

**Efeito de condicionadores do solo à base de resíduos olivícolas no
controle de processos de degradação do solo**

Agnes Dias Resende Pereira

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental

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

**Bragança
2022**

Agnes Dias Resende Pereira

Efeito de condicionadores do solo à base de resíduos olivícolas no controle de processos de degradação do solo

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental

Bragança
2022

Dedico esse trabalho as duas pessoas que nunca mediram esforços por mim, que mesmo longe sempre estavam presentes em minha vida, meus pais, Maria e Pereira, vocês são tudo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha família, antes de tudo, que desde o meu primeiro dia em Portugal sempre me apoiou e se dedicou tanto para que eu pudesse com muita garra chegar até aqui e concluir essa etapa tão importante na minha vida. Pai, mãe e irmã, eu não tenho palavras para tamanha gratidão!

À minha mãe Maria, meu doce, que acalma e acalmou meu coração, por tantas vezes durante dias e noites muito desgastantes. Você é minha inspiração e meu maior exemplo de perseverança em todos os aspectos da vida. Você é meu coração inteiro, mãe! Ao meu pai Pereira, meu maior amor do mundo, eu te agradeço incontáveis vezes, mas eu sei que não consigo mensurar em sentimento e palavras de gratidão por todo apoio e estímulo durante essa caminhada, sem você eu não estava aqui, agora. Pai, você é o que eu tento, todos os dias, ser um bocadinho, honestidade e humildade sempre em primeiro lugar, obrigada por ser exemplo destes dois princípios todos os dias da minha vida! Obrigada pelas vossas incansáveis orações, e também por me mostrar que a fé não se cria, se constrói, e nem sempre vai ser fácil, mas que no final é gratificante, eu amo vocês eternamente!

A minha irmã, minha alma gêmea, agradeço todos os dias por eu ter vindo nessa vida como sua irmã, eu não sei como agradecer por todas as incontáveis vezes que me ajudou (em literalmente tu-do!), me ouviu, me apoiou, e esteve do meu lado, seja para me impulsionar ou para me sacudir e me contar que “ser adulto” dói, mas é glorificante também! Por você eu tenho o sentimento mais puro e genuíno! Te amo demais! Ao Luquinhas, agradeço de todo coração, por tudo também, mas principalmente por toda ajuda e paciência!

Agradeço aos meus avós, todos, em especial, à vovó Hercília, meu anjinho da guarda no céu e à vovó Conceição, meu anjinho da guarda na Terra!

Agradeço aos meus tios, tias, primos e primas, e de todo meu coração à minha tia Terezinha, por também sempre torcer e rezar por mim! Sendo exemplo de tantas virtudes!

Ao Tico, meu companheiro da vida, de todos os dias se fez presente durante boa parte dessa caminhada mesmo estando longe fisicamente! E por fim, nessa última fase, tão exaustiva eu te agradeço, Tico, muito, sem conseguir mensurar meu amor por você, obrigada por tudo! Não foi fácil chegar até aqui, você sabe, mas você foi

essencial para que eu pudesse vencer essa etapa e eu escolheria mil vezes você para sempre! Obrigada por sempre fazer de tudo, do possível ao impossível por nós e pela caminhada que seguimos juntos!

Ao Professor Tomás, eu agradeço pela oportunidade e pela troca, por todo conhecimento adquirido durante todos estes meses de muito trabalho e perseverança. Obrigada querido, Professor!

Ao CIMO (Centro de Investigação da Montanha), meu agradecimento especial pela disponibilidade, profissionalismo e companheirismo de toda equipa, e oportunidade em contribuir de alguma forma para esse projeto de tamanha excelência!

Aos meus amigos, em especial, à amizade mais antiga e presente que eu tenho mesmo com um oceano de distância, Nega, Lia, Bruna e Patty, obrigada por serem minha melhor lembrança de boas risadas, amor e irmandade!

Aos amigos que fiz aqui, sou grata à Jessiquinha, por vivermos tantas coisas juntas desde o nosso primeiro dia aqui em Portugal, obrigada por ter sido você e por toda a nossa sintonia e amor, à Nat, por toda conexão, compreensão e infinitas risadas, à Regina por sempre estar presente com muito amor, à Carol, por todo apoio e por acreditar tanto em mim.

Aos amigos que fiz no Mestrado, Melize Freire, Yago Cipoli, e Léo Morais, obrigada por todo apoio, eu sou grata por cada ajuda e ensinamento. Em especial à Ana Caroline Royer, que desde às idas à fazenda das azeitonas, sempre regadas à muito bagaço e aprendizado, eu te agradeço por cada palavra e cada ajuda, sem me esquecer de nenhuma se quer!

Agradeço a Deus, e à Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, pelo dom da vida, por me dar tranquilidade e permitir que eu traçasse meus caminhos até esse ponto.

Sou grata à tudo que chegou à mim até hoje e por tudo que virá, a soma de tudo e de todos, às forças da natureza e das escolhas, das oportunidades e do meio, dos astros, dos anjos e dos arcanjos.

Obrigada vida!

RESUMO

Os subprodutos das oliveiras estão arraigados na história portuguesa e na região transmontana, de forma que não é possível referir-se à um sem mencionar o outro. A cultura das oliveiras nas terras de Trás-os-Montes produz azeites de qualidade notável, e sua indústria é de suma importância para a região e para o país. Por ser uma região marcada pelo caráter semiárido mediterrânico, moldada por temperaturas rigorosas e pluviosidade baixa, características próprias de manejo do solo, dentre outros fatores, Trás-os-Montes apresenta hoje um dos cenários de maior risco quando o assunto é desertificação. Dados do INE/2011 apontam para uma tendência de ampliação das áreas suscetíveis à desertificação

nessa zona, e tal fator está intrinsecamente ligado ao modo de produção das culturas e técnicas de uso e manejo, preparo e manutenção do solo transmontano e erosão hídrica.

Ademais, aspetos relacionados ao uso dos subprodutos e resíduos dessa indústria merecem a devida atenção. O bagaço da azeitona se apresenta como um dos mais promissores subprodutos da fileira do azeite, tanto pelo seu potencial energético, quanto pela possibilidade de ser utilizado como um condicionador do solo. Neste contexto, o trabalho realizado teve como objetivo avaliar a erodibilidade e a destacabilidade do solo mais representado nos olivais transmontanos (Ilox – Leptossolo Dístrico Xístico de Rochas e Afins) a partir da realização de simulações de chuvas, com avaliação de salpico, perda de solo e escoamento, em tabuleiros de 310,5 cm², com 3 repetições (tratamento), utilizando três corretivos orgânicos à base de bagaço de azeitona advindos de pilhas de compostagem com concentração referente à 1,2 kg/m² e dois corretivos orgânicos à base de bagaço extratado advindos de indústria extratora de óleo de bagaço de azeitona com concentração de 1,2 kg/m², até, finalmente, em um cenário de menor vulnerabilidade, com o uso do polímero, a Poliacrilamida, PAM.

Totalizando, foram realizadas 7 simulações de chuva de 30 minutos de duração cada uma, onde os solos eram submetidos a uma inclinação constante de 15% e intensidade da chuva padronizada de 59,36 mm/h. Pode-se concluir a partir deste trabalho uma clara eficácia do condicionador sintético frente aos demais tratamentos. Observou-se, também, a importância da concentração de matéria orgânica em se

tratando da destacabilidade, uma vez que os solos tratados com o condicionador orgânico composto apresentaram valores de 31,63% inferiores quando comparados ao solo totalmente exposto com relação ao indicador destacabilidade. Em todos os casos que foram utilizados corretivos orgânicos, houve melhora nos parâmetros relacionados à erodibilidade, sendo que os dados revelam uma melhora de aproximadamente 11,20% quando comparados ao solo original.

Palavras-chave: erosão hídrica, solos, bagaço de azeitona, condicionadores, simulador de chuva.

ABSTRACT

The by-products of olive trees are rooted in Portuguese history and in the Trás-os-Montes region, so it is not possible to refer to one without mentioning the other. The cultivation of olive trees in the lands of Trás-os-Montes produces oils of remarkable quality, and its industry is of paramount importance to the region and the country. As it is a region marked by the Mediterranean semi-arid character, shaped by rigorous temperatures and low rainfall, characteristics of soil management, among other factors, Trás-os-Montes presents today one of the highest risk scenarios when it comes to desertification. Data from INE/2011 point to a trend towards expansion of areas susceptible to desertification in this zone, and this factor is intrinsically linked to the way of production of cultures and techniques of use and management, preparation and maintenance of the Trás-os-Montes soil and water erosion.

Furthermore, aspects related to the use of by-products and waste from this industry deserve due attention. Olive pomace presents itself as one of the most promising by-products of the oil sector, both for its energy potential and for the possibility of being used as a soil conditioner. In this context, the work carried out aimed to evaluate the erodibility and detachability of the soil most represented in the Trás-os-Montes olive groves (Idox - Leptossolo Dístico Xístico de Rochas e Afins) from the performance of rainfall simulations, with evaluation of splash, soil loss and drainage, in trays of 310,5 cm², with 3 repetitions (treatment), using three organic correctives based on olive pomace from compost piles with a concentration of 1,2 kg/m² and two organic correctives based on bagasse extracted from olive pomace oil extraction industry with a concentration of 1,2 kg/m², until, finally, in a scenario of lower vulnerability, with the use of the polymer, Polyacrylamide, PAM.

In total, 7 rainfall simulations of 30 minutes each were performed, where the soils were subjected to a constant slope of 15% and standardized rainfall intensity of 59,36 mm/h. It can be concluded from this work that the synthetic conditioner is clearly effective compared to other treatments. It was also observed the importance of the concentration of organic matter in terms of detachability, since the soils treated with the conditioner organic compost showed values of 31,63% lower when compared to fully exposed soil in relation to the detachability indicator. In all cases where organic correctives were used, there was an improvement in the parameters related to

erodibility, and the data reveal an improvement of approximately 11,20% when compared to the original soil.

Keywords: water erosion, soils, olive pomace, conditioners, rain simulator.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO	v
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 O solo.....	3
2.2 Horizontes dos solos	3
2.3 Importância dos solos.....	4
2.4 Os fatores de formação dos solos	5
2.5 Qualidade do solo	6
2.6 Os solos do NE de Portugal	7
2.6.1 Aptidão e uso dos solos do NE de Portugal	9
2.7 Degradação do solo	11
2.7.1 Degradação dos solos no NE de Portugal.....	12
2.8 Processos erosivos	13
2.8.1 Erosão Hídrica.....	14
2.9 Formas de quantificação da erosão	16
2.9.1 Erodibilidade.....	18
2.10 Medidas de proteção do solo	18
2.10.1 Condicionadores do solo	19
2.10.2 Tipos de condicionadores do solo	20

2.11	Importância socioeconômica do olival e do azeite no NE de Portugal	24
2.12	Cadeia olivícola, seus resíduos e impactes ambientais	26
2.13	Características do bagaço da azeitona	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Solo em estudo	30
3.1.1	Características edáficas do solo Idox	32
3.2	Área de coleta das amostras de solo em estudo.....	34
3.3	Simulador de chuva.....	34
3.4	Calibração do simulador e funcionamento	35
3.5	Aparelhos de suporte das amostras de simulação	36
3.6	Preparação dos solos a ensaiar	38
3.7	Tipos dos tratamentos a ensaiar	40
3.7.1	Caracterização dos compostos orgânicos amostrados e coleta de amostras	43
3.8	Delineamento experimental.....	44
3.8.1	Escoamento superficial e sedimento em suspensão.....	44
3.8.2	Salpico.....	45
3.8.3	Concentração dos sedimentos global	45
3.8.4	Amostras de sedimento de rampa.....	46
3.8.5	Perda do solo	46
3.8.6	Erodibilidade.....	47
3.8.7	Destacabilidade.....	47
3.8.8	Concentração Sedimentos suspensos	47
3.9	Análise estatística dos dados	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Intensidade de precipitação das chuvadas simuladas	49

4.2	Escoamento	50
4.3	Coeficiente de escoamento	51
4.4	Salpico.....	53
4.5	Perda do solo	55
4.6	Destacabilidade	56
4.7	Concentração dos sedimentos suspensos	58
4.8	Concentração dos sedimentos global	60
4.9	Erodibilidade.....	61
4.10	Destacabilidade x Erodibilidade	63
5	CONCLUSÕES	65
6	BIBLIOGRAFIA	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Horizontes do solo.	4
Figura 2 - Distribuição espacial das Principais Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal (área total 1,3 milhões ha).....	9
Figura 3 – Importância relativa (% área) das Principais Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal.....	9
Figura 4 - Espessura do solo do NE de Portugal.	10
Figura 5 - Pedregosidade dos solos do NE de Portugal.....	10
Figura 6 – Carência de água no solo no NE de Portugal	11
Figura 7 - Declive médio no NE de Portugal	11
Figura 8 - Distribuição percentual da área afetada das classes de grau e risco de degradação dos solos no NE de Portugal.	13
Figura 9 – Distribuição espacial das classes de Adequação do Uso da Terra à sua Aptidão para Usos Agrários no NE Transmontanos.....	14
Figura 10 – Erosão Laminar.....	15
Figura 11 – Erosão em sulcos.....	16
Figura 12 – Erosão em ravinas	16
Figura 13 - Estrutura química PAM	21
Figura 14 – Quantidade de PAM utilizada nos tabuleiros.....	22
Figura 15 – Olival em região transmontana	24
Figura 16 - Evolução da área de olival em Portugal.....	25
Figura 17- Distribuição da área de olival e da produção (entre parêntesis) pelo território nacional.....	25
Figura 18 – Terra Quente Trás os Montes	26
Figura 19 – Fluxos do processo de fabrico de azeite	28
Figura 20 - Bagaço de azeitona para ser compostado.....	29
Figura 21 – Mapa indicando Gimonde	Erro! Indicador não definido.
Figura 22 - Olivais em terras quentes transmontanas..	Erro! Indicador não definido.
Figura 23 – Base do simulador de chuva	35
Figura 24 – Base simulador de chuva montada com os tabuleiros	36
Figura 25 - Representação do Escoamento no ensaio	37
Figura 26 – Placa metálica do Salpico	38

Figura 27 – Secagem do solo antes da montagem dos tabuleiros	39
Figura 28 – Tabuleiros postos à base	40
Figura 29 – Desenho pilhas de compostagem	Erro! Indicador não definido.
Figura 30 - Pesagem PAM em balança de precisão.	42
Figura 31 - Tabuleiros à ensaiar com PAM	42
Figura 32 - Desenho com as dimensões das pilhas.	Erro! Indicador não definido.
Figura 33 – Pilhas A, B e C	43
Figura 34 – Gráfico da Intensidade média para cada tratamento	Erro! Indicador não definido.
Figura 35 – Amostra de Salpico na chuvada para Bagaço Extratado 1	45
Figura 36 – Amostra de Sedimento de rampa Pilha A	46
Figura 37 - Média e desvio-padrão da Intensidade das chuvadas simuladas por tratamento	49
Figura 38 – Resultados do Escoamento para cada tratamento.....	50
Figura 39 – Gráfico do Coeficiente de Escoamento	52
Figura 40 - Resultado do Salpico do solo para os diferentes tratamentos, onde letras diferentes em frente aos tratamentos representam as diferenças significativas entre eles, considerando o LSD 5%.	54
Figura 41 – Resultado da Perda de solo para os diferentes tratamentos, as letras que seguem os tratamentos representam as diferenças significantes encontradas entre os mesmos quando submetidos ao teste LSD, 5%.	55
Figura 42 – Resultado da Destacabilidade para cada tratamento (eixo horizontal) seguido de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%).	57
Figura 43 – Concentração dos Sedimentos suspensos	59
Figura 44 – Gráfico de Concentração de Sedimentos global	60
Figura 45 – Resultado da reação do solo aos tratamentos aplicados. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas entre os tratamentos.	62
Figura 46 - Relação entre Destacabilidade e Erodibilidade do solo entre os tratamentos quando comparados com o solo exposto.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de lagares de azeite ano 2020	27
Tabela 2 - Unidades de Solo com Uso do Olival (% Área de Unidade de Solo e % Área Regional).....	30
Tabela 3 – Zonas climáticas do Nordeste de Portugal de acordo com temperatura e precipitação médias anuais	31
Tabela 4 – Evolução temporal das áreas suscetíveis à desertificação em Portugal Continental	32
Tabela 5 – Classificação de susceptibilidade à erosão	33
Tabela 6 - Análise físico-química do solo Idox a. Complexo de troca	33
Tabela 7 - Análise físico-química do solo Idox b. Matéria Orgânica, pH e teor em Fósforo e Potássio extratáveis	34
Tabela 8 - Análise físico-química do solo Idox c. Propriedades físicas (Fator erodibilidade K)	34
Tabela 9 - Tipos de tratamentos e definições.....	41
Tabela 10 – Composição das matérias-primas de casa pilha	43
Tabela 11 - Características físico-químicas do bagaço de azeitona	44
Tabela 12 – Média da Intensidade da chuva em cada tratamento	49
Tabela 13 - Valores de escoamento superficial (mm) em cada tratamento	51
Tabela 14 – Resultado coeficiente de escoamento (%) para todos os tratamentos..	52
Tabela 15 - Valores de salpico (g/m^2) por solo e tratamento.....	54
Tabela 16 – Resultado da perda de solo (g/m^2) para cada tratamento	56
Tabela 17 - Resultados da destacabilidade ($\text{g/m}^2.\text{mm}$) para cada tratamento	57
Tabela 18 – Resultado da concentração dos sedimentos suspensos (g/L) para cada tratamento	59
Tabela 19 – Resultados de média, desvio-padrão e CV para Concentração de Sedimentos global.....	60
Tabela 20 - Resultados da Erodibilidade ($\text{g/m}^2.\text{mm}$) para cada tratamento	62
Tabela 21- Relação de eficácia dos tratamentos sobre destacabilidade / erodibilidade em % frente ao solo exposto	64

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

INE – Instituto Nacional de Estatística

Idox - Leptossolo Dístrico Xístico de Rochas e Afins

COI - Concelho Oleico Internacional

USDA - United States department of agriculture

N - Azoto

K - Potássio

P – Fósforo

Mg - Magnésio

C/N – Relação Carbono/Azoto

FAO - Food and Agriculture Organization

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification's

USLE - Universal Soil Loss Equation

Fator K – Erodibilidade

RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation

SLEMSA - Soil Loss Estimation Model for Southern Africa

MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation

SOILOSS – Modelo australiano quantificação perda de solo

PVC - Policloreto de polivinila

PPH - Cloridrato de polifenol

HPAN - Poliacrilontrila hidrolisada

PAM - Poliacrilamida

leox - Leptossolos êutricos órticos de xistos e afins

DRAP - Portal Oficial da Direção Regional de Agricultura e Pescas

BIOMA - Soluções integradas de Bioeconomia para a Mobilização da cadeia Agroalimentar

LSD – “Least Significant Difference”

DP – Desvio padrão

CV – Coeficiente de variação

CE – Coeficiente de escoamento

BSES 1 - Bagaço semi-extratado seco

BES 2 - Bagaço extratado seco

1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é uma das questões ambientais mais desafiadoras relacionadas com a gestão e uso do solo em todo o mundo. Trata-se de um processo natural que é acelerado por atividades antropogênicas como o desmatamento, práticas agrícolas, mineração de superfície, construção e urbanização (Diyabalanage et al., 2017), onde o clima, o solo, a geomorfologia e a vegetação também apresentam grande relevância sobre esse fenómeno (Xanthakis & Pavlopoulos, 2009). A erosão é uma ameaça ao recurso solo, afeta o armazenamento de nutrientes, da água e a produção de culturas (Blanco & Lal, 2008).

Como demonstrado por Figueiredo (2005) os solos do NE de Portugal apresentam elevado risco de erosão, susceptibilidade esta que deve ser superada com um melhor tratamento, gestão e uso do solo.

A atividade de extração de azeite é fortemente representada nos países do Mediterrâneo que dominam a produção mundial com cerca de 95% da produção oleícola. Isto deve-se ao facto desta zona ter condições climáticas propícias, tais como horas de sol e clima seco para o cultivo das oliveiras (COI, 2014).

Os usos do bagaço da azeitona como condicionador do solo pode ser uma alternativa para aplicação e reaproveitamento de um dos mais relevantes subprodutos da extração de azeite.

A degradação dos solos onde tradicionalmente se cultivam as oliveiras é notória por todo o mediterrâneo. As técnicas empregadas nem sempre envolvem grande aporte tecnológico, o que resulta em solos pobres em matéria orgânica, geralmente corrigidos com fertilizantes minerais, que até podem melhorar o rendimento do solo, mas sempre a curto prazo, sendo inútil quando o assunto é melhora na qualidade do solo, sua estrutura, suas qualidades físicas ficam comprometidas a longo prazo devido a degradação (Shiralipour e Smith, 1992).

Do ponto de vista agronómico, a presença de quantidades relativamente elevadas de matéria orgânica e elementos minerais que podem atuar como fertilizante sobre as plantas, faz com que a aplicação dos subprodutos das oliveiras no solo, como fonte de matéria orgânica, seja considerada benéfica (Sempiterno; Fernandes, 2010), porém Barbera et al. (2013) adverte que o melhoramento das propriedades físicas do solo pelo uso de subprodutos da cadeia olivícola como condicionadores depende de

vários fatores, como as condições edáficas, climáticas, método de aplicação e concentração destes compostos.

