., & Araújo, P. R. M. (2019). Inputs of rare earth elements in Brazilian agricultural soils via P-containing fertilizers and soil correctives. *Journal of Environmental Management*, 232, 90–96. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.11.031>
- Silva, J. V. F., & Ferreira, V. d. O. (2022). Suscetibilidade à erosão laminar na bacia hidrográfica do ribeirão douradinho, no triângulo mineiro. *Caderno de Geografia*, 32(67), 01–21. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2022v32n.67p.1>
- Simonson, R. W. (1959). Outline of a generalized Theory of Soil genesis. *Soil Science Society of America Journal*, 23(2), 152–156.
- Sojka, R. E., Orts, W. J., & Entry, J. A. (2004). *Soil physics and hydrology: conditioners*. Elsevier, 301–306.
- Souza, A. R. d., Dupas, F. A., Drummond, I. N., & Costa, C. W. (2019). Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: É possível usara USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? *Revista Geociências*, 38(4), 1105–1119.
- Vargas, J. P. R., dos Santos, D. R., Bastos, M. C., Schaefer, G., & Parisi, P. B. (2019). Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. *Soil and Tillage Research*, 185, 47–60. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2018.08.014>
- Wischmeier, W. H.; Mannering, J. V. (1969). Relation of Soil Properties to its Erodibility. *Soil Science Society of America Journal*, 33(1), 131–137. doi:10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x

Xiong, B., Loss, R. D., Shields, D., Pawlik, T., Hochreiter, R., Zydney, A. L., & Kumar, M. (2018a). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *Npj Clean Water* 2018 1:1, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0016-8>

Xiong, B., Loss, R. D., Shields, D., Pawlik, T., Hochreiter, R., Zydney, A. L., & Kumar, M. (2018b). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *Npj Clean Water* 2018 1:1, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0016-8>

Yang, K., Tang, Z., & Feng, J. (2020). Effect of Co-Use of Fly Ash and Granular Polyacrylamide on Infiltration, Runoff, and Sediment Yield from Sandy Soil under Simulated Rainfall. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 344, 10(3), 344. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030344>

Zhang, X., Li, Z., Nie, X., Huang, M., Wang, D., Xiao, H., Liu, C., Peng, H., Jiang, J., & Zeng, G. (2019). The role of dissolved organic matter in soil organic carbon stability under water erosion. *Ecological Indicators*, 102, 724–733. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.03.038>