Condicionadores do solo são corretivos que visam modificar favoravelmente as propriedades físicas do solo, tal como a estrutura, permeabilidade, taxa de infiltração e resistência à erosão. Corretivos orgânicos, por sua vez, têm como objetivo primário aumentar a taxa de matéria orgânica no solo em questão. O presente trabalho propõe, por sua vez, a utilização de corretivos orgânicos (à base de bagaço de azeitona) como condicionadores do solo, buscando melhorias nos seus aspectos físicos, nomeadamente melhorar a resistência à erosão.

Neste estudo foram feitas de forma experimental, simulações de chuvas sobre o solo de maior representatividade nos olivais transmontanos e revisões bibliográficas para uma melhor reutilização desse subproduto voltado para o controle dos processos de degradação do solo Idox.

Tal produção não pode ser ignorada, uma vez que representa alta percentagem do rendimento económico de Portugal, devendo considerar e mensurar toda a cadeia produtiva no intuito de buscar sempre uma melhor relação entre produtividade e manutenção dos recursos naturais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O solo

O solo pode ser compreendido sob diversos pontos de vista. Pode-se analisá-lo a partir de uma perspectiva política, como sendo os limites de determinado Estado, sob a perspectiva econômica, como sendo um recurso natural de potencial produtivo, sob a perspectiva social e cultural como sendo a relação entre determinado povo e suas origens. Dentre essas muitas interpretações, uma em especial se destaca como sendo ponto de partida do presente trabalho, qual seja a concepção científica, ou seja, o solo sob o escopo da Ciência.

O solo pode ser considerado um material não consolidado, mineral ou orgânico, existente à superfície da terra que tenha experienciado algum nível de intemperismo físico, químico e, ou biológico (SSSA, 2008).

A formação e desenvolvimento dos solos dependem de alguns fatores, a se destacar o clima, onde a temperatura e humidade em que o solo é exposto se configuram como o principal fator de alteração em sua composição físico-química. A composição da rocha originária, o relevo, a vegetação, manejo e uso do solo, presença de determinados tipos de organismos e idade da superfície em questão, são outros fatores de destacamento (Lepish, 2010).

A formação dos solos e seu desenvolvimento é o resultado da interação de muitos processos, mediante a alterações físico-químicas e biológicas dos materiais geológicos originais e, também por processos físicos de transporte e translocação de constituintes solúveis ou em suspensão, até maior ou menor profundidade.

Considerando que existem vários tipos de rochas originárias, como granito, arenito, basalto, e uma variedade de climas, organismos e condições ambientais distribuídos pelo planeta, acabamos por encontrar uma enorme gama com diferentes tipos de solos, que podem ser diferenciados em estratos, níveis que devido às diferentes composições físicas, químicas e biológicas são identificados e classificados em horizontes (Jenny, 1941).

2.2 Horizontes dos solos

Ao fazer uma calicata de um solo completo (Figura 1), temos o horizonte O, situado na parte mais superficial do solo, que é composto predominantemente de

matéria orgânica, como folhas, galhos e restos de matéria orgânica em decomposição. Podemos também encontrar um outro tipo de horizonte orgânico, o H, bem mais espesso que o horizonte O. (Lepsh,2010)

Posteriormente, surge o horizonte A, uma camada de coloração escura, eminentemente mineral, porém enriquecida com matéria orgânica advinda da atividade de plantas, animais, fungos e bactérias, o húmus. Em solos onde processos de eluviação são muito intensos, pode-se observar o horizonte E, de coloração mais clara e textura arenosa.

Abaixo, o horizonte B é aquele que acumula os materiais que se infiltraram das camadas superiores pelo processo da iluviação. A seguir temos o horizonte C, semelhante à rocha originária, horizonte R, com pouca ou nenhuma alteração devido aos processos de formação do solo.

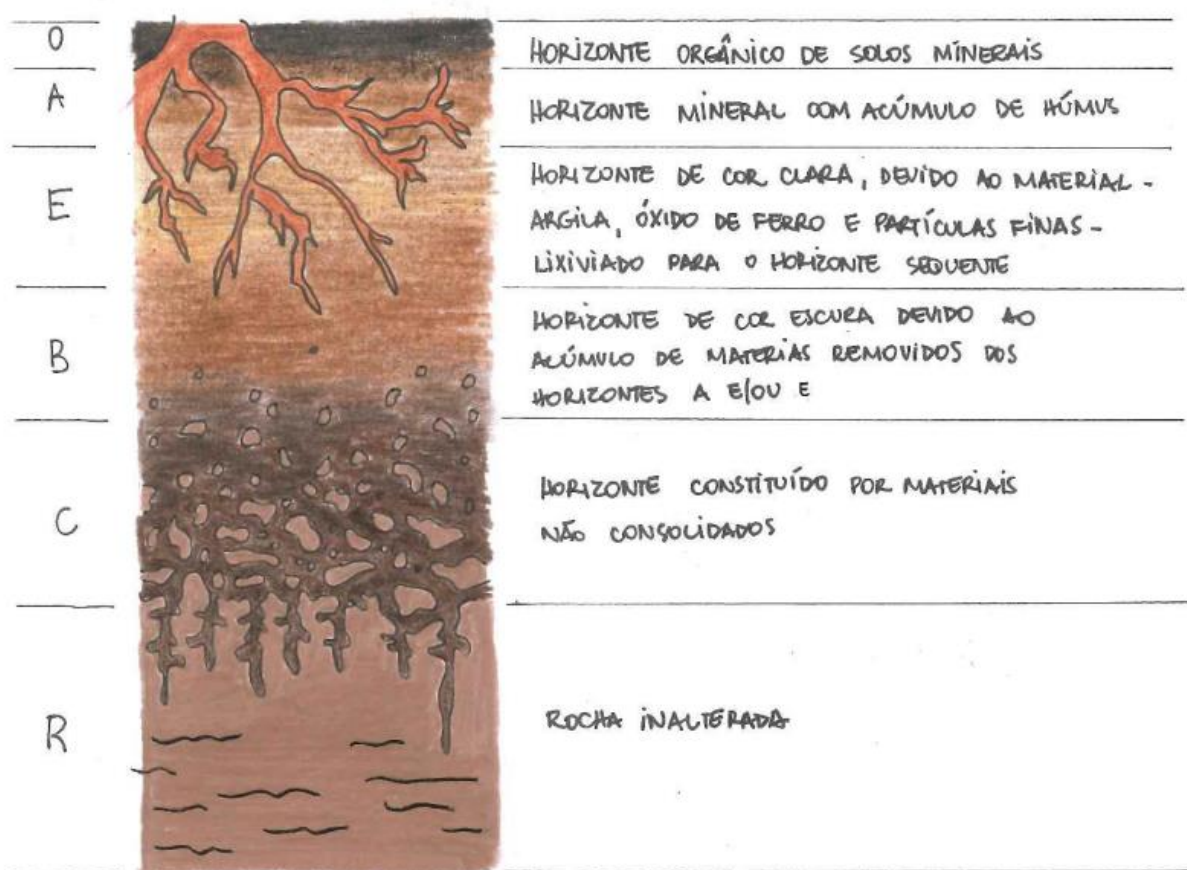


Figura 1 - Horizontes do solo

A partir da sequência dos horizontes e de seus aspectos físicos de determinado solo é possível traçar seu perfil, ou características morfológicas internas.

2.3 Importância dos solos

O solo consiste em um recurso de elevada importância ambiental e socioeconômica fundamentado por suas diversas funcionalidades, garantindo de tal forma o equilíbrio do planeta como um todo.

Exercem um papel fundamental na dinâmica da vida terrestre, desempenhando uma série de funções-chave, incluindo a produção de alimentos, o armazenamento de matéria orgânica, água, ar e nutrientes, a provisão de um habitat e suporte para uma grande variedade de seres vivos, e na preservação do registro de atividades humanas passadas (Morgan, 2005).

O conhecimento dos solos de um determinado território é um dos elementos essenciais para a identificação de potencialidades, limitações e riscos associados ao uso atual ou futuro da terra (Figueiredo, 2002).

Apesar de sua extrema importância para a manutenção dos ciclos vitais e processos produtivos da Terra, o solo é um dos recursos naturais que vêm sofrendo maior pressão da atividade humana nas últimas décadas. Com efeito, o solo é um recurso natural não renovável à escala da vida humana, que é indispensável conservar (Figueiredo, 2013).

Pensar em formas mais sustentáveis de utilização e manutenção deste recurso se faz mister no momento que atravessa a humanidade.

2.4 Os fatores de formação dos solos

Os fatores de formação e desenvolvimento dos solos são vários e estão correlacionados entre si. Hans Jenny (1941) propõe que esses fatores são: a composição da rocha matriz (originária), a topografia, o clima, a ação de organismos vivos e a ação do tempo.

A rocha matriz é o estado mais primário do solo, que ainda não sofreu nenhum tipo de meteorização. É a partir dele que o solo irá se desenvolver, e pode ser composto por rochas metamórficas, ígneas ou sedimentares, que possuem diferentes suscetibilidades a serem desagregadas. É o material passivo pelo qual os agentes erosivos atuam.

O clima assume papel fundamental na formação dos solos. As variáveis de temperatura e precipitação estão diretamente relacionadas aos processos de intemperismo atuantes nos solos. É na presença da água que as reações químicas mais importantes acontecem no sentido de se modificar a composição do solo. Zinn et al. (2015) sugere que, em linhas gerais, quanto mais húmido um local (maiores

níveis de evaporação devido a maior temperatura e precipitação), maior a tendência do solo apresentar maior profundidade, acidez e níveis de argila. Figueiredo (2001) complementa este raciocínio, evidenciando que na região da Terra Quente transmontana temperaturas mais elevadas associadas a um regime hídrico escasso dão caráter pouco espesso a estes solos (entre 10 e 50 cm).

O relevo influencia a formação dos solos na medida em que condiciona ou distribui a ação de outros agentes. A incidência de luz solar e o sentido das correntes de vento são algumas condicionantes que a topografia impõe ao processo de desenvolvimento do solo. O mais influente, porém, será a forma em como o escoamento da água das chuvas se dará pelas especificidades do relevo. A inclinação aumenta a força cinética com que este escoamento percorre a superfície, ocasionando a formação de sulcos, o transporte e deposição de material, e em consequência processos erosivos mais intensos (Lepsch, 2010).

Plantas e vegetais desempenham papel importante na estabilidade dos solos devido ao desenvolvimento de raízes, como também reduzem os níveis de erosão hídrica por diminuírem o impacto das gotas contra a superfície, e melhoram as taxas de infiltração. Organismos como fungos, aliados às bactérias exercem um papel fundamental na decomposição de outros seres, melhorando a qualidade do solo. A presença de organismos vivos é, também um dos fatores de formação do solo. Jenny (1941) sustenta que a atividade microbiana, além de ser particular a cada tipo de solo, afeta diretamente nas suas propriedades, como na retenção de azoto por bactérias fixadoras, que aumentam a sua qualidade.

2.5 Qualidade do solo

A qualidade de um solo pode ser definida, segundo a USDA (2021), como a capacidade do mesmo em funcionar em uma relação de equilíbrio com o sistema em que está inserido, suportando ou melhorando a fauna, flora, qualidade da água, e do próprio solo, bem como a produção econômica à qual está submetida.

O conceito está em permanente mutação consoante o desenvolvimento da Ciência, porém é possível buscar na doutrina certo consenso acerca desse assunto, onde o parâmetro de qualidade do solo será expresso pela interação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Nunes et al., 2015).

Os indicadores físicos do solo são cor, textura, estrutura, consistência, densidade aparente, porosidade, capacidade de retenção de água (Alves, 2018).

Também a formação, estrutura e estabilidade dos agregados são de extrema importância, segundo Lepsch (2010), uma vez que influenciam diretamente na porosidade, taxa de infiltração e suscetibilidade de desenvolvimento de raízes. Representa a força de coesão entre as partículas do solo. Ademais, autores como Silva (1993) defendem que a estabilidade dos agregados é fator decisivo na erodibilidade dos solos se mostrando um bom indicador quanto à qualidade do mesmo.

Os indicadores químicos são os pH, oferta de nutrientes, percentagem de saturação por bases, taxas de Azoto (N), Potássio (K) e Fósforo (P), condutividade elétrica, capacidade de trocas catiónicas (Bünemann et al., 2018).

Os parâmetros biológicos podem ser tais como a taxa de biomassa, mineralização do azoto potencial, respiração do solo, taxas de C/N estão fortemente ligados à estrutura do solo, pois melhoram a estabilidade dos agregados (Nunes et al., 2015).

2.6 Os solos do NE de Portugal

Dentre os fatores pedogenéticos, o relevo merece especial destaque na área de estudo. Segundo Figueiredo (2001) tem relação direta sobre o escoamento superficial, uma vez que sua inclinação acelera o deslocamento da água por sobre o solo, diminuindo a taxa de infiltração. Esse processo leva ao agravamento da erosão hídrica, que contribui para taxa de elementos pedregosos na superfície, por via da seletividade de transporte.

A degradação dos solos onde tradicionalmente se cultivam as oliveiras é notória por todo o mediterrâneo. As técnicas empregadas nem sempre envolvem grande aporte tecnológico, o que resulta em solos pobres em matéria orgânica, geralmente corrigidos com fertilizantes minerais, que até podem melhorar o rendimento do solo, mas sempre a curto prazo, sendo inútil quando o assunto é melhora na qualidade do solo, sua estrutura, suas qualidades físicas ficam comprometidas a longo prazo devido a degradação (Shiralipour e Smith, 1992).

Do ponto de vista agronómico, a presença de quantidades relativamente elevadas de matéria orgânica e elementos minerais que podem atuar como fertilizante sobre as plantas, faz com que a aplicação dos subprodutos das oliveiras no solo, como fonte de matéria orgânica, seja considerada benéfica (Sempiterno; Fernandes, 2010), porém Barbera et al. (2013) adverte que o melhoramento das propriedades físicas do

solo pelo uso de subprodutos da cadeia olivícola como condicionadores depende de vários fatores, como as condições edáficas, climáticas, método de aplicação e concentração destes compostos.

O clima da região influencia, em muito, na distribuição espacial das principais unidades pedológicas em Trás-os-Montes. Na zona da Terra Quente, onde os níveis de pluviosidade são mais baixos e de temperatura mais altos, verifica-se solos menos espessos e de menor concentração de matéria orgânica (Figueiredo, 2001).

Utilizando por base a Carta dos Solos NE de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) verificamos que o relevo é predominantemente montanhoso que, aliado às condições climáticas e de composição do material originário, dão o caráter de solos pouco espessos, com pouca meteorização da rocha original.

Segundo Figueiredo (2013) os Leptossolos são os mais presentes na região Nordeste, pouco desenvolvido e eminentemente pedregoso, aspeto que ainda segundo o autor está relacionado com elevado potencial risco de erosão. Os Leptossolos representam cerca de 72% da área total do NE de Portugal, seguido pelos Cambissolos, que apresentam pouca ou moderada desenvoltura, onde a FAO (1988) considera que esse solo poderá com o tempo alcançar melhores níveis de desenvolvimento (Lepsch 2010). Outros tipos de solo são também encontrados no NE de Portugal, porém em menor frequência, como Fluvissoisolos, Regossolos, Antrossolos, Podzóis, Luvissoisolos, entre outros como se vê no gráfico que se segue ao mapa:

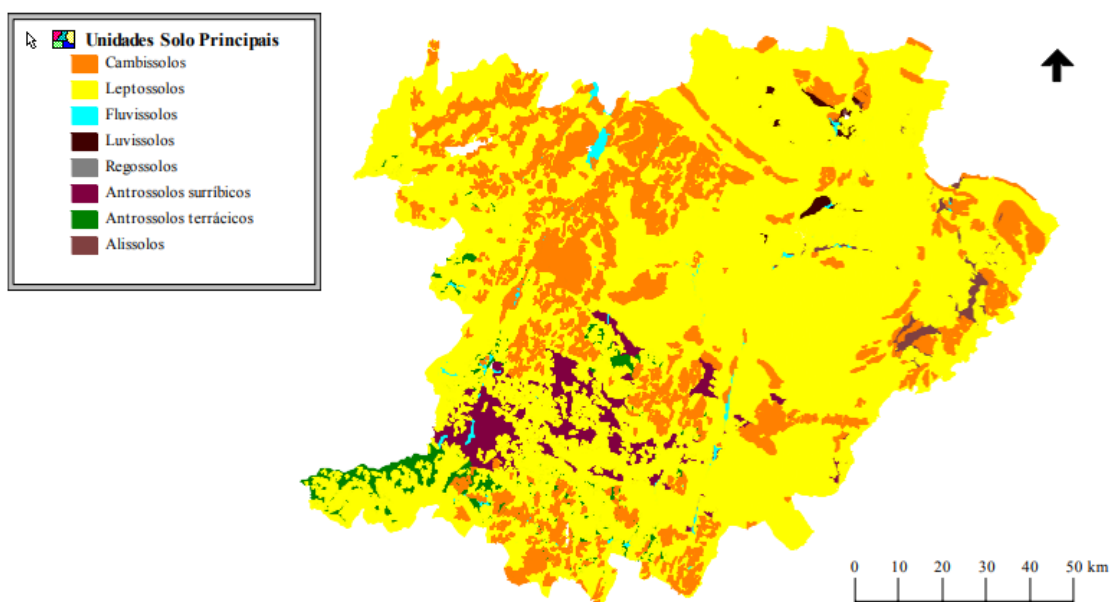


Figura 2 - Distribuição espacial das Principais Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal (área total 1,3 milhões ha).

Fonte: Adaptado Figueiredo et al. (2000b)

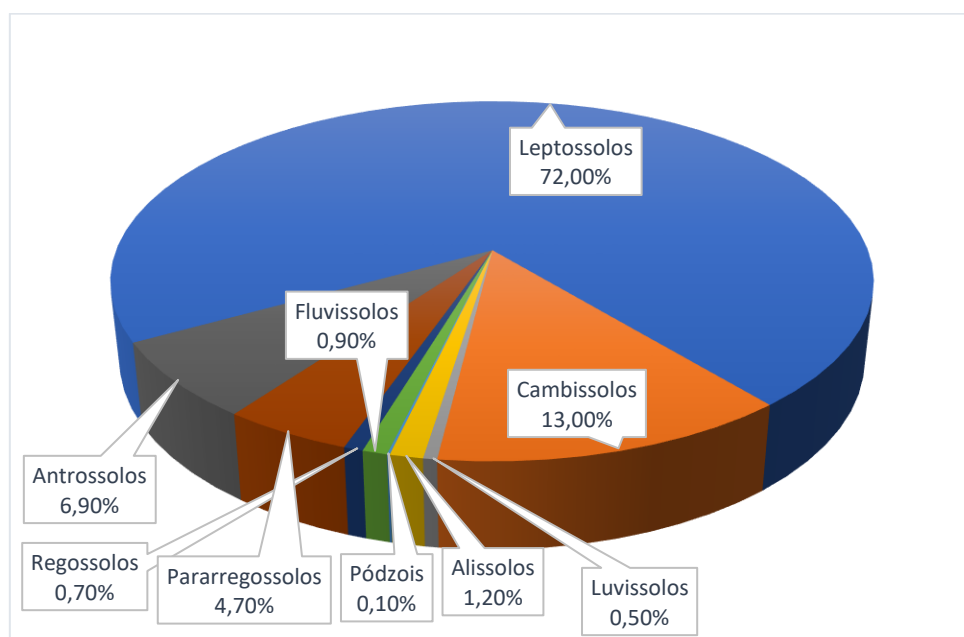


Figura 3 – Importância relativa (% área) das Principais Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005)

2.6.1 Aptidão e uso dos solos do NE de Portugal

Características próprias da região transmontana contribuem para tenhamos uma região dominada por solos pedregosos e delgados, eminentemente acidentada, de regime pluviométrico escasso, o que segundo Agroconsultores e Coba (1991) e Figueiredo (2013) evidenciam o carácter limitador a nível agrário dessa região.

Ainda segundo os autores, a predominância de solos pouco espessos (Leptossolos - FAO) compromete a aptidão da terra para agricultura.

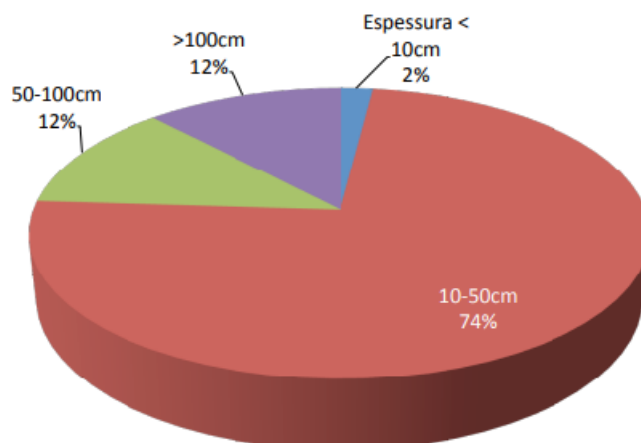


Figura 4 - Espessura do solo do NE de Portugal.

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005)

O facto de os solos serem em sua maioria pedregosos e pouco espessos dificulta as práticas de manejo do solo e preparo para culturas.

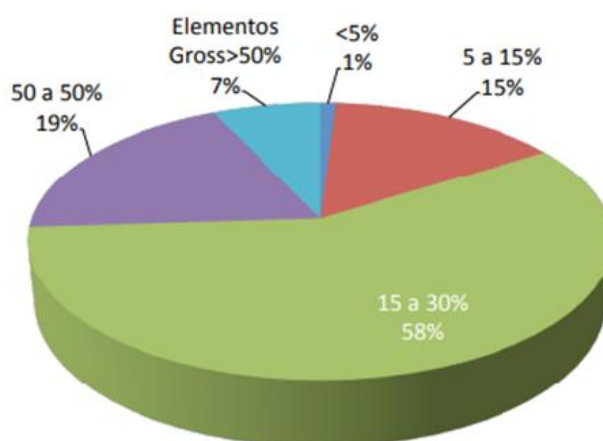


Figura 5 - Pedregosidade dos solos do NE de Portugal

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005)

A escassez hídrica da região é agravada pela incapacidade do solo de reter humidade suficientemente capaz de mitigar os efeitos do clima, bem como de estimular a pedogenia.

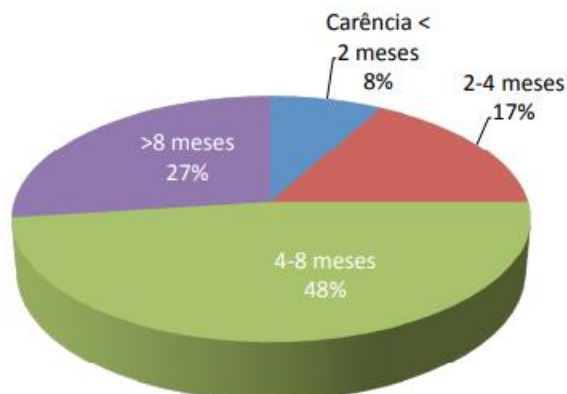


Figura 6 – Carência de água no solo no NE de Portugal

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005)

O relevo acidentado, em sua maioria com taxas de inclinação entre 12% e 15% e de 20% a 30%, dificulta a utilização de maquinário especializado, comprometendo a produtividade dos olivais.

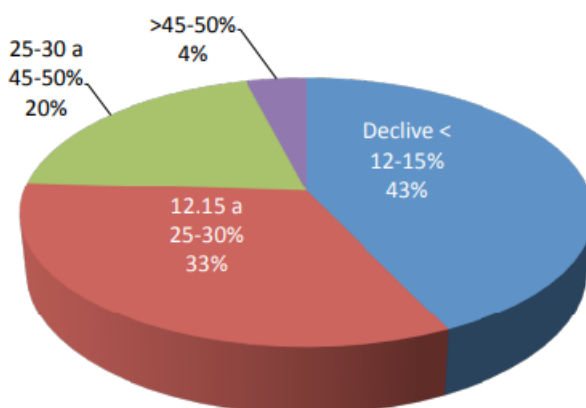


Figura 7 - Declive médio no NE de Portugal

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2005)

2.7 Degradação do solo

O processo de formação dos solos, em seu estado natural, equilibra-se com processos de degradação dos mesmos, fazendo parte do ciclo geológico terrestre. A vegetação que o cobre, exerce papel fundamental no desenrolar desse processo, que

é deturpado pela atividade humana ao exercer seu uso para a produção agrícola e pecuária. A remoção da cobertura original acelera os processos de degradação do solo, como a lixiviação, acidificação, salinização, desertificação, erosão, entre outros (Lepsch, 2010). De acordo com a UNCCD, a desertificação é entendida como a degradação do solo nas zonas áridas, semiáridas e sub-húmidas secas, em resultado da influência de vários fatores.

Todos esses fatores contribuem para que ocorra a depreciação da qualidade do solo, entendida não somente como a capacidade do solo de produzir alimentos sem que comprometa suas características originais, mas como todo um emaranhado de inter-relações que compreendem seus aspectos físicos (profundidade do solo, capacidade de retenção de água, estabilidade agregada, densidade aparente, taxa de infiltração, condutividade hidráulica, entre outros), químicos, como o pH, taxa de nutrientes, e biológicos, como o teor de matéria orgânica, populações de micro-organismos, dentre outros (Wilson e Kordybach, 1997).

2.7.1 Degradação dos solos no NE de Portugal

A região Norte de Portugal, divisão administrativa de maior representação de áreas suscetíveis à desertificação, processo para o qual concorre a degradação dos solos por erosão, identificada como a principal ameaça ao recurso solo nesta região (Figueiredo et al., 2014).

Estima-se que em pouco menos de metade da superfície cartografada do NE de Portugal os solos sofram de risco severo de degradação ou se encontrem degradados em condições severa a máxima. A classe de risco severo ocupa 9% do território. Os solos degradados correspondem a 38% daquela superfície, sendo de 12% a área afeta à classe de severidade máxima, o que equivale a cerca de 167 mil ha (Figueiredo et al., 2015).

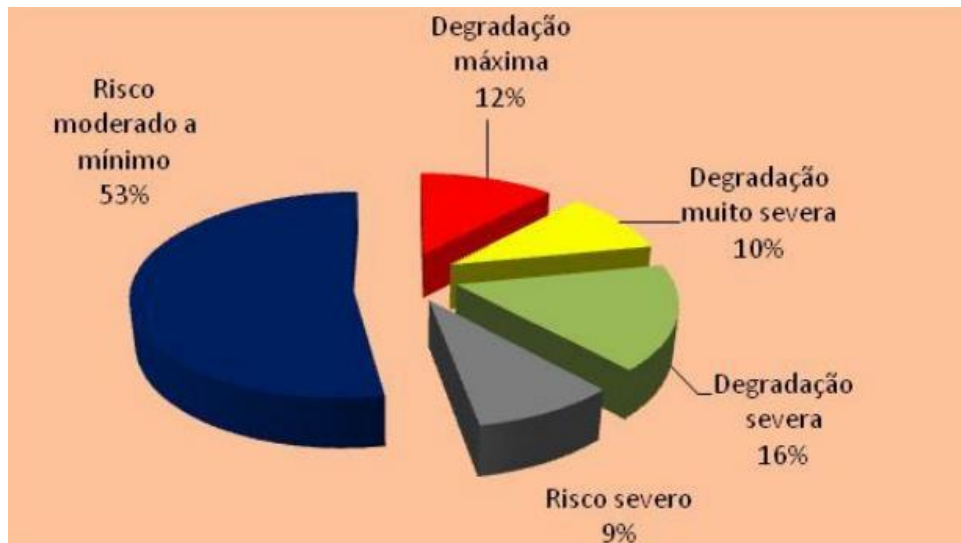


Figura 8 - Distribuição percentual da área afetada das classes de grau e risco de degradação dos solos no NE de Portugal.

Fonte: Adaptado Figueiredo (2015)

2.8 Processos erosivos

Os processos de erosão ocorrem de forma natural e auxiliam para o equilíbrio dos ecossistemas, porém quando são intensificados se tornam uma grande ameaça ambiental por comprometer de forma grave o uso e manejo deste recurso. Consiste, segundo Morgan (2005), em um processo bifásico onde ocorre primeiramente o descolamento de partículas ou agregados de solo e seu posterior transporte através da superfície a partir da energia cinética promovida, principalmente pela precipitação. Em um terceiro momento, quando a energia cinética não mais é capaz de movimentar as partículas, ocorre a sua deposição.

Para Zachar (2011) vários aspetos podem ser os causadores de processos erosivos, a água, o homem, os organismos, o vento, o gelo dentre outros, a se destacar a erosão hídrica, considerada por Morgan (2005) como o fator principal causador do referido fenómeno.

O solo de maneira geral é composto por cerca de 50% de material sólido, 25% de ar (fase gasosa) e 25% água (fase líquida) e seus aspetos físicos em muito influenciam na maneira de como será sua interação com determinado agente erosivo. Lepsch (2010) entende que a textura (proporção relativa entre areia, silte e argila do solo em questão), estrutura (se refere a como as unidades estruturais, ou como os aglomerados estão agrupados, dando carácter poroso ao solo, e influenciando, assim

processos como a percolação da água, areamento e desenvolvimento de raízes), e consistência (relacionada à coesão entre as partículas constituintes do solo e sua dureza) estão intimamente ligadas à ocorrência de processos erosivos, concordando com Morgan (2005), que afirma que “a variabilidade local nas taxas de infiltração pode ser bastante alta devido às diferenças na estrutura, compactação, teor de humidade inicial e forma do perfil do solo e na densidade da vegetação.”

Quando observamos o cenário da região transmontana, podemos verificar, a partir do trabalho de Figueiredo (2013) e Agroconsultores e Coba (1991) que a maior parte da área se encontra com os solos em regime de sobre exploração (58% do território). Tal fato é um indicador de que essa zona merece atenção especial no que concerne às medidas de conservação e proteção do solo, uma vez que se mostram suscetíveis à desertificação (INE, 2011), como podemos ver no mapa abaixo extraído de Figueiredo (2013).

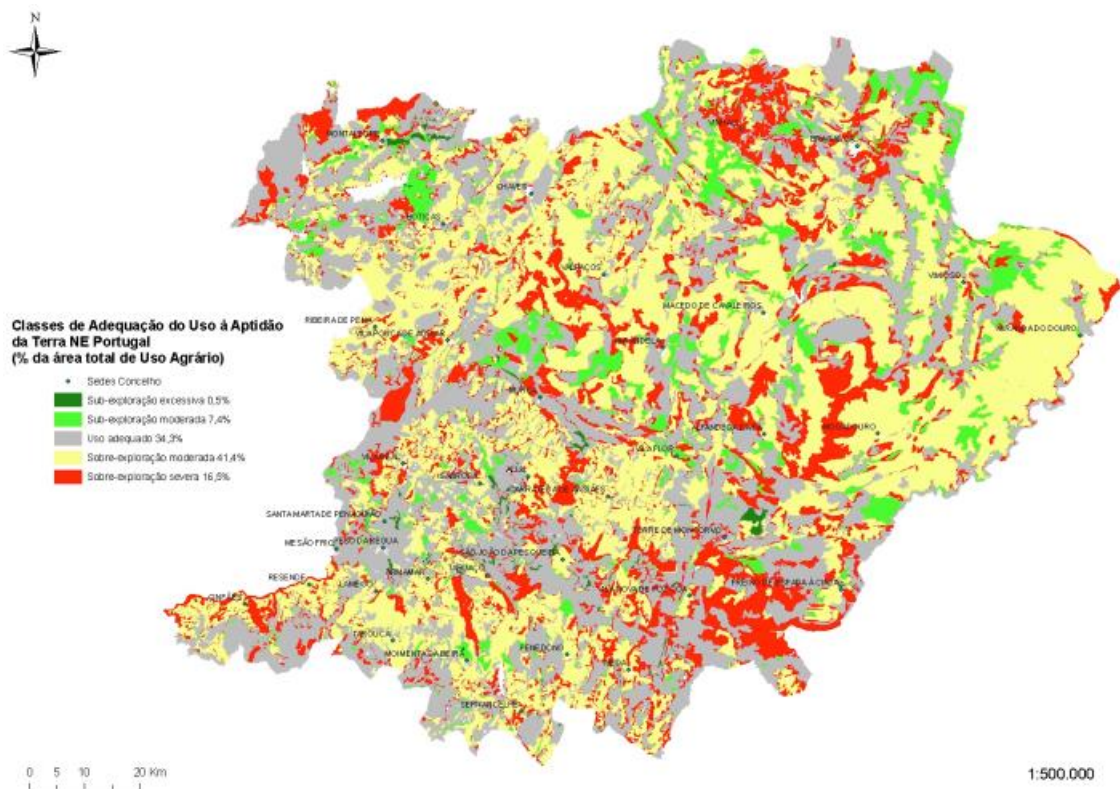


Figura 9 – Distribuição espacial das classes de Adequação do Uso da Terra à sua Aptidão para Usos Agrários no NE Transmontanos.

Fonte: Figueiredo (2013)

2.8.1 Erosão Hídrica

A erosão hídrica pode ser compreendida como todo processo erosivo advindo da atividade hídrica, seja ela pluvial, fluvial, subterrânea ou marinha (Zachar 2011).

A mais importante para o presente estudo é a erosão hídrica, que se inicia com a precipitação de água, onde cada gota colide com o solo gerando uma alteração na sua coesão conhecido como “efeito splash”, desprendendo partículas do solo que se deslocam devido ao escoamento superficial quando o a taxa de infiltração do solo não comporta a intensidade da precipitação.

Morgan (2005) define que, além do efeito splash, também conhecido por erosão por salpico, temos três tipos de erosão hídrica, qual seja a erosão por escoamento laminar, sulcos e ravinas. São processos intensificados tanto pelo relevo, na medida que quanto maior a inclinação, maior a energia potencial cinética do escoamento superficial, quanto pelo clima, que condiciona o regime de chuvas e temperaturas, quer pela cobertura vegetal presente.

Ainda segundo o autor, o escoamento laminar ocorre quando há a saturação das taxas de infiltração do solo, geralmente por chuvas prolongadas ou intensas, as partículas em suspensão se deslocam de maneira a criar cursos d’água lineares e interlaçados, sem canais pronunciados, maioritariamente em solos com pouca ou nenhuma inclinação (Lepsch 2010).



Figura 10 – Erosão Laminar.

Fonte: lathamseeds.com/2020/01/managing-soil-erosion

Ocorre que as pequenas imperfeições do relevo, ao sofrer desse fenômeno constantemente ao longo do tempo, acabam por originar a formação de outro processo erosivo identificado por Morgan (2005), a erosão em sulcos (*rill erosion*).



Figura 11 – Erosão em sulcos

Fonte: lathamseeds.com/2020/01/managing-soil-erosion

Caso não sejam tomadas medidas de recuperação em relação ao solo erodido, ocorre o estágio mais avançado, de difícil recuperação, tanto pela extensão, quanto pela profundidade da fenda, qual seja a erosão em ravinas.



Figura 12 – Erosão em ravinas

Fonte: lathamseeds.com/2020/01/managing-soil-erosion

2.9 Formas de quantificação da erosão

A fim de melhor viabilizar economicamente a exploração agrária dos solos, a pedologia desenvolveu ao longo dos anos o uso de modelos que possibilitem a mensuração quantitativa da perda do solo de diferentes paisagens.

Segundo Morgan (2005), existem duas formas de se medir as taxas de perda do solo, quais sejam a empírica (medições no campo) e em laboratório. Para o autor, a difícil tarefa de isolar e identificar exatamente qual fator está a influenciar de maneira expressiva a erosão em determinado cenário, faz com que a medição em laboratório com o auxílio de equações seja desejável. Pondera, por fim, a necessidade de confirmação dos experimentos do laboratório em campo.

Muito se produziu, principalmente a partir da década de 1940, com os trabalhos de Zingg (1940), o primeiro expressar a perda de solo em um modelo de equação, expressando a perda de solo média em uma determinada área, passando por Smith (1941), que introduziu na equação a relação entre a perda de solo com e sem métodos de conservação associados (Flanagan, et al 2013). Nesse contexto, foi proposto por Wischmeier e Smith (1961) uma equação universal da perda de solo, USLE, onde a introdução do conceito de erodibilidade (fator K), de características intrínsecas ao solo, se relaciona com os diversos aspetos orbitantes ao solo analisado, expressa pela seguinte equação:

$$A = R K L S C P$$

Onde temos:

- A: Perda média de solo por unidade de área por unidade de tempo;
- R: Fator erosividade da precipitação e escoamento superficial ($\text{MJ há}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$);
- K: Fator Erodibilidade do solo ($\text{MJ há}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$);
- L: Fator de comprimento da encosta (m);
- S: Fator da inclinação da encosta (%);
- C: Fator práticas de manejo de cobertura vegetal;
- P: Fator práticas conservacionistas do solo.

Tem como finalidade quantificar a perda de solo anual, por um período, em um determinado local. A revisão da referida equação, RUSLE, foi proposta por Renard et al em 1997, no intuito de se atualizarem os parâmetros analisados, com a introdução de tecnologia na medição dos dados, e suas devidas adaptações.

Outros modelos para a quantificação da perda de solo estão disponíveis, porém menos difundidos que o método supracitado. Morgan (1984) possui seu próprio modelo, o Finney method, no qual busca manter a simplicidade da USLE, aplicando a ela seus conhecimentos em processos erosivos, dividindo-o em fase sedimentar e fase hídrica (Morgan, 2011). Outros modelos merecem destaque, como o Soil Loss Estimation Model for Southern Africa (SLEMSA), proposto por Elwel (1978), Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), por Williams (1975), SOILOSS, modelo australiano, por Rosewell and Edwards, 1988, todos citados por Morgan (2005).

2.9.1 Erodibilidade

Representada pela variável K na equação USLE e RUSLE, a erodibilidade pode ser compreendida como sendo a “mudança” em uma determinada fração de solo por unidade de força externa aplicada sobre esta área (Renard et al 1997).

Casos envolvendo a acelerada degradação do solo não são incomuns de todo, representando um problema quando o assunto é produção agrícola. Morgan (1984) sustenta que a erodibilidade é a resistência do solo em relação ao desprendimento e transporte de suas partículas. Figueiredo (1989), ainda completa que, não obstante a influência de fatores topográficos e de manejo e preparo do solo, suas propriedades, como granulometria (relacionada a quantidade de solo a ser desagregado do conjunto), estrutura (relacionada à estabilidade dos agregados), permeabilidade, que controla a formação do escoamento e a taxa de umidade do solo, e a matéria orgânica presente são as mais importantes quando o assunto é erodibilidade.

Relativamente à granulometria, em Figueiredo (1989) temos que solos mais finos tendem a ter as suas partículas mais facilmente transportadas por requererem menor força de escoamento superficial para iniciar o movimento. Por outro lado, podem apresentar maior taxa de coesão, tudo dependerá da composição do solo em questão.

Solos mais bem estruturados tendem a ter melhor capacidade de infiltração, resultando numa maior capacidade de resistência à ação da água, que por sua vez é potencializada pelos canais criados pelas raízes das plantas e pela ação da fauna presente no solo (Vitte e Melo, 2007).

2.10 Medidas de proteção do solo

O processo de erosão do solo é um processo natural e permanente, de forma que é impossível pará-lo por completo. Práticas de manejo do solo inadequadas aceleram tal processo, de forma que para a viabilização da produção agrária, as práticas de conservação do solo são de extrema importância. São práticas relacionadas à redução dos níveis de erosão a taxas aceitáveis, ou como define Morgan (2005) “tolerância de perda de solo” (*soil loss tolerance*).

Para o autor, as práticas de proteção ao solo se dividem em três grupos, práticas agronômicas, medidas físicas (mecânicas) e de manejo do solo. A primeira, e mais viável na opinião do autor, está relacionada com o uso de vegetação nativa para cobrir a superfície do solo destinado à plantação no intuito de reduzir o efeito splash, aumentar as taxas de infiltração para assim, reduzir o destacamento, escoamento e o transporte de sedimentos.

Os métodos mecânicos estão relacionados às medidas que envolvem a manipulação do terreno como forma de mitigar a erosão, como exemplo, o autor cita a instalação de terraços (redução do escoamento superficial) e quebra-ventos. Por serem geralmente equipamentos de elevado custo de instalação e manutenção, e não lidar diretamente com a questão do destacamento de partículas do solo, são métodos menos viáveis economicamente.

Por fim, as práticas de manejo do solo, ou edáficas envolvem aquelas referentes à toda preparação do solo para o plantio, como pela aragem, incorporação de condicionadores do solo à base de matéria orgânica, substratos inorgânicos ou sintéticos. As práticas edáficas, ademais objetivam a melhora das propriedades físicas do solo, o melhoramento de suas características estruturais como forma de prevenção à erosão. (Almeida, 2008).

2.10.1 Condicionadores do solo

Lozano-García (2010) completa que nos últimos anos, muito vem se evoluindo na busca pela melhora do solo através da introdução de condicionadores à base de subprodutos e resíduos de matéria orgânica da própria plantação, principalmente em solos com baixa capacidade de infiltração. Mostra-se eficaz tanto na redução do impacto das chuvas, como na velocidade de escoamento superficial. Blavet et al. (2009) reportam considerável redução nas taxas de perda do solo com a introdução de compostos orgânicos à base de vinhas.

A aplicação de condicionadores do solo consiste na introdução de material de diferentes origens no solo, no intuito de melhorar ou, no mínimo, estabilizar suas propriedades físicas, químicas e, ou biológicas (Shinde et al., 2019).

São largamente utilizados na produção agrícola, sendo úteis para a formação e estabilização de agregados (Morgan, 2005), regulação do pH do solo, ajustes na capacidade de infiltração, aeração, desenvolvimento das raízes, aumento da fertilidade e disponibilidade de nutrientes, bem como na recuperação de áreas degradadas, dentre outros (Shinde et al., 2019).

2.10.2 Tipos de condicionadores do solo

Segundo Morgan (2005), os condicionadores de solo se dividem em dois grupos, aqueles que tornam o solo hidrofóbico e, portanto, diminuem a infiltração e aumentam o escoamento, e aqueles que tornam o solo hidrofílico, aumentam a infiltração e diminuem o escoamento. O seu uso dependerá dos objetivos a serem alcançados em determinada zona de plantio.

Shinde et al. (2019) sustenta que os condicionadores podem ser divididos quanto à origem de seu material de constituição (sintético ou natural) e quanto a sua composição (orgânica ou mineral). De acordo com Sojka (2007), existem três classes de condicionadores:

2.10.2.1 Os de materiais inorgânicos

São sais minerais, que modificam os processos físicos e químicos do solo, como por exemplo aumentar o pH do solo e a estabilização dos agregados devido às interações catiónicas, bem como a melhora na utilização dos recursos hídricos (Shinde et al 2019). São exemplos o gesso (CaSO_4), e calcário (à base de carbonato de cálcio CaCO_3 e carbonato de magnésio MgCO_3), dentre outros, e funcionam muito bem na recuperação de áreas degradadas e em zonas de solos sob regime árido e tropical (Sojka e Entry 2005).

2.10.2.2 Os de materiais sintéticos

Compostos predominantemente por polímeros orgânicos, reagem em interações físicas e químicas com o solo de modo a formar e estabilizar os agregados, aumentar a fertilidade e otimizar a taxa de infiltração. São produtos de cadeia longa e elevado peso molecular, solúveis em água e comparativamente aos

condicionadores naturais, requerem menor concentração do produto para evidenciar as melhorias na qualidade do solo.

Dentre os polímeros mais utilizados na produção agrária, destacam-se os polímeros catiônicos, como o PVC (Policloreto de polivinila) e PPH (Cloridrato de polifenol) de alto poder floculante, os polímeros aniônicos, como a Poliacrilonitrila hidrolisada (HPAN) e a Poliacrilamida (PAM) que age como estabilizador dos agregados e que foi utilizada no experimento do presente trabalho (Figura 13).

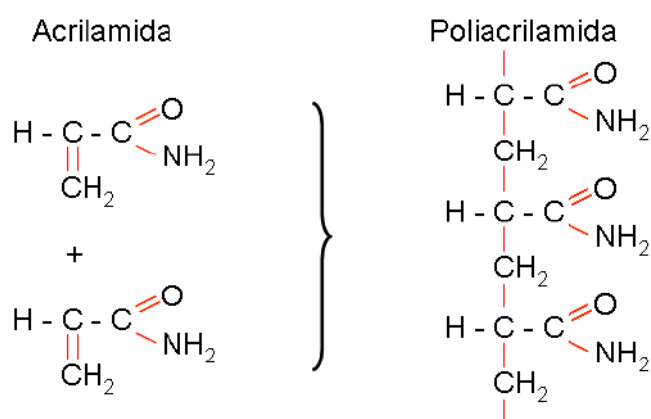


Figura 13 - Estrutura química PAM

Fonte: Almeida (2018)

Pesquisas relacionadas ao uso da PAM no solo como método de prevenção à erosão remontam a década de 1950. Diferentemente de outros polímeros, este não é solúvel em água, porém suas características altamente hidrófilas permitem que este condicionador absorva centenas e até milhares de vezes a sua massa em água (Sojka,1994). Segundo Morgan (2005), altas taxas de infiltração do solo são expectáveis com este tratamento, portanto uma redução no destacamento do solo e escoamento superficial. É uma alternativa viável em zonas onde tenham solos moldados por um contexto de regime de chuvas escasso (Sojka, 1994) e mitigam, também, a erosão eólica, uma vez que reduz a abrasão da superfície dos solos com partículas dispersas no vento (Morgan, 2005).

A resposta positiva da Poliacrilamida fica evidente no trabalho de Morais (2019), onde ficou constatado a eficácia de sua aplicação quanto à erodibilidade em diversos solos presentes no NE de Portugal, inclusive o solo aqui estudado, o Idox, bem como em áreas áridas (Alves,2018). Sua aplicação pode ser direta na camada

superficial do solo, tanto em seu estado sólido, quanto dissolvido em água e aplicado diretamente.

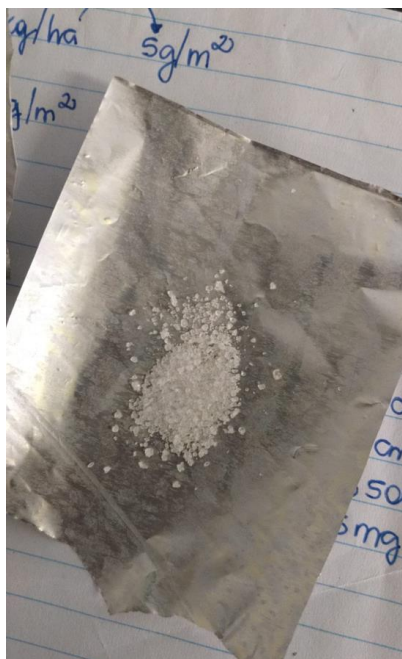


Figura 14 – Quantidade de PAM utilizada nos tabuleiros.

2.10.2.3 À base de materiais orgânicos

Essa classe de condicionadores deriva, essencialmente de matéria biológica, de origem vegetal e, ou animal, tendo como exemplo mais relevante as compostagens (decomposição de resíduos e subprodutos orgânicos pela ação de microorganismos) que aumentam as taxas de fertilidade dos solos devido aos produtos da atividade bacteriana presente. Tais microrganismos ao realizarem os processos de fermentação e decomposição da matéria orgânica produzem substâncias fertilizantes, como o Azoto (N), Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg) (Shinde, 2019), além de reduzir a biomassa quando comparado ao composto sem a devida decomposição.

Hossain et al. (2016) sugerem que resíduos e subprodutos orgânicos de origem vegetal são uma excelente fonte de nutrientes, aumentando a produtividade do solo.

Essa classe de condicionadores serve para aumentar a capacidade de retenção e infiltração de água no solo, diminuir o escoamento superficial, aprimorar a agregação, fornecer substrato para atividades biológicas, aumentar arejamento e resistência à compactação do solo (Shinde et al., 2019).

Morais (2019) sugere que as aplicações de condicionadores orgânicos são eficazes no combate à erodibilidade, melhorando tais indicadores físicos de 4 dos 5 perfis de solo mais representados na região transmontana, exceção feita ao leox (Leptossolos êutricos órticos de xistos e afins - FAO 1988).

Resíduos de lagares de azeitonas bifásicos contêm um teor importante de matéria orgânica, e a sua reciclagem como corretivo orgânico ou fertilizante pode ser uma alternativa para o seu descarte que também melhora a qualidade do solo e a produtividade (López-Piñero, 2011).

A aplicação direta do bagaço de azeitona sobre o solo sem a devida compostagem não é autorizada, entretanto, uma vez que sua alta concentração de fenóis e pH ácido, sugerem um comprometimento na germinação de sementes, no crescimento das plantas, bem como na atividade microbiótica no solo em questão (Killi e Kavdir, 2012). Alguns trabalhos mostram que ao compostar o resíduo, mistura-se a esse volume uma determinada percentagem de folhas de oliveira, ou da cultura em questão, talos, galhos, caroços, juntamente com estrume de animais coexistentes no mesmo ecossistema (agentes estruturantes) e posteriormente, deixado em pilhas com boa ventilação para que possa decompor por 7 a 9 meses. (Gómez-Muñoz, Hatch, García-Ruíz, 2012).

Sempiterno e Fernandes (2010), anotam que:

“A compostagem visa a eliminação dos polifenóis, criando-se melhores condições para um aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica aplicada, assim como a diminuição da acidez original dos subprodutos, de modo a obter-se uma reação próxima da neutralidade.”



Figura 15 – Olival em região transmontana

2.11 Importância socioeconômica do olival e do azeite no NE de Portugal

Desde tempos remotos a oliveira (*Olea europaea* L.) é cultivada pelos povos do mediterrâneo desde a Antiguidade, seja para seu uso alimentar, como o azeite de oliva, seja para seu uso sanitário (sabão), religioso e medicinal (bálsamos) e até como combustível para iluminação (DRAP, 2021). Duarte et al. (2007) anota que sua cultura representou muito no desenvolvimento de áreas periféricas fortemente dependentes da atividade agrícola nas regiões do semiárido mediterrânico, constituindo fonte de rendimento e emprego para seus povos.

Em Portugal o cenário não é diferente de seus vizinhos mediterrânicos quando o assunto é a relevância dos olivais tanto para a economia, quanto para a identidade nacional. Cultivado em terras transmontanas desde o século XIV, foi a partir da segunda metade do século XIX que sua produção se estabeleceu como uma das marcas de Portugal, senão vejamos a seguir (Figura 16).

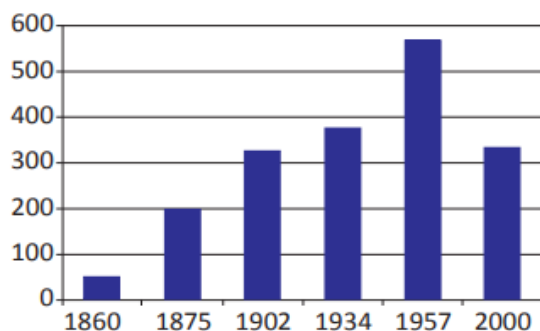


Figura 16 - Evolução da área de olival em Portugal

Fonte: Adaptado de Reis, 2014

Apesar de um decréscimo na produção nacional de azeite no início dos anos 2000, dados do INE apontam que, em 2021 Portugal alcançou uma produção recorde de azeitonas para azeite na ordem de 1.1 milhões de hectolitros (INE, 2021).

As regiões portuguesas que mais se destacam na produção do azeite são as do Alentejo, e de Trás-os-Montes, responsáveis por mais da metade da produção nacional, seguidas pelas regiões da Beira Interior, Ribatejo e Oeste, representadas no mapa:

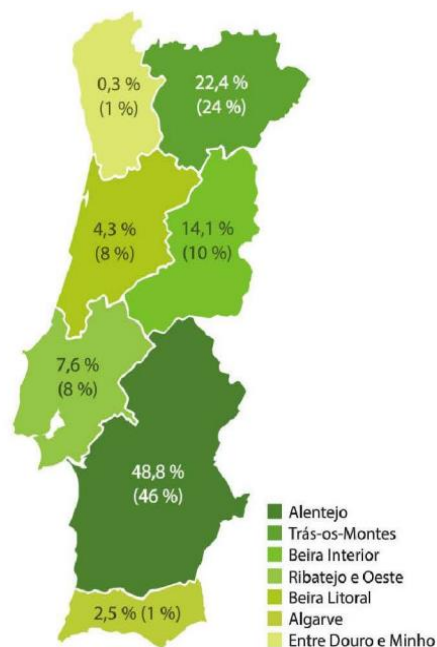


Figura 17- Distribuição da área de olival e da produção (entre parêntesis) pelo território nacional

Fonte: INE, 2014

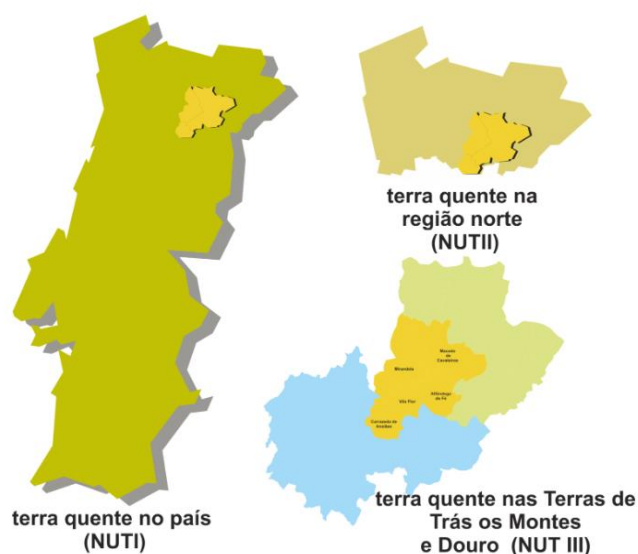


Figura 18 – Terra Quente Trás os Montes

Fonte: INE, 2014

Em Trás-os-Montes, a produção olivícola se dá principalmente na região denominada Terra-Quente transmontana, região de transição entre o Alto Tâmega e a Terra Fria transmontana, abrangendo uma área de aproximadamente 70000 hectares (INE, 2014). Essa região caracteriza-se por verões quentes e secos e invernos rigorosos, tipicamente mediterrânicos apresentando relevo moderado, com altitudes variando entre 200m e 600m (Figueiredo, 2013).

2.12 Cadeia olivícola, seus resíduos e impactes ambientais

A fileira do azeite compreende uma série de etapas envolvidas, desde a preparação do solo e plantio das oliveiras, passando por sua manutenção e colheita, até a fase de processamento, onde a extração do óleo da azeitona produz azeite das mais variadas qualidades, embalagem e distribuição, bem como a geração de subprodutos e resíduos, que serão reaproveitados ou descartados, ou vendidos para unidades industriais independentes extratoras do óleo do bagaço da azeitona, dando origem ao bagaço extratado, ou esgotado, objeto de análise como condicionador do solo neste estudo.

A extração do azeite dos frutos se dá principalmente por dois métodos de centrifugação: o de duas fases, mais moderno e que vem ganhando espaço na indústria oleícola nacional, e o sistema de três fases, como vê-se na tabela abaixo,

extraída do site do INE com dados de 2020 em relação aos sistemas de extração utilizados em Trás-os-Montes.

Tabela 1- Tipos de lagares de azeite ano 2020

Período de referência dos dados	Localização geográfica (Região agrária)	Azeite produzido (hl) por localização geográfica (região agrária) e sistema de extração utilizado				
		Sistema de extração utilizado				
		Total	Tradicional	Contínuo duas fases	Contínuo três fases	Outros
		hl	hl	hl	hl	hl
2020	Portugal	1 070 620	23 722	1 005 712	40 695	490
	Trás-os-Montes	77 897	5 122	156 194	16 581	0

Azeite produzido (hl) por localização geográfica (região agrária) e sistema de extração utilizado- INE, Inquérito anual à produção de azeite

Fonte: INE (2020)

O sistema de extração trifásico foi introduzido por volta de 1970, a fim de aumentar a capacidade de processamento e rendimento dos métodos tradicionais de prensa existentes até então. Produz uma fase oleosa de cerca de 20%, um resíduo sólido (30%) e uma fase aquosa de cerca de 50%, denominada em Portugal como “águas ruças” (Borja et al., 2006), de coloração escura, forte odor e de elevado potencial poluente, devido à alta concentração de fenóis. Druoussi et al. (2008) realça a gravidade dos danos causados aos recursos hídricos locais, além de comprometer a viabilidade do tratamento de águas residuais nas estações.

Estima-se que, todos os anos, seja despejada uma quantidade aproximada de 30 milhões de m³ de águas ruças em toda a região do Mediterrâneo (Gebreyohannes et al., 2016).

O sistema de duas fases, veio de modo a substituir o sistema de três fases visando uma redução na quantidade de material descartado. Este sistema utiliza um decantador específico que dispensa a utilização de água na separação das fases em bagaço (cerca de 55% a 70% de humidade) e um mosto oleoso contendo azeite e alguma água residual, que posteriormente será separada (Sempiterno, 2007).

Em ambos os casos, o bagaço de azeitona pode ser comercializado para, em unidade industrial independente e após devida secagem e processamento, ser dele extraído a gordura residual, chamada de óleo de bagaço de azeitona ou azeite, a depender do método de extração, se químico ou físico.

A produção de azeite, seja nos olivais ou nos lagares e indústrias extratoras e refinadoras gera grandes quantidades de resíduos, sólidos e líquidos que não possuem atualmente valorização econômica relevante (Alligianis et al., 2015).

Entretanto, vários estudos têm se voltado para a valorização destes subprodutos com diferentes finalidades, como condicionadores de solo (compostagem), ração animal, óleo residual, na extração de componentes orgânicos, inclusive para a indústria alimentícia e cosmética (Paz Otero et al., 2021). Abaixo, segue um esquema ilustrativo da fileira do azeite (Figura 19).

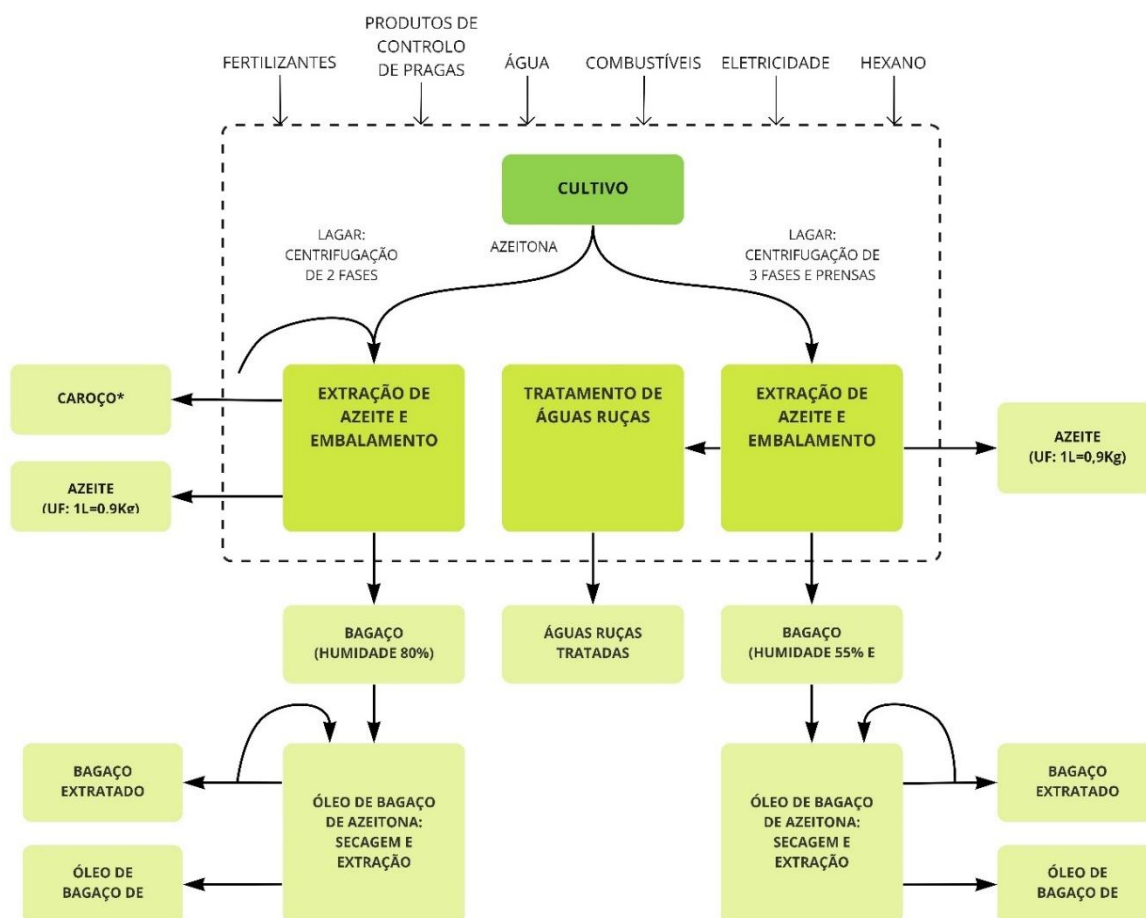


Figura 19 – Fluxos do processo de fabrico de azeite

Fonte: Adaptado Feliciano e Freire (2015)

2.13 Características do bagaço da azeitona

O bagaço de azeitona é compreendido como sendo uma mistura composta pela polpa, pele, caroço da azeitona e da água de constituição da azeitona (Brito, 2016). Segundo a Agência Portuguesa do Meio-Ambiente (2019), é um subproduto obtido durante a extração do azeite se:

- Se destina a unidades de extração para obtenção de óleos de bagaço de azeitona,
- Se se enquadra na definição de matérias-primas para a alimentação animal.

O bagaço extratado, por outro lado, advindo de indústrias extratoras do óleo do bagaço de azeitona é considerado pela mesma agência como um bio resíduo.

Albuquerque et al., (2004) ressalta que o bagaço de azeitona contém um elevado conteúdo orgânico e mineral. Com base no seu peso seco, contém cerca de 15% de gordura, 6% de proteínas, 16% de hidratos de carbono e 63% de fibras, contendo uma elevada relação carbono/azoto (Caetano, 2015).



Figura 20 - Bagaço de azeitona para ser compostado

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Solo em estudo

No sentido de eleger o solo aplicado em estudo, foi analisada a distribuição dos olivais no NE de Portugal, mais especificamente na região de Trás-os-Montes, região historicamente produtora de azeite e seus derivados, notadamente a segunda região com maior importância econômica para a indústria oleícola nacional (INE, 2014).

Figueiredo (2002) estabelece que as culturas de oliveira no NE de Portugal estão referenciadas sobre 24 unidades principais de solo, segundo a classificação FAO/UNESCO. A partir do perfil pedológico de onde estes olivais estão situados, pudemos, por fim, estabelecer a classificação do solo mais utilizado para sustentar a referida plantação e culturas associadas.

Tabela 2 - Unidades de Solo com Uso do Olival (% Área de Unidade de Solo e % Área Regional).

Soil Units with Olives (FAO/UNESCO) SU	Land Use of Soil Units with Olives			Regional Area (%)
	Olives Area (%SU)	Other Land Uses with %SU ¹ higher or lower		
Leptosols dystric schist	30	Cereal	Vines/Shrubs	49.2
eutric basic rocks	30	Cereal	Almonds/Shrubs	7.9
eutric schist (orthic)	20	Cereal/Almonds	Vines/Shrubs	18.3
eutric schist (cambic)	30	Cereal	Almonds/Shrubs	0.3
eutric basic rocks (cambic)	40	Cereal		0.5
Fluvisols calcareic	100			0
eutric	20	Irrigated/Fruits	Vines	0.6
Cambisols dystric granite	30	Cereal	Vines	5.6
dystric granodiorites	40	Cereal		0.9
chromic basic rocks	40	Cereal		0
chromic basic rocks ²	20	Forest/Shrubs/Almonds		0
chromic sedimentary	30	Vines	Cereal	0.2
eutric schist	40	Almonds/Cereal		0
Luvisols chromic schist	30	Cereal	Vines	0
chromic sedimentary	20	Cereal/Vines	Perennials	0
Regosols eutric schist	20	Irrigated/Mixed ³		0
Anthrosols terracic dystric granite	30	Mixed ³	Vines	1.1
terrassic eutric schist	50	Vines/Mixed ³		0
Anthrosols surribic dystric schist	30	Vines	Fruits	12.8
surribic dystric granite	30	Vines	Fruits	0
surribic eutric schist	40	Vines		2.6
Para-Regosols dystric schist	10	Cereal/Shrubs/Chestnuts		0
eutric basic rocks	40	Cereal		0
calcareic schist	100			0

¹ Other Land Uses were compared with % Soil Unit area affected by Olives, areas being estimated from Soil Unit descriptions.

² Developed over slope deposits.

³ Annual or perennial crops around villages.

Fonte: Figueiredo (2002)

Depreende-se, portanto, que os Leptosolos Dísticos Xísticos (Ilox) representam quase metade da área em que estão distribuídos estes olivais (49,2%).

Em relação à zona climática onde estes solos se situam conclui-se que estão em sua maioria presentes na Terra Quente transmontana e em Terras de Transição apresentando precipitação anual média inferior a 800mm, apresentando um clima eminentemente semiárido. Se não, vejamos na tabela abaixo adaptada de Agroconsultores.

Tabela 3 – Zonas climáticas do Nordeste de Portugal de acordo com temperatura e precipitação médias anuais

Classificação das zonas climáticas do Nordeste de Portugal	
Temperatura média anual	
A	Terra Fria de Alta Montanha, com temperatura média (T) $\leq 9^{\circ}\text{C}$
M	Terra Fria de Montanha, com $T > 9^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 10^{\circ}\text{C}$
F	Terra Fria de Planalto, com $T > 10^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$
T	Terra de Transição, com $T > 12,5^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 14^{\circ}\text{C}$
Q	Terra Quente, com $T \geq 14^{\circ}\text{C}$
Precipitação média anual	
1	Precipitação superior a 1200mm
2	Precipitação entre 1000 e 1200mm
3	Precipitação entre 800 e 1000mm
4	Precipitação entre 600 e 800mm
5	Precipitação abaixo de 600mm

Fonte: Agroconsultores e Coba (1991)

De acordo com Agroconsultores e Coba (1991) referido por Figueiredo (2005) “A maior parte do território regional é ocupada por solos incipientes, caracterizados por muito débil evidência de actividade pedogenética”.

A pedregosidade dos solos na região transmontana combinado com seu caráter delgado, e associado a características do seu relevo de inclinação moderada e clima semiárido, favorece a ocorrência de processos erosivos relacionados à erosão hídrica.

Esse processo é agravado quando notamos que a maior parte da produção olivícola se dá de maneira tradicional, não mecanizada, como aponta Figueiredo (2002). Tais fatores contribuem para que tenhamos uma região caracterizada por

solos de elevada erodibilidade (fator K). De acordo com a classificação de Figueiredo (1989), um dos solos mais erodíveis do Nordeste de Portugal é exatamente o Idox.

Todos esses fatores, quando associados, podem catalisar o processo de desertificação dessas áreas, desencadeando uma série de consequências, como a salinização dos solos, surgimento de ravinas e sulcos na superfície, aumento do stress hídrico e perda da produtividade agrícola (INE, 2011). Dados do INE (2011), indicam um aumento na área muito suscetível à desertificação em Portugal Continental quando comparado com dados de algumas décadas atrás.

Tabela 4 – Evolução temporal das áreas suscetíveis à desertificação em Portugal Continental

Classe de suscetibilidade à desertificação (tipo climático de acordo com o índice de aridez)	1960 / 1990	1970 / 2000	1980 / 2010
Áreas não suscetíveis (húmido e sub-húmido chuvoso)	64%	46%	42%
Áreas suscetíveis (sub-húmidas secas)	8%	30%	27%
Áreas muito suscetíveis (semiáridas)	28%	24%	31%

Fonte: INE 2011

Faz-se, portanto, pensar em soluções economicamente viáveis, e que utilizem dos mecanismos já existentes neste contexto, a fim de mitigar, principalmente a erosão hídrica na região supramencionada.

3.1.1 Características edáficas do solo Idox

Apresentam horizontes delgados, geralmente apenas o A, C e a rocha matriz pouco meteorizada (LEPCH, 2010). Agroconsultores e Coba (1991), definem o solo Idox da seguinte maneira:

“Solos limitados por rocha contínua dura coerente a partir de menos de 50cm de profundidade, ou solos de material não consolidado, muito pedregoso, tendo menos de 20% de terra fina até 125 cm de profundidade”.

Os autores ainda indicam para esse tipo de solo um elevado fator de erodibilidade (4/4) em função da granulometria, da estrutura, da matéria orgânica, da permeabilidade e da litologia.

Está presente eminentemente nas regiões da Terra Quente transmontana e da Terras de Transição, em locais de regime pluviométrico escasso, de médias de precipitação máximas abaixo dos 800 mm/ano (Morais, 2019).

Conforme podemos ver na Tabela, adaptada de Figueiredo (2002) e Morais (2019), temos o valor de referência para designar a susceptibilidade à erosão, onde Lima (2016) obteve um valor de K para o Idox = 0,061, classificado, portanto, como de elevada susceptibilidade:

Tabela 5 – Classificação de susceptibilidade à erosão

Classificação de susceptibilidade à erosão		
Classe	Fator K	Designação
1	<0,017	Baixo
2	0,017 - 0,021	
3	0,021 - 0,024	
4	0,024 - 0,029	
5	0,029 - 0,035	Médio
6	0,035 - 0,040	
7	0,040 - 0,046	
8	0,046 - 0,053	
9	0,053 - 0,061	Elevado
10	0,061 - 0,069	
11	0,069 - 0,078	
12	≥0,078	

Fonte: Adaptado de Figueiredo (1989)

Abaixo, as tabelas com as análises físico-químicas representativas do solo em questão, extraídas de Morais (2019):

Tabela 6 - Análise físico-química do solo Idox
a. Complexo de troca

Solo	ANÁLISE AO COMPLEXO DE TROCA						
	Cmol(+) kg ⁻¹						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	AT	Al ³⁺	CTCe
Idox	4,73	1,16	0,43	0,90	1,20	1,00	8,43

Fonte: Adaptado Morais (2019)

Tabela 7 - Análise físico-química do solo Idox
b. Matéria Orgânica, pH e teor em Fósforo e Potássio extratáveis

Solo	M.O	pH	mg kg ⁻¹	
	%	H ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Idox	1,3158	4,59	42,18	113

Fonte: Adaptado Morais (2019)

Tabela 8 - Análise físico-química do solo Idox
c. Propriedades físicas (Fator erodibilidade K)

Solo	K inicial (cm/h)	Classe	K final (cm/h)	Classe	DAP (g/cm ³)	CMA	CC	P	MicroP	MacroP	Elementos Grosseiros
Idox	146,61	MR	91,06	MR	1,34	30%	28%	41%	37%	3%	44%

Fonte: Adaptado Morais (2019)

3.2 Área de coleta das amostras de solo em estudo

Para a escolha da área de colheita do solo Idox, foi selecionada a zona rural de Gimonde, nos arredores de Bragança, tendo como ponto de referência a Quinta das Covas (41°47'59.08" N/6°41'30.28" O) acompanhando o trabalho de Morais, 2019.

O solo foi coletado a uma altitude de 535m, a uma inclinação de 13% e profundidade de 35cm para a colheita da amostra. Na região em questão, predominam-se os pousios de olivais de cereais.

3.3 Simulador de chuva

Para a realização dos ensaios foi utilizado em estudo um simulador de chuva do tipo aspersor. O equipamento adaptado com 4 patas flexíveis de tubo galvanizado extensíveis, com 2,70m de comprimento cada pata, formando assim, um quadrado perfeito com uma área de 9m² aproximadamente, atingindo uma altura já pré-estipulada de 2,45m em relação ao centro. Há também, acoplado à estrutura, próximo ao bico aspersor tem fixado um manômetro para verificação da pressão no mesmo (Figura 23).



Figura 21 – Base do simulador de chuva

A metodologia definida para caracterizar a precipitação no simulador foi fundamentada a partir de outros trabalhos como o de Morais (2019) e Royer (2019) orientados por Figueiredo.

3.4 Calibração do simulador e funcionamento

Em função do tipo de simulador foi utilizado uma bomba modelo “Grunfos”, assim, bombeava água a partir de dois bidões interligados, mantendo um nível constante de água para que durante os ensaios não houvesse variações de caudal, pressão e intensidade. Foram colocados acima da altura do bico aspersor, no segundo andar do laboratório, certificando assim, pressão adequada e melhor distribuição da chuva durante a simulação.

Com a finalidade de calibrar o aparelho para obter uma distribuição mais uniforme possível da precipitação e assim verificar a intensidade, pressão e caudal eram necessários alguns testes em todas as chuvadas. Sendo assim, o simulador foi calibrado para que em todos os ensaios a intensidade da chuva decorresse em média de $59,36 \text{ mm.h}^{-1}$.

3.5 Aparelhos de suporte das amostras de simulação

O dispositivo utilizado no presente trabalho foi fabricado no Laboratório de Solos do IPB, a estrutura compõe-se de uma base feita em alumínio, com espaço para encaixar três bidões de capacidade igual a 10 litros, cada bidão teve uma de suas faces cortadas em três lados, deixando-o assim um formato de “tampa”. Inclinado para a vertical, essa face móvel servia como apoio para a placa de salpico. Com a abertura das faces formou-se um vão, onde se encaixa um outro recipiente que permite sustentar o tabuleiro com as amostras de solo para os ensaios das chuvadas. Os dois tabuleiros foram perfurados para que a água pudesse drenar e infiltrar no solo no decorrer dos ensaios. No tabuleiro de apoio foi conectado um tudo pequeno até um outro recipiente para receber a água infiltrada pelo solo. A estrutura ainda era composta por um tecido antiaderente, para que os bidões não se deslocassem da posição ideal durante os ensaios.



Figura 22 – Base simulador de chuva montada com os tabuleiros

O suporte de alumínio usado como estrutura base para pousar os bidões com as amostras, foi construído para ter uma inclinação de 15%, sendo uma ideal declividade para a estabilidade das amostras durante as chuvadas.

Durante as simulações de chuva foi possível coletar escoamento superficial, perda de solo e salpico e logo que depois do ensaio cada parâmetro era calculado e medido dentro do laboratório de solos.

Para a amostragem do escoamento superficial (Figura 25) e perda de solo (partículas desprendidas carregadas pelo escoamento), foi planejada uma rampa metálica com uma tampa de encaixe do mesmo material que se inseria entre o tabuleiro com a amostra que seriam encaminhados para quantificação no laboratório. Cada recipiente de recolha foi identificado e recebia o material lixiviado (água e solo) durante um tempo pré-determinado de média de 4 minutos, intercaladas três vezes nos 30 minutos de precipitação em todas as chuvadas, especificamente nos tempos 6-10 min, 16-20 min e 26-30 min.



Figura 23 - Representação do Escoamento no ensaio

Para a coleta do salpico foi utilizada uma placa metálica (Figura 26) que se encaixa na “tampa” na vertical, feita pelo corte das arestas do bidão. A placa metálica foi planeada para interceptar o material salpicado a partir do primeiro contato com a água da chuvada e em seguida o material era redirecionado à um outro reservatório de colheita que se posicionava à frente da placa metálica.



Figura 24 – Placa metálica do Salpico

Foram adotados alguns parâmetros médios como referência para todas as chuvadas, estes são:

- Intensidade da chuva: $59,36 \text{ mm h}^{-1}$
- Pressão: 0,40 bar;
- Caudal: $0,19 \text{ l s}^{-1}$;
- Altura da queda da chuva: 2,45m;
- Inclinação do plano: 15%;
- Duração de cada chuvada: 30 minutos.

3.6 Preparação dos solos a ensaiar

Os solos que foram utilizados na montagem dos tabuleiros para as simulações, foram primeiramente crivados à uma malha de 2mm, para selecionar o material grosseiro presente, a partir do material resultante da primeira crivagem, se fez uma segunda, à uma malha de 0,75mm para retirar o excesso de material médio grosseiro e então alcançar a granulometria ideal do solo para não haver intervenções na drenagem da chuva durante os ensaios.



Figura 26 – Crivagem do solo utilizado no ensaio experimental:
a. Crivos de malhas 2mm e 0,75mm
b. Solo crivado para amostragem
c. Solo crivado (material grosseiro e médio)

Posteriormente o solo era estendido e deixado para secar em ambiente arejado e protegido pelo período de 24 horas.



Figura 25 – Secagem do solo antes da montagem dos tabuleiros

Em seguida à crivação e secagem dos solos, os mesmos foram depositados de maneira uniforme nos tabuleiros forrados com um tecido permeável que possibilitava a livre drenagem da água e impedia a passagem de solo pelas perfurações.

Dessa forma, a cada ensaio de chuva, eram preparados, por vez, três tabuleiros, visto que a cada simulação, era possível fazer três repetições.

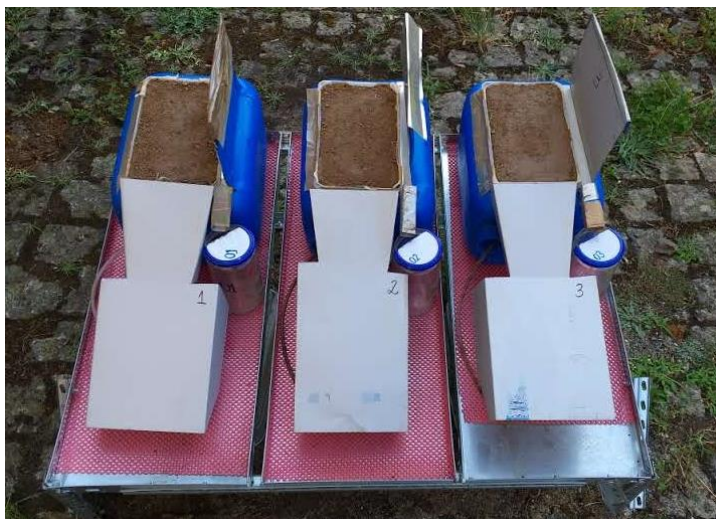


Figura 26 – Tabuleiros postos à base

No primeiro ensaio apenas se utilizou o solo original (tratamento designado controlo), ou seja, sem nenhum tipo de corretivo. No último ensaio se usou um condicionador sintético, a Poliacrilamida (tratamento designado PAM). Os dois casos tomaram-se como tratamentos de controle.

Em todas as outras simulações, os tabuleiros foram preparados com o corretivo orgânico, seguindo o mesmo protocolo de enchimento dos tabuleiros, com exceção da última camada (superior). Para completar o enchimento do tabuleiro, era incorporada ao solo original uma mistura de quantidade e concentração pré-determinada do corretivo orgânico. Desta forma, foram amostrados 7 tratamentos.

O preparo do tabuleiro com o condicionador sintético, a PAM, foi realizado da mesma forma, minutos antes do ensaio, foi adicionado de forma muito precisa e uniforme à última camada do solo, uma quantidade de 0,15525 gramas de PAM, em estado sólido, configurando uma concentração de 5 kg/ha ou 5g/m².

O tabuleiro mantinha-se em processo de saturação por capilaridade por aproximadamente 12 horas até o momento da simulação.

3.7 Tipos dos tratamentos a ensaiar

Dentre a gama de corretivos de natureza orgânica testados no experimento, estes podem ser divididos em dois grupos: os corretivos orgânicos compostos (advindo das pilhas de compostagem) e os corretivos orgânicos não compostados (bagaço extratado). Como grupos controle foram definidos o solo originário e o solo tratado com condicionador sintético à base de PAM (Tabela 9).

Tabela 9 - Tipos de tratamentos e definições

Bateria	Tratamento	Definição
1	Solo Nu	Amostras com solo original
2	Composto Pilha A	Amostras com 1,2 kg/m ² de composto de bagaço de azeitona de classe 1 usado como condicionador
3	Composto Pilha B	Amostras com 1,2 kg/m ² de composto de bagaço de azeitona de classe 1 usado como condicionador
4	Composto Pilha C	Amostras com 1,2 kg/m ² de composto de bagaço de azeitona de classe 1 usado como condicionador
5	Bagaço Extratado 1	Amostras com 1,2 kg/m ² de subproduto, bagaço de azeitona
6	Bagaço Extratado 2	Amostras com 1,2 kg/m ² de subproduto, bagaço de azeitona
7	PAM	Amostras com 5,0 g/m ² de condicionador sintético, Poliacrilamida

- Controlo (solo original) Idox sem nenhum tipo de condicionador aplicado;

- Composto orgânico elaborado com bagaço de azeitona usado como condicionador do solo retirados de três pilhas de compostagem (denominados “Composto A”, “Composto B” e “Composto C”).

- Bagaço semi-extratado seco (apresenta 1% de gordura, não há extração com hexano) e bagaço extratado seco (sem gordura, com extração através do hexano) como condicionador do solo, aqui chamados de “BSES 1” e “BES 2” respectivamente. A concentração utilizada como referência para este trabalho foi de 12 t/ha, que, na amostra simulada corresponde a 37,5g de condicionador orgânico.

- Condicionador sintético (PAM - Poliacrilamida). O corretivo sintético, qual seja a Poliacrilamida (PAM). De acordo com as proporções da área do tabuleiro foi utilizado aproximadamente 0,15525g de PAM (Figura 30).



Figura 27 - Pesagem PAM em balança de precisão

Temos, portanto, um total de 7 baterias de simulações realizadas, para um total de 7 tratamentos amostrados (controle, composto orgânico A, composto orgânico B, composto orgânico C, bagaço semi-extratado seco - BSES 1, bagaço extratado seco - BES 2 e Poliacrilamida - PAM).



Figura 28 - Tabuleiros à ensaiar com PAM

Os condicionadores usados como tratamento nas amostras simuladas foram escolhidos de forma que pudesse haver comparações entre um condicionador orgânico e um sintético. Com a proposta de abarcar um espectro mais amplo possível a nível de proteção do solo, desde nenhum tipo de condicionador (solo original, menor proteção do solo), até o uso do condicionador sintético (PAM, maior proteção).

3.7.1 Caracterização dos compostos orgânicos amostrados e coleta de amostras

A origem dos compostos com bagaço de azeitona coliga ao projeto BIOMA (“Soluções integradas de Bioeconomia para a Mobilização da cadeia Agroalimentar”).

O condicionador composto orgânico, foi produzido a partir de pilhas de compostagem construídas à escala industrial em formato trapezoidal, contendo aproximadamente 23m³ de volume cada, contendo diferentes proporções de matéria prima em sua composição (Figura 33).



Figura 29 – Pilhas A, B e C (3m x 12m x 1,5m cada)

Tabela 10 – Composição das matérias-primas de casa pilha

	Bagaço húmido	Agente Estruturante	Estrume de ovelha
Pilha A	31%	62%	8%
Pilha B	44%	44%	11%
Pilha C	25%	25%	50%

Fonte: Hernandez et al. (2022).

Para a elaboração dos tabuleiros com o condicionador orgânico compostado a partir do bagaço foram coletadas amostras compostas de cinco pontos de cada uma das Pilhas (A, B e C), cujas propriedades físico-químicas se apresentam sinteticamente na Tabela 11.

Tabela 11 - Características físico-químicas do bagaço de azeitona

	Humidade (%)		Relação C/N		Matéria orgânica (%)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Pilha A	0,71	0,28	19,57	1,94	64,39	4,14
Pilha B	0,76	0,07	25,73	2,52	64,29	4,32
Pilha C	0,78	0,13	13,78	2,16	44,14	2,43

3.8 Delineamento experimental

A cada ensaio eram medidos o escoamento superficial, sedimento de rampa e salpico. As amostras eram submetidas a uma estufa em 105°C por 24 horas, para, por fim ser determinada a humidade e peso seco. Todos os parâmetros mencionados eram analisados e quantificados em laboratório.

3.8.1 Escoamento superficial e sedimento em suspensão

As partículas de solo que ficavam presas às rampas de metal eram cuidadosamente coletadas e adicionadas ao volume de escoamento superficial para sua posterior determinação de peso seco em laboratório, sob as condições específicas de temperatura a 105°C por um período de 24 horas. Uma vez conhecidos o volume de água e a perda de solo por escoamento, foi possível determinar o coeficiente de escoamento, a taxa de perda de solo, escoamento e concentração de sedimentos suspensos.

O coeficiente de escoamento é derivado da fórmula a seguir:

$$CE = E / P \text{ média} \times 100$$

Onde:

CE = Coeficiente de escoamento (%)

E = Escoamento (mm);

P média = precipitação média das chuvadas (mm)

3.8.2 Salpico

A amostra de salpico (Figura 35) que permanecia na placa de metal era retirada com o auxílio de uma pipeta, e adicionada para o recipiente de vidro, chamado de salpico vidro. Ambas eram adicionadas a um novo recipiente que, em seguida, era levado à estufa a 105°C por, no mínimo, 24 horas, como na colheita do escoamento e sedimento em suspensão. Após este tempo, obtinha o peso seco da amostra, que possibilitou então o cálculo da quantidade do salpico nos ensaios testados.



Figura 30 – Amostra de Salpico na chuvada para BSES 1

A quantidade de salpico, em g/m^2 , pode ser obtida pela fórmula a seguir:

$$SP = (2 \times sp / A) \times (I/I_{\text{média}})$$

Onde:

SP = Quantidade de salpico (g/m^2)

sp = Salpico da amostra simulada (g)

A = Área do tabuleiro (m^2)

I = Intensidade da chuva no ensaio (mm/hr);

I média = Intensidade média das chuvadas (mm/hr).

3.8.3 Concentração dos sedimentos global

A concentração global dos sedimentos foi encontrada pela relação entre a perda de solo e o escoamento, expresso pela seguinte equação:

$$CSg = PS/E$$

Onde:

PS = Perda de solo em g/m^2

E = Escoamento mm

3.8.4 Amostras de sedimento de rampa

Durante os ensaios, amostras de solo que eram arrastadas pela ação do escoamento superficial passavam obrigatoriamente pela rampa metálica montada. Ao fim do experimento, resquícios de solo permaneciam presos à rampa por não terem energia cinética suficientemente capaz de deslocá-los até o pote coletor. Para esses casos, era colhido o referido material, e, devidamente acondicionado era levado à estufa por 24 horas a $105^{\circ}C$, para então ser quantificado e registado.



Figura 31 – Amostra de Sedimento de rampa composto A

3.8.5 Perda do solo

A partir dos resultados de sedimentos em suspensão e sedimento de rampa, foi possível calcular o parâmetro de perda de solo, que é o produto da relação da perda de solo na amostra multiplicada pela relação das intensidades de precipitação.

O cálculo para a Perda de Solo se deu por meio da equação que se segue:

$$PS = (ps/A) \times (I/I_{m\u00e9dia})$$

Onde:

PS = Perda de solo (g/m^2);

ps = perda de solo no ensaio (g);
A = Área do tabuleiro (m²)
I = Intensidade da chuva no ensaio (mm/hr);
I média = Intensidade média das chuvadas (mm/hr).

3.8.6 Erodibilidade

Relacionada diretamente a perda de solo, a erodibilidade foi obtida através da seguinte equação, expressada pela relação entre a perda de solo e a precipitação:

$$EROD = PS / P$$

Onde:

EROD = Erodibilidade (g/m².mm)

PS = Perda de solo (g/m²)

P = precipitação (mm)

3.8.7 Destacabilidade

Ligada ao parâmetro do salpico, a destacabilidade foi obtida através da equação abaixo, expressada pela relação entre o Salpico e a Precipitação:

$$DET = SP / P$$

Onde:

DET = Destacabilidade (g/m².mm)

SP = Salpico (g/m²)

P = Precipitação (mm)

3.8.8 Concentração Sedimentos suspensos

A avaliação da concentração de sedimentos suspensos foi possível a partir da seguinte fórmula:

$$CS_{ss} = 1000 \times SS / e$$

Onde:

CS_{ss} = Concentração de sedimentos suspensos (g/L);

SS = Sedimentos suspensos (g);

e = Escoamento do ensaio (L).

3.9 Análise estatística dos dados

Para realizar os testes relativos aos parâmetros analisados durante as simulações (salpico, intensidade, perda de solo, erodibilidade, destacabilidade, intensidade, concentração dos sedimentos, sedimentos suspensos e sua concentração, além do escoamento e do coeficiente de escoamento) e sua relevância, foi utilizada, a partir do software Microsoft Excel, a tabela ANOVA.

Foi considerado como fator único o solo em questão, Idox, e as variáveis relativas aos tratamentos impostos às amostras.

Para a separação das médias dos parâmetros determinados, comparando os tratamentos propostos, utilizou-se o critério da Mínima Diferença Significativa (LSD – “Least Significant Difference”), a 5% de probabilidade, calculada a partir dos resultados da ANOVA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Intensidade de precipitação das chuvadas simuladas

O valor médio global da intensidade de precipitação ao longo do ensaio foi de 59,3mm/h, com um mínimo no tratamento com condicionador orgânico composto C (58,03mm/h) e um máximo no tratamento com condicionador orgânico BES 2 (61,05mm/h).

Não foi detectada variação significativa no indicador entre as simulações realizadas sobre os tratamentos do solo (Figura 37). Isto permite assumir condições homogêneas de precipitação no conjunto das simulações do ensaio e, portanto, associar a variabilidade na resposta erosiva das amostras apenas ao efeito do tratamento do solo, como estabelecido no delineamento experimental.

Tabela 12 – Média da Intensidade da chuva em cada tratamento

Tratamento	Média de Intensidade (mm/h)
controlo	59,5
composto A	59
composto B	54,7
composto C	58
BSES 1	60,5
BES 2	61,5
PAM	59,9

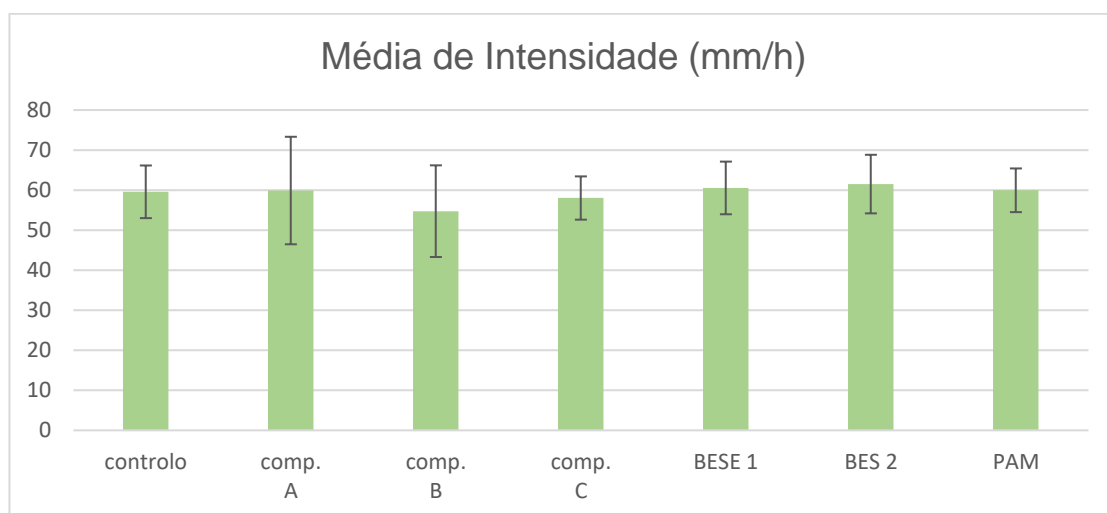


Figura 32 - Média e desvio-padrão da Intensidade (mm/h) das chuvadas simuladas por tratamento

4.2 Escoamento

O valor médio global de escoamento no controlo nu ao longo do ensaio foi de 10,37mm, com um mínimo no tratamento com condicionador orgânico BSES 1 (5,42mm) e um máximo no tratamento com condicionador sintético PAM (13,49mm).

Morais (2019), em realização de experimento semelhante, sobre o mesmo solo, Idox, obteve resultados com médias de escoamento superiores em todos os tratamentos analisados. Tal fato pode ser explicado pela intensidade média das chuvadas amostradas pelo autor serem superiores às do presente trabalho, com valor médio de 66,5mm/h.

Quando comparados os seis tratamentos com o controlo, pudemos notar uma diminuição das taxas de escoamento nas amostras contendo corretivos orgânicos, o que revela um aumento dos indicadores de infiltração nestes casos.

Apesar das tendências assinaladas, não foram identificadas diferenças significativas entre tratamentos quanto ao escoamento superficial durante as simulações de chuva (análise de variância, $p=0,05$). A elevada variabilidade nos valores do escoamento observados em cada tratamento (CV entre 11,4% e 52,5%) estará na origem deste resultado estatístico (Tabela 13).

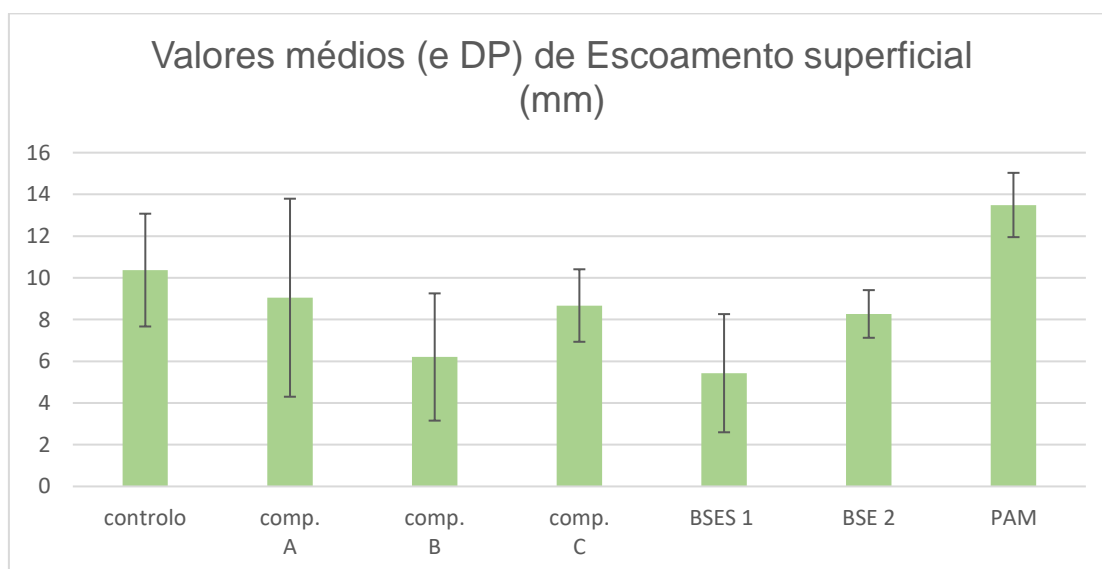


Figura 33 – Média e desvio-padrão do escoamento superficial (mm) para cada tratamento

Tabela 13 - Valores de escoamento superficial (mm) em cada tratamento

Tratamento	Média de escoamento superficial (mm)	DP de escoamento superficial (mm)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	9	4,7	52,5%	87,23%
composto B	6,2	3	49,1%	59,83%
composto C	8,7	1,7	20%	83,62%
BSES 1	5,4	2,8	52,2%	52,34%
BSE 2	8,3	1,1	13,8%	79,72%
PAM	13,5	1,5	11,4%	130,09%

Em relação aos solos tratados com condicionadores orgânicos, observamos que o composto B (6,2mm) e o BSES 1 (5,4mm) obtiveram relevante diminuição na taxa de escoamento superficial, sugerindo a eficiência notada por Lozano-García et al. (2011), que pôde constatar a redução nas taxas de escoamento superficial e aumento da infiltração de água em solo submetido à incorporação do composto de azeitona.

A partir da análise dos dados de escoamento obtidos, pudemos observar uma tendência de aumento do escoamento com o uso da PAM. Tal comportamento vai ao encontro do defendido por Yu et al., 2003; Soupir et al., 2004 e Ai-ping et al. (2011), de que em concentrações superiores a 2g/m² o referido condicionador adquire um caráter impermeável, aumentando o volume de escoamento superficial pela diminuição das taxas de infiltração. Alves (2018), observou comportamento semelhante, ao analisar o escoamento superficial em áreas áridas no NE de Portugal. Comprovou um aumento desse indicador nos casos destes solos tratados com PAM em concentrações de 5g/m². No caso do seu estudo, o valor encontrado para o indicador escoamento foi de 31,03 mm.

Por fim, cumpre salientar que todos os condicionadores orgânicos foram mais eficazes no indicador proposto quando comparados ao controle, mitigando a taxa de escoamento e aumentando as taxas de infiltração no solo.

4.3 Coeficiente de escoamento

O valor médio global de coeficiente de escoamento no controle ao longo do ensaio foi de 36%, com um mínimo no tratamento com condicionador orgânico BSES 1,18%, e um máximo no tratamento com condicionador sintético PAM, 46%.

Acompanhando a tendência demonstrada pelo parâmetro escoamento, o coeficiente de escoamento (%) para as simulações amostradas tampouco revelou haver diferenças significativas entre os tratamentos quando submetidos ao teste ANOVA. O valor de p encontrado foi de 0,96.

Tal fato, pôde também ser constatado no trabalho de Alves (2018), que utilizando apenas solos tratados com o corretivo sintético PAM obteve um valor de coeficiente de escoamento em solo semelhante (Leptossolo xístico) previamente saturado e com concentração igual à do presente trabalho de 87%.

Por outro lado, o trabalho de Morais (2019) mostrou que, submetido a condições semelhantes de simulação, o solo Idox apresentou maior CE nos solos tratados com condicionadores orgânicos, com valor igual a 80,1%. Tal discrepância poderá estar associada ao fato de serem diferentes os condicionadores do solo utilizados no estudo do referido autor (85% de estrume de equídeos e 15% de húmus de casca de pinho) e no presente trabalho (em média, 33% bagaço húmido de azeitona, 43,5% de agente estruturante e 23% de estrume de ovelha), bem como a diferença entre as intensidades de precipitação simuladas. Abaixo (Figura 39).

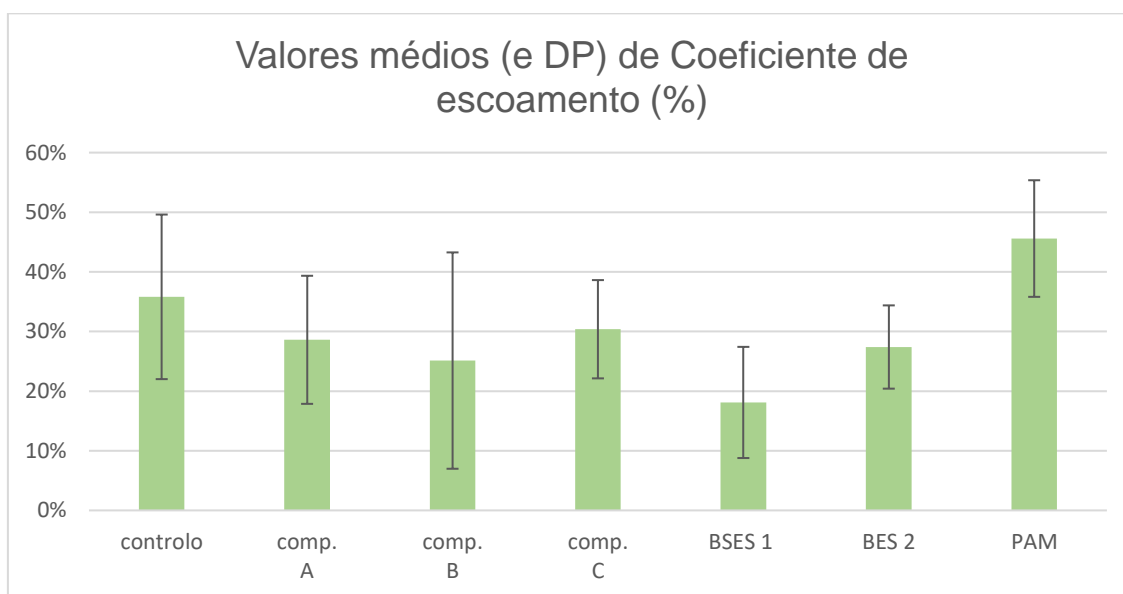


Figura 34 – Média e desvio-padrão do coeficiente de escoamento (%) para cada tratamento

Tabela 14 – Resultado coeficiente de escoamento (%) para todos os tratamentos

Tratamento	Média de coeficiente de escoamento (%)	DP de coeficiente de escoamento (%)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	29%	11%	38%	80%

composto B	25%	18%	72%	70%
composto C	30%	8%	27%	85%
BSES 1	18%	9%	51%	51%
BES 2	27%	7%	25%	76%
PAM	46%	10%	21%	127%

Após análise do coeficiente de variação nos tratamentos amostrados, vemos que há uma menor dispersão de valores nos solos corrigidos com o condicionador orgânico, quais sejam composto C e o BSE 2, bem como no solo tratado com PAM. Nas demais amostras, verificou-se uma alta dispersão, revelando dados heterogêneos.

Novamente podemos verificar o acompanhamento da tendência verificada no Escoamento, com destaque para condicionador orgânico BSES 1 obteve valores cerca de 50% menores em relação ao Coeficiente de Escoamento do solo privado de tratamento.

Fonseca et al (2017), apresenta uma análise de um cenário real com chuva natural, em uma área ardida, de condição de degradação extrema, em que o CE (%) médio é de 2,4%, consideravelmente abaixo do encontrado no presente trabalho.

4.4 Salpico

Nas análises feitas a partir do parâmetro do salpico, nota-se haver diferenças significativas entre os tratamentos propostos, obtendo-se o valor de $p=0,01$.

Claramente nota-se a eficácia do tratamento com a PAM, muito menor que os demais tratamentos, com valor de 73 g/m². O maior valor obtido foi de 636,8 g/m², colhido na amostragem contendo o tratamento com condicionador orgânico BES 2. O valor médio de salpico para o controle foi de 589,2g/m².

O salpico está diretamente relacionado com a destacabilidade do solo, e com o efeito splash, entendido como a desagregação das partículas do solo pelo efeito do choque com as gotas de chuva precipitadas, carregadas com energia cinética (Liu et al., 2021).

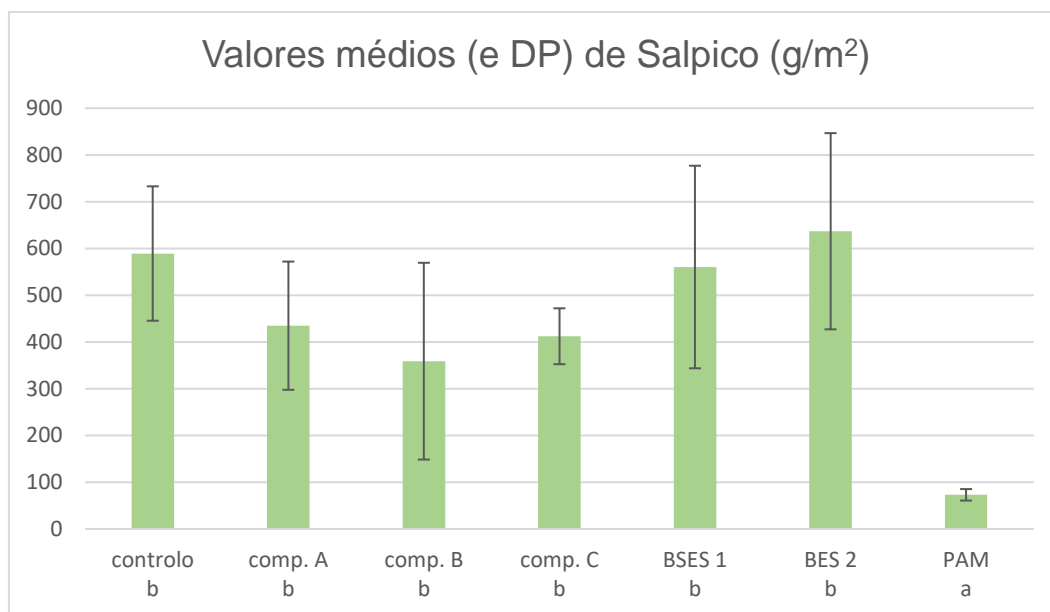


Figura 35 - Resultado do salpico do solo para os diferentes tratamentos, onde letras diferentes abaixo aos tratamentos representam as diferenças significativas entre eles, considerando o LSD 5%.

Dos tratamentos à base de compostos orgânicos e na amostra com o controle temos uma maior carga de sedimento destacado do tabuleiro, com destaque para a amostra contendo BES 2 como condicionador. Por estar presente em muito maior concentração que a PAM, pode-se inferir que partículas orgânicas do corretivo foram expostas à ação do efeito splash.

Tabela 15 - Valores de salpico (g/m²) por solo e tratamento

Tratamentos	Média de salpico (g/m²)	DP de salpico (g/m²)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	434,8	137,2	32%	74%
composto B	358,9	210,4	59%	61%
composto C	412,2	59,8	14%	70%
BESE 1	560,3	216,7	39%	95%
BESE 2	636,8	209,8	33%	108%
PAM	73	12,3	17%	12%

Em todos os casos tratados com CO compostos houve melhoras na relação de eficiência quando colocados em contraste com o solo exposto. O tratamento contendo o condicionador orgânico composto B apresentou valores de salpico de 61% quando comparado com o solo original.

Como verificado por Morais (2019) a PAM apresentou valores significativamente diferentes dos restantes valores encontrados, representando 12% do salpico total obtido nas amostragens contendo solo original.

4.5 Perda do solo

O valor médio global de perda de solo no solo nu ao longo do ensaio foi de 141,8 g/m², com um mínimo no tratamento com condicionador sintético PAM de 36,6 g/m², e um máximo no tratamento com condicionador BES 2, 232,4 g/m².

Relacionada como parâmetro escoamento, a perda de solo seguiu a tendência expectável para a simulação com base nos trabalhos de Morais (2019), onde sua taxa mais baixa foi verificada nos tabuleiros contendo o corretivo sintético, onde obteve-se o valor de 36,6 g/m².

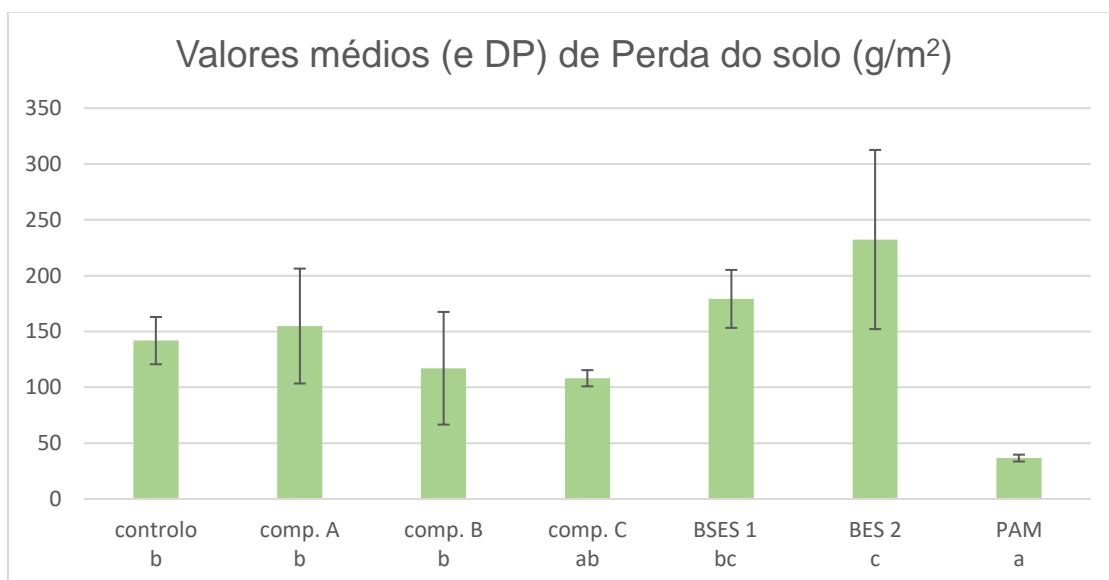


Figura 36 – Resultado da perda de solo para os diferentes tratamentos, as letras que seguem os tratamentos representam as diferenças significantes encontradas entre os mesmos quando submetidos ao teste LSD, 5%.

Dois dos corretivos orgânicos compostos apresentaram indicadores melhores em relação à perda de solo quando comparada com o solo vulnerável, sendo eles os condicionadores dos compostos B e C, com valores de 117 g/m² e 108,1 g/m², respectivamente. Não houve diferença significativa quando da comparação entre os tratamentos aplicados à base do composto C e à base de PAM, aqui representando o cenário de maior proteção do solo em análise. Tal informação confirma a eficácia e viabilidade do referido condicionador no controle da erosão, que inclusive apresenta

caráter homogêneo na distribuição de seus dados, com valor CV= 7%, semelhante à dispersão encontrada nas amostras tratadas com PAM (8%).

Os solos tratados com corretivos à base de condicionador orgânico extratado apresentaram perdas de solo maiores que as demais amostras, sugerindo provavelmente a ineficiência destes condicionadores no controle das taxas de perda do solo.

Nos trabalhos de Moraes (2019) e Alves (2018) o uso da PAM nas mesmas concentrações foi significativamente eficaz no controle da perda de solo, revelando a contribuição inequívoca do corretivo na estabilidade dos agregados.

Tabela 16 – Resultado da perda de solo (g/m²) para cada tratamento

Tratamento	Média de perda do solo (g/m²)	DP de perda do solo (g/m²)	CV (%)	Eficiência tratamento em ao controle (%)
composto A	154,9	51,5	33%	109%
composto B	117	50,5	43%	83%
composto C	108,1	7,3	7%	76%
BSES 1	179,2	26	14%	126%
BES 2	232,4	80,3	35%	164%
PAM	36,6	3,1	8%	26%

4.6 Destacabilidade

Observou-se que o maior valor encontrado para o parâmetro destacabilidade foi constatado na amostra contendo o condicionador orgânico BES 2, de 20,6 g/m².mm o que sugere que não foi eficaz na melhora dos indicadores físicos do solo.

No caso amostrado, todos os corretivos orgânicos compostos, bem como o corretivo orgânico BSES 1 apresentaram melhora nos indicadores físicos do solo, nomeadamente a estrutura do solo quando comparados com o solo desprotegido, onde se obteve o valor de 19,9 g/m².mm. Tendência acompanhada pelo uso do corretivo sintético PAM, que apresentou o menor valor, 2,4 g/m².mm.

Foram encontradas diferenças significativas nos testes simulados, representadas por letras diferentes nos tratamentos. Obteve-se p = 0,0017.

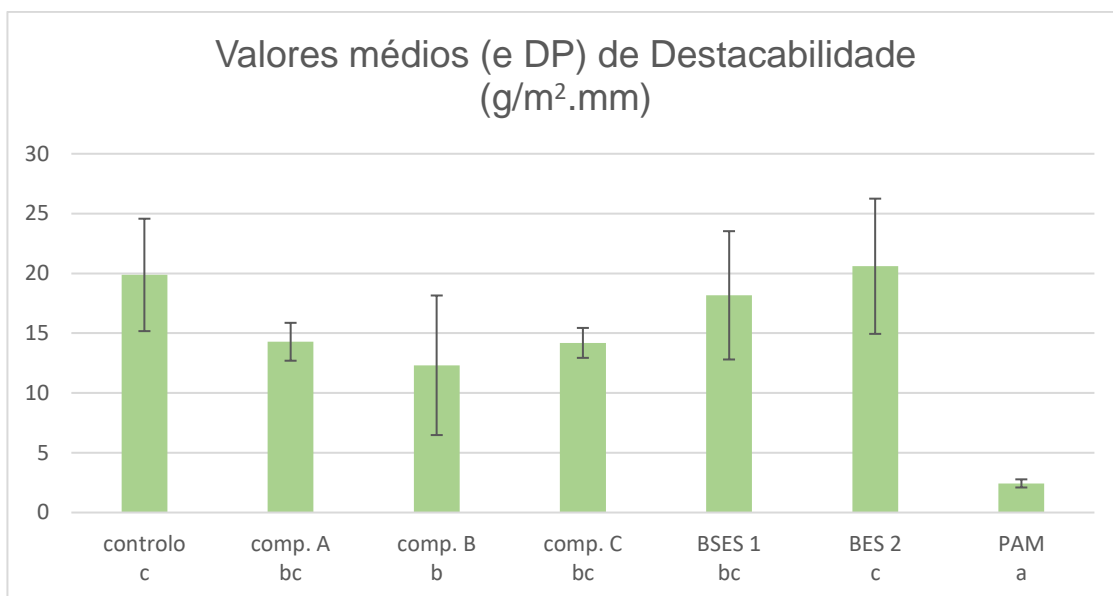


Figura 37 – Resultado da destacabilidade para cada tratamento (eixo horizontal) seguido de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%).

Merece destaque os valores colhidos das amostras contendo o condicionador orgânico composto B, que apresentou diferença significativa quando comparado com o solo desprovido de correção, com valor para destacabilidade de 12,3 g/m².mm. Importante ressaltar, também, o comportamento observado pelo corretivo orgânico composto C, que apresentou melhoria na eficiência deste parâmetro quando comparado ao controle, e apresentou baixa dispersão de seus dados, consistindo em um forte indício de sua viabilidade.

Ainda em relação aos tratamentos com condicionadores orgânicos, em se tratando das amostras simuladas com o corretivo extratado, em ambas verificou-se uma semelhança de valores quando comparadas com o solo nu, apresentando uma moderada dispersão de dados.

Corroborando o constatado por Moraes (2019) e por Alves (2018), o efeito do uso da PAM em concentrações semelhantes reduz acentuadamente as taxas de destacabilidade de solos similares.

Tabela 17 - Resultados da destacabilidade (g/m².mm) para cada tratamento

Tratamento	Média de destacabilidade (g/m.mm)	DP de destacabilidade (g/m.mm)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação so controle (%)
composto A	14,3	1,6	11%	72%
composto B	12,3	5,8	47%	62%

composto C	14,2	1,3	9%	71%
BSES 1	18,2	5,4	30%	91%
BES 2	20,6	5,7	27%	104%
PAM	2,4	0,3	14%	12%

4.7 Concentração dos sedimentos suspensos

Em relação ao indicador de concentração dos sedimentos suspensos (g/L), podemos depreender que o valor mais expressivo encontrado foi o de 2,67 g/L nas amostras de solo contendo o condicionador orgânico composto Pilha B. O valor menos expressivo, por sua vez, foi encontrado nas amostras simuladas com o corretivo sintético PAM, de 0,53 g/L.

A concentração dos sedimentos suspensos nos permite visualizar com clareza o efeito do tratamento sintético no desprendimento das partículas de solo. O valor de 0,53 g/L destaca-se quando comparado com os demais. Tal observação é anotada por Wang et al. (2011) que sustenta que o uso da PAM reduz efetivamente as taxas de perda de solo e concentração de sedimentos desprendidos.

Leroy (2018) observa acentuado decaimento neste indicador quando compara o solo húmido (saturado) nu e o solo corrigido com uma concentração de 5g/m² de PAM, sendo os valores de 8,1 g/L e 0,23 g/L, respectivamente.

É notado haver valores muito semelhantes para os solos amostrados com condicionadores orgânicos e o controlo (exceção feita à amostra composto C).

As amostras contendo tratamentos orgânicos e o controlo sem nenhum tipo de condicionador apresentaram resultados que se assemelham, porém não é possível, apenas por esta análise, definir que esta concentração de sedimentos suspensos seja de solo de fato. Pode ocorrer o deslocamento dos próprios compostos sem que haja perda de solo efetiva, como sugere Moraes (2019) em sua análise, considerando que a concentração de argila e matéria orgânica presentes no solo podem comprometer a análise desse indicador.

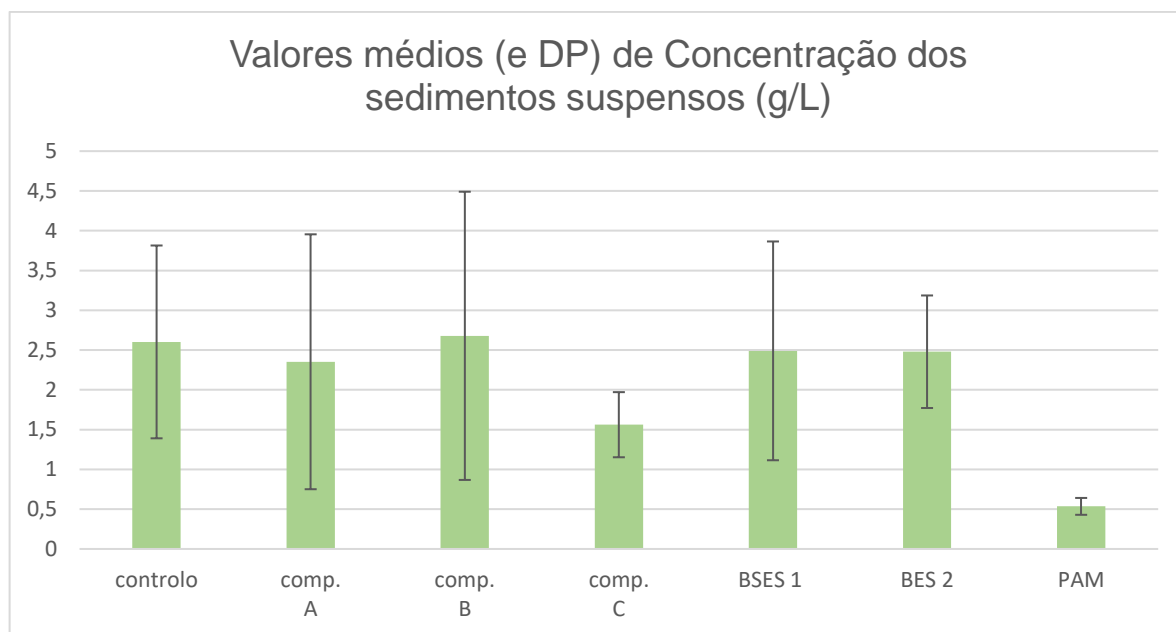


Figura 38 – Média e desvio padrão de concentração dos sedimentos suspensos (g/L) para cada tratamento

Tabela 18 – Resultado da concentração dos sedimentos suspensos (g/L) para cada tratamento

Tratamento	Média de concentração dos sedimentos suspensos (g/L)	DP de concentração dos sedimentos suspensos (g/L)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	2,35	1,6	68%	90%
composto B	2,68	1,81	68%	103%
composto C	1,56	0,41	26%	60%
BSES 1	2,49	1,37	55%	96%
BES 2	2,48	0,71	29%	95%
PAM	0,54	0,11	20%	21%

Submetidos ao teste de análise de variância ANOVA, os resultados não apresentaram diferenças relevantes entre os tratamentos, apresentando $p=0,328$.

Podemos observar uma alta heterogeneidade dos resultados referentes aos tratamentos orgânicos compostos A e B, o que revela uma alta dispersão destes dados.

Nota-se, a partir destes dados, uma forte semelhança entre os efeitos na Concentração dos sedimentos em suspensão dos tratamentos à base de condicionadores orgânicos extratados, e um descolamento do condicionador orgânico composto C quando comparado com seus pares. O uso da PAM foi 5 vezes mais eficaz ao referido indicador quando comparado com o solo desprovido de proteção.

4.8 Concentração dos sedimentos global

Para o indicador em questão, foi encontrado no experimento o valor máximo de 49,06 g/L, observado no tratamento com condicionador orgânico Extratado 1. O valor mínimo foi obtido nas amostras de solo tratados com o corretivo sintético PAM, de 2,74 g/L.

Não foi observada aqui, uma relevante significância dos tratamentos sobre o solo Idox. Submetidos à análise ANOVA, pôde-se constatar $p = 0,149$. Porém, verificou-se que estes dados acompanham a tendência estabelecida pela Perda de Solo, como também observou Moraes (2019), que para o solo Idox encontrou resultados de variabilidade estatística relevante quando comparado a outros tipos de solo presentes na Terra Quente Transmontana, são estes valores: 9,01 g/L para o solo nu, 7,43 g/L quando tratado com condicionador orgânico, e 2,03 g/L quando da aplicação do corretivo sintético PAM.

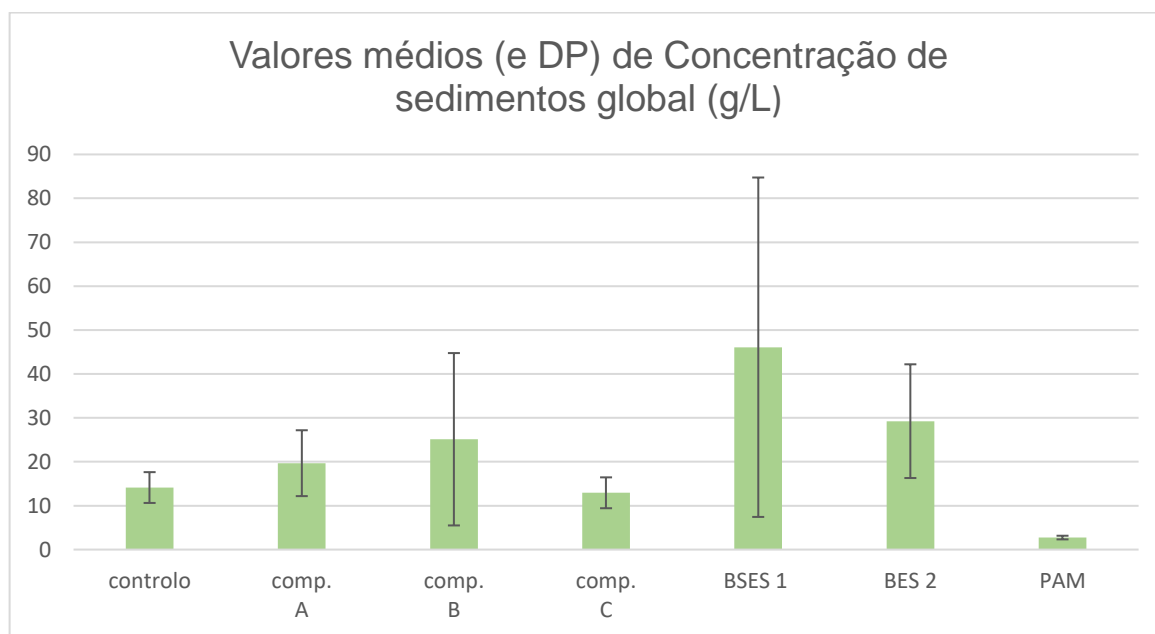


Figura 39 – Média e desvio padrão da concentração de sedimentos global para cada tratamento

Tabela 19 – Resultados de média, desvio-padrão e CV para Concentração de Sedimentos global

Tratamento	Média de concentração de sedimentos global (g/L)	DP de concentração de sedimentos global (g/L)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	19,68	7,5	38%	139%
composto B	25,13	19,63	78%	178%

composto C	12,93	3,51	27%	92%
BSES 1	46,09	38,65	84%	326%
BES 2	29,25	12,95	44%	207%
PAM	2,74	0,42	15%	19%

Merece destaque o comportamento do solo quando aplicado o condicionador orgânico composto C, que apresentou uma moderada dispersão de seus dados, além de se mostrar mais eficiente quando comparado com o controle. Tal fato nos direciona para a viabilidade da aplicação desse corretivo uma vez que o parâmetro amostrado está relacionado com a perda de solo. Em ambos os casos, quando tratados com condicionadores BSES 1 E BES 2, o solo apresentou taxas de concentração de sedimentos global maiores que o controle, o que pode sugerir a dispersão desse corretivo no escoamento superficial, uma vez que esse indicador se mostrou elevado nos referidos tratamentos, tendência esta acompanhada pelos tratamentos orgânicos compostos A e B. Não obstante a isso, foi verificada, também, heterogeneidade dos dados coletados, principalmente na amostra BES 2 e composto B.

A eficiência da PAM acompanhou a redução nos indicadores colhidos, diminuindo em 5 vezes as taxas de concentração de sedimentos global, fato também verificado por Alves (2018) quando aplicada a mesma concentração de PAM em solo saturado, porém em condição ainda mais elevada de degradação por se tratar de um experimento envolvendo áreas aridas, qual seja 0,23g/L.

4.9 Erodibilidade

Ao analisar os dados relativos ao parâmetro da erodibilidade, pudemos constatar haver diferenças significativas entre os tratamentos. Quando submetidos à ANOVA, encontrou-se o valor de $p=0,00017$.

O maior valor encontrado foi a amostra de solo tratado com condicionador BES 2, onde obteve-se uma média de 7,4 g/m².mm, diferindo-se significativamente dos tratamentos demais, e a mais diminuta no solo corrigido com PAM, no valor de 1,2 g/m².mm.

Destaca-se aqui, o comportamento positivo em relação à eficiência de dois, dos três solos tratados com condicionadores orgânicos compostos, quais sejam B e C, quando comparadas com o solo desprotegido, apresentando valores de 4,1 g/m².mm e 3,7 g/m².mm, respectivamente.

Ambos compostos B e C possuem em sua composição uma menor taxa de matéria-prima como agente estruturante, quando comparadas com o composto A, o que poderá sugerir o desprendimento desses matérias quando submetidos os solos às simulações de chuva ensaiadas. O mesmo efeito pode ser percebido nos condicionadores orgânicos BSES 1 e BES 2.

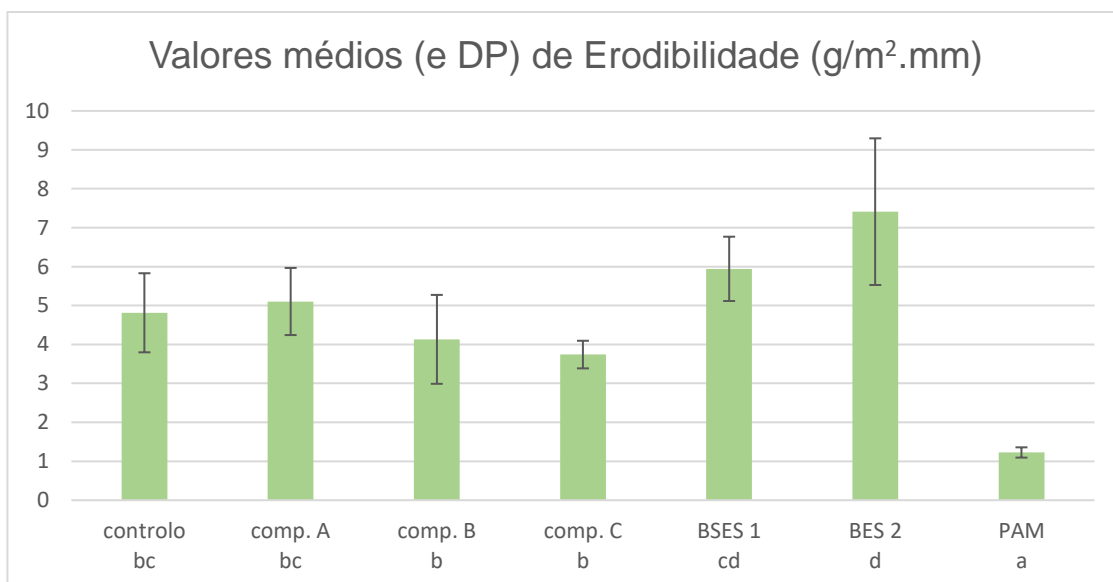


Figura 40 – Resultado da reação do solo aos tratamentos aplicados. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 20 - Resultados da Erodibilidade (g/m².mm) para cada tratamento

Tratamento	Média de erodibilidade (g/m.mm)	DP de erodibilidade (g/m.mm)	CV (%)	Eficiência tratamento em relação ao controle (%)
composto A	5,1	0,9	17%	106%
composto B	4,1	1,1	28%	86%
composto C	3,7	0,4	9%	78%
BSES 1	5,9	0,8	14%	123%
BES 2	7,4	1,9	25%	154%
PAM	1,2	0,1	11%	25%

No parâmetro erodibilidade pudemos verificar um comportamento relevante do condicionador orgânico composto B e C, que apresentou baixa dispersão em seus dados (28% e 9% respectivamente), aliada a uma maior eficiência do corretivo (4,1 g/m².mm e 3,7 g/m².mm respectivamente) quando comparado com o controle, que obteve média de erodibilidade de 4,8 g/m².mm. A PAM, uma vez mais, se mostrou cinco vezes mais eficaz que o solo exposto em se tratando de erodibilidade, o que

comprova, mais uma vez o amostrado por Moraes (2019), que em experimento semelhante com o solo Idox, obteve o valor médio de 1,0 g/m².mm, enquanto no presente experimento observou-se o valor 1,2 g/m².mm.

Ao compararmos o tratamento com condicionadores orgânicos no trabalho do referido autor, temos que seus valores para o Leptossolo escopo deste estudo é de 5,9 g/m².mm, número mais elevado que todos os recolhidos quando destacamos o espectro dos condicionadores orgânicos compostos. Quando comparamos seus valores com os dados médios de erodibilidade para o controlo, observamos a melhora de 14% quando aplicado o tratamento orgânico.

Ao dissecarmos os dados de eficiência entre os tratamentos, temos que os condicionadores orgânicos compostos B e C foram 14% e 22% mais eficientes respectivamente quando colocados frente ao controlo. O solo contendo o corretivo PAM se mostra 4 vezes menos erodível que o solo exposto, e três vezes mais eficaz que o melhor corretivo orgânico, qual seja o composto C.

4.10 Destacabilidade x Erodibilidade

A figura 46 representa a relação entre a destacabilidade e erodibilidade dos seis tratamentos amostrados em relação ao controlo, considerando o controlo sendo 100% destacado e erodido. Pudemos constatar que, no geral, a erodibilidade foi maior que o indicador destacabilidade, apresentando seu maior valor na amostra BES 2, aumentando em 54% este parâmetro frente ao controlo.

O menor valor encontrado nessa relação, foi obtido na amostra tratada com a PAM, que melhorou o indicador destacabilidade em 88%, e o parâmetro erodibilidade em 75% quando comparados com o solo exposto.

Cumprе salientar que os compostos B e C apresentaram boa relação destacabilidade/erodibilidade quando postos frente a frente com o controlo. Em ambos os casos foram verificadas melhorias nos aspetos físicos do solo amostrado. No caso do tratamento com condicionador orgânico composto B tivemos melhoras de 38% na destacabilidade e 14% na erodibilidade. Para o tratamento composto C os valores de melhoria foram de 29% e 22%, respetivamente.

Em relação ao corretivo composto A, verificou-se melhora no indicador destacabilidade de 28% quando comparado ao controlo. Em contrapartida, constatou-se um aumento de 6% em relação à erodibilidade, que pela sua proximidade com os valores encontrados para o controlo, pode vir a ser uma alternativa viável no controle

dos processos erosivos, bem como os dois outros condicionadores orgânicos compostos.

Em ambos os tratamentos com BSES 1 e BES 2, observou-se valores mais altos para todos os indicadores quando comparados com os valores encontrados para o solo desprovido de proteção, exceção feita à destacabilidade do composto BSES 1, que apresentou melhora de 9% da eficiência quando comparado ao controle. O valor mais alto encontrado foi a erodibilidade do composto BES 2, apresentando 54% menos eficácia que o solo exposto.

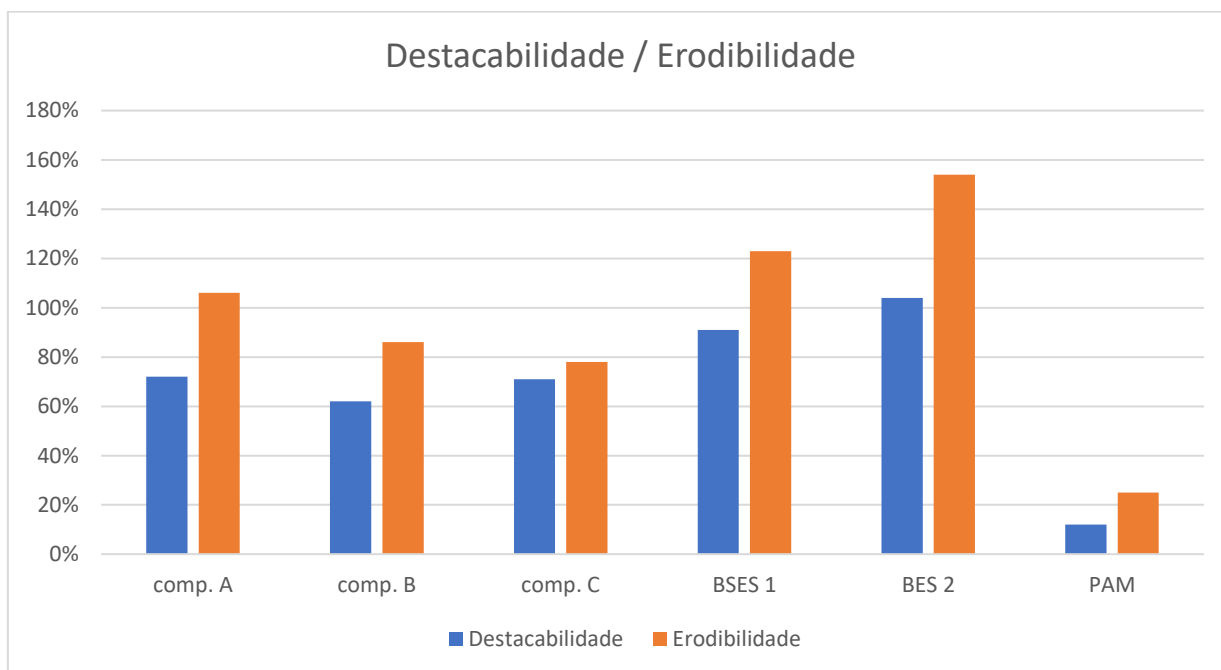


Figura 41 - Relação entre destacabilidade e erodibilidade do solo entre os tratamentos quando comparados com o solo exposto.

Tabela 21- Relação de eficácia dos tratamentos sobre destacabilidade / erodibilidade em % frente ao solo exposto

Tratamento	Destacabilidade	Erodibilidade
composto A	72%	106%
composto B	62%	86%
composto C	71%	78%
BSES 1	91%	123%
BES 2	104%	154%
PAM	12%	25%

5 CONCLUSÕES

Ao analisar a exposição do solo em estudo (Idox), através dos ensaios de simulações de chuvas, foi possível avaliar a erodibilidade do mesmo em questão e assim, pressupor e salientar o uso de corretivos.

Como resultados esperados, o uso do condicionador à base do bagaço da azeitona em amostras de solos, além de se ter um destino mais sustentável gerando valorização do subproduto agrícola, retornando ao solo pode melhorar propriedades físicas e químicas do mesmo ajudando nos processos erosivos causados no decorrer do tempo.

Associados aos parâmetros calculados na metodologia foi possível gerar e calcular também os indicadores que evidenciam a quantificação do processo erosivo.

O escoamento que é o responsável pelo arraste de partículas de solo, e é diretamente associado à erodibilidade, não apresentou diferenças estatisticamente relevantes, porém algumas considerações merecem ser feitas.

O controlo e, também as amostras de solo tratados com o corretivo sintético PAM, apresentaram valor de escoamento mais alto entre todos os tratamentos, evidenciando assim os indicadores físicos de porosidade e matéria orgânica, uma vez que as taxas foram mais baixas nos solos corrigidos com algum tipo de condicionador orgânico.

O salpico é o indicador associado à destacabilidade. Ao ser observado através dos dados coletados e quantificados nas simulações de chuva foi possível analisar sua relação também com a erodibilidade, que corresponde ao arraste de partículas do solo pelo escoamento superficial do material já destacado pela chuvada.

Concluiu-se que os valores encontrados para o indicador destacabilidade são dotados de diferenças significativas para os tratamentos amostrados. Os maiores valores foram encontrados nas amostras do controlo e BES 2, enquanto os menores valores foram colhidos nos tratamentos com PAM e composto B, sendo que a PAM se apresentou como sendo quase 8 vezes mais eficaz nesse indicador quando comparado ao controlo, e o condicionador orgânico em questão foi quase 50% mais eficaz que o solo desprovido de proteção.

Reforça-se aqui a consistência dos resultados apresentados pelo uso do polímero aludido, bem como a viabilidade dos corretivos orgânicos compostos como melhoradores do solo.

Através do indicador de escoamento e da destacabilidade diretamente associada à erodibilidade do solo, foi observada a relevância das diferenças nos valores quantificados a esse parâmetro.

Os tratamentos com condicionadores BSES 1 e BES 2 tiveram resultados elevados com relação à perda de solo, se fazendo maior mesmo à frente do solo sem nenhum tipo de corretivo.

Com relação à PAM, que se designa um corretivo sintético, este foi o tratamento mais significativo ao combate à erosão, salientando dessa forma tal eficiência frente à melhoria na estrutura física do solo.

Sobretudo, o presente estudo se fez eficiente ao demonstrar através dos dados estatísticos, o possível uso do bagaço de azeitona como um condicionador orgânico agrícola no processo de degradação do solo.

Por fim, pretende-se também que este trabalho contribua para o conhecimento e investigação de estudos relacionados à erodibilidade dos solos do Nordeste de Portugal, bem como para possíveis estudos relacionados ao uso de condicionadores orgânicos à base de subprodutos da cadeia oleícola.

6 BIBLIOGRAFIA

Aires, C. M. G. L. S. (2007). *Contribuição Para o Estudo da Aplicação de Subprodutos da Indústria de Extração de Azeite em Solos Agrícolas Efeito Sobre Alguns Parâmetros Químicos Indicadores do Estado de Fertilidade do Solo o Estado de Nutrição e Produtividade de Algumas Culturas* (Doctoral dissertation, Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal)).

Albaladejo, J., Martinez-Mena, M., & Castillo, V. (1994). Changes in soil physical properties induced by soil degradation. In *Transaction of the 15th World Congress of Soil Science, Mexico* (Vol. 2, pp. 250-252).

Albuquerque, J. A., González, J., Garcia, D., & Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource technology*, 91(2), 195-200

Alexandre, C., Rodrigues, G., Ribeiro, H., Guerreiro, I., Gonçalves, M. D. C., Alvarenga, P., ... & Ramos, T. (2016). Solos e Água: fontes (esgotáveis) de vida e de desenvolvimento.

Almeida, A., Figueiredo, T. D., Fonseca, F., Guerra, A., Pavão, F., & Lopes, J. (2005). Conservação do solo em olivais mecanizados na região de Trás-os-Montes. In *III Congreso de Agro Ingeniería*. Universidad de León.

Almeida, B. G. D. (2008). *Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Alves, A. L. F. (2017). *Efeitos de condicionadores do solo na erosão hídrica em áreas áridas no Nordeste de Portugal* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal)).

Araújo, J. I. L. D. (2016). *Gestão de resíduos: sistema integrado de registo eletrónico*

de resíduos na Semural–Waste & Energy (Doctoral dissertation).

Azevedo, A. C. D., & Zinn, Y. L. (2015). Rochas: tipo, formação e classificação. *Recurso solo: propriedades e usos*.

Barbera, A. C., Maucieri, C., Cavallaro, V., Ioppolo, A., & Spagna, G. (2013). Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops, a review. *Agricultural Water Management*, 119, 43-53.

Blavet, D., De Noni, G., Le Bissonnais, Y., Leonard, M., Maillo, L., Laurent, J. Y., ... & Roose, E. (2009). Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 124-136.

Borja, R., Raposo, F., & Rincón, B. (2006). Treatment technologies of liquid and solid wastes from two-phase olive oil mills. *Grasas y aceites*, 57(1), 32-46.

Brito, R. F. (2016). *Valorização integrada de resíduos e subprodutos da extração do azeite: extração e caracterização de compostos bioativos do bagaço de azeitona* (Doctoral dissertation).

Caetano, A. M. V. (2020). *Valorização do bagaço de azeitona: dimensionamento de um extrator sólido-líquido* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico do Porto (Portugal)).

Cavadas, B., Mestrinho, N., Cunha, J., Sousa, M. C., & Laranjinha, R. (2020). Uma abordagem interdisciplinar à porosidade dos solos em contexto de formação de professores. *Revista Experiências em Ensino de Ciências*, 15(1), 194-206.

Concelho Oleico Internacional - COI. (2014). Séries estatísticas de azeite e azeitona de mesa. Disponível em internationaloliveoil.org/news/index

Costa, B. (2002). *Código de boas práticas para o processamento tecnológico dos azeites virgens*.

De Freitas, M. R. (2007). *Avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos dos lagares do Alentejo* (Doctoral dissertation, Universidade Técnica de Lisboa (Portugal)).

de Lima, E. C. (2016). *Comparação da eficácia de tecnologias para o controlo da perda de solo em áreas aridas no Nordeste de Portugal aplicando modelo de erosão* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal)).

de Lima, M. M., Donegá, M. V. B., de Souza, T. W. S., Panza, M. R., Pacheco, F. M. P., Cavalheiro, W. C. S., ... & Vendruscolo, J. (2021). Hidrogeomorfometria da microbacia do rio Paraíso: informações para auxiliar o manejo dos recursos naturais na Amazônia Ocidental. *Research, Society and Development*, 10(3), e41410313367-e41410313367.

de Moraes, L. A. (2018). *Eficácia de condicionadores do solo para a redução da sua erodibilidade no Nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal)).

Di Giovacchino, L. (2005). Características y perspectivas de aprovechamiento racional de los alpechines. *Olivae: revista oficial del Consejo Oleícola Internacional*, (104), 55-63.

DRAP – Portal Oficial da Direção Regional de Agricultura e Pescas Disponível em drapnorte.gov.pt

Duarte, F., Jones, N., & Fleskens, L. (2008). Traditional olive orchards on sloping land: sustainability or abandonment. *Journal of environmental management*, 89(2), 86-98.

FAO, F. (1988). Soil map of the world: revised legend. *World Soil Resources Report*, 60.

Figueiredo, T. D., Araújo, J., & Castro, J. D. (2000). A Carta dos Solos do Nordeste de Portugal em SIG. *ESAB, Bragança*.

Figueiredo, T. D., Fonseca, F., & Nunes, L. (2015). Proteção do solo e combate à desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. *Proteção do solo e combate à desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças*.

Figueiredo, T. D. (1989). Estimativa de Erodibilidade em alguns perfis de Unidades de Solo representativas de Trás-os-montes: 1 primeira aproximação. *Instituto Politécnico de Bragança Eds*.

Figueiredo, T. D. (2013). Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano.

Figueiredo, F., Maia, F., Castanheira, É. G., Pereira, J. A., Ramalhosa, E., Ramos, A. D., ... & Freire, F. (2015). Ecoeficiência e ecogestão no setor do azeite: uma avaliação do ciclo de vida.

Gebreyohannes, A. Y., Mazzei, R., & Giorno, L. (2016). Trends and current practices of olive mill wastewater treatment: Application of integrated membrane process and its future perspective. *Separation and Purification Technology*, 162, 45-60.

Gómez-Muñoz, B., Hatch, D. J., Bol, R., & García-Ruiz, R. (2012). The compost of olive mill pomace: from a waste to a resource-environmental benefits of its application in olive oil groves. *Sustainable Development-Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management*, 459-484.

Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezainejad, Y., & Sadeghi, M. (2010). Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2), 43-50.

Hernández, Z., Figueiredo, D., Royer, A. C., Fonseca, F., Almendros, G., & Figueiredo, T. D. (2022). Qualidade da matéria orgânica e perda de fitotoxicidade em estágios progressivos da compostagem de bagaço de azeitona. In *IX Congresso Ibérico das Ciências do Solo (CICS 2022)* (pp. 138-141). Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo.

Hossain, M. Z., von Fragstein, P., Heß, J., & Heß, J. (2016). Plant origin wastes as soil conditioner and organic fertilizer: a review. *J. Agric. & Environ. Sci*, 16(7), 1362-1371.

Instituto Nacional de Estatística (2011). Disponível em: ine.pt Evolução temporal das áreas suscetíveis à desertificação em Portugal Continental

Instituto Nacional de Estatística (2014). Disponível em: ine.pt Distribuição da área de olival e da produção pelo território nacional

Instituto Nacional de Estatística (2020). Disponível em: ine.pt Tipos de lagares de azeite ano 2020

Instituto Nacional de Estatística (2021). Disponível em: ine.pt Previsões Agrícolas Janeiro 2021

Killi, D., & Kavdir, Y. (2013). Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 157-165.

Lafren, J. M., & Flanagan, D. C. (2013). The development of US soil erosion prediction and modeling. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 1-11.

Liu, J., Hu, F., Xu, C., Du, W., Yu, Z., Zhao, S., & Zheng, F. (2022). Specific ion effects on soil aggregate stability and rainfall splash erosion. *International Soil and Water Conservation Research*.

López-Piñeiro, A., Albarrán, A., Nunes, J. R., Peña, D., & Cabrera, D. (2011). Long-term impacts of de-oiled two-phase olive mill waste on soil chemical properties, enzyme activities and productivity in an olive grove. *Soil and Tillage Research*, 114(2), 175-182.

Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., & De Albornoz, M. D. T. C. (2011). Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *Catena*, 85(3), 187-193.

Medeiros, R. M. L., Villa, F., da Silva, D. F., & Cardoso Filho, L. R. (2016). Destinação e reaproveitamento de subprodutos da extração olivícola. *Scientia Agraria Paranaensis*, 100-108.

Morgan, R. P. C. (2005). Soil erosion and conservation. Blackwell Publ., Oxford, UK. *Soil erosion and conservation. 3rd ed. Blackwell Publ., Oxford, UK.*

Nachtergaele, F. O. (2002). The Future of the FAO Legend and the FAO/UNESCO Soil Map of the World. In *Soil Classification* (pp. 147-156). CRC Press.

Otero, P., Garcia-Oliveira, P., Carpena, M., Barral-Martinez, M., Chamorro, F., Echave, J., ... & Prieto, M. A. (2021). Applications of by-products from the olive oil processing:

Reis, P. (2014). O olival em Portugal dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural. Lisboa: *Animar–Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Local.*

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1996). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture handbook*, 703.

Revalorization strategies based on target molecules and green extraction technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 1084-1104.

Sojka, R. E., Entry, J. A., & Fuhrmann, J. J. (2006). The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 32(2), 243-252.

Rodrigues, M. A., & Arrobas, M. (2015). Dezoito anos de investigação sobre cobertos vegetais em olival. *Atas do seminário "O Solo na Investigação Científica em Portugal". 2015 Ano Internacional dos Solos*, 145-148

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* (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal)).

Sempiterno, C. M., & Fernandes, R. M. (2010). Efeito da aplicação ao solo de água-ruçã, bagaço de azeitona e um composto sobre os teores de azoto total e mineral e de carbono orgânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 33(1), 79-87.

Sarkar, P. K., Yadav, V. K., Chakrabarti, A., Kumar, P. R., Shinde, R., Thombare, N., ... & Bhatt, B. P. (2020). Lac based agroforestry models for prosperity of farmers in Jharkhand.

Shiralipour, A., McConnell, D. B., & Smith, W. H. (1992). Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass and bioenergy*, 3(3-4), 261-266.

Skaltsounis, A. L., Argyropoulou, A., Aligiannis, N., & Xynos, N. (2015). Recovery of high added value compounds from olive tree products and olive processing byproducts. In *Olive and olive oil bioactive constituents* (pp. 333-356). AOCS Press.

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Disponível em: <https://www.unccd.int/>

Vitte, A. C., & de Mello, J. P. (2007). Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. *CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem*, 2(2).

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Zingg, A. W. (1940). Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agric. Engng.*, 21, 59-64.