



Degradação e Gestão Sustentável do Solo nas Orientações Políticas Internacionais e nas Normativas Europeias e Portuguesas: Pesquisa e Análise Documental

Odair Mailton Amado Fernandes

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

Trabalho realizado sob a orientação de:
Professor Doutor Tomás de Figueiredo
Professora Doutora Sílvia Nobre

**Bragança
2024**

Dedicatória

À memória dos meus avôs Taciana Fernandes, Maximino Raimundo Tomé, Eurico Amado, Hilária Ferreira Nunes (Que Deus os tenham).

Aos meus pais Lauderio Fernandes e Laurentina Amado e aos meus irmãos Hildebert Teixeira, Oliguel Fernandes, Jair Amado e a toda minha família e amigos em geral Dedico este trabalho!

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre presente na minha vida, e pelas bênçãos que me tem concedido.

Quero expressar o meu profundo agradecimento ao Professor Tomás Figueiredo, a professora Sílvia Nobre por terem possibilitado a realização do meu trabalho de dissertação.

Ao IPB, em particular a Escola Superior Agrária de Bragança, aos professores que me acompanharam durante esta caminhada agradeço pelos conhecimentos adquiridos durante esses anos, aos meus colegas pela partilha de experiências, que foram marcando toda essa jornada.

Agradeço imensamente aos meus familiares pela confiança e apoio que depositaram em mim, especialmente ao meu irmão Hildibert Teixeira, Oliguel Fernandes pelo encorajamento e suporte que foram os pilares no fortalecimento para concretização desta etapa muito importante na minha vida.

A Adalgilza Boa Morte Luiz pelo companheirismo, atenção, e por estar presente na minha vida possibilitando essa conquista, e aos meus amigos por estar presente nessa etapa da minha vida, ajudando na construção de quem sou hoje.

Ao Filipe Helder Cardoso Lema, agradeço pela amizade e por disponibilizar o seu tempo para ajudar-me na organização e a escrita deste trabalho.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Meu muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho é uma análise documental sobre a degradação do solo e a gestão sustentável do mesmo, resultando na implementação de políticas no âmbito internacional e nas normativas europeias e portuguesas. Abordando a importância da conservação do solo para a preservação do meio ambiente e dos ecossistemas, bem como para a qualidade de vida das gerações presentes e futuras. Indo ao encontro a dois grandes organismos a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) com objetivo de analisar de forma comparativa a degradação do solo e gestão sustentável nas orientações políticas internacionais (ONU, FAO) e no quadro normativo europeu e português, e uma síntese sobre o tema associado aos indicadores da Convenção das Nações Unidas (UNCCD) para o alcance da neutralidade da degradação do solo em paralelo com os indicadores do manejo sustentável do solo anunciados pela FAO, abordando de forma mais detalhada temas como: degradação do solo, desertificação, perda de biodiversidade e mudança climáticas e analisar medidas políticas desenvolvidas para abordar a degradação e a gestão sustentável do solo. Para a realização deste estudo de forma a cumprir os objetivos descritos foram necessárias pesquisas de revisões bibliográficas indo ao encontro a temas como: indicadores da neutralidade do solo (ONU), indicadores da gestão sustentável do solo (FAO), métodos e fontes de obtenção de informação a nível local, métodos e fontes de obtenção de informação a nível regional e global, conjuntos de medidas políticas desenvolvidas para abordar preocupações como a degradação do solo e gestão sustentável.

Palavras-Chave: Degradação do solo, Gestão sustentável, Orientações políticas internacionais, Normativas europeias, Conservação do solo, Desertificação, Biodiversidade, Mudanças climáticas, Sustentabilidade ambiental.

Abstract

The article presents a documentary analysis on soil degradation and its sustainable management, resulting in the implementation of policies within international frameworks as well as European and portuguese regulations. The author discusses the importance of soil conservation for environmental preservation and ecosystem health, as well as for the quality of life of present and future generations. Focusing on concerns regarding soil degradation and its active response through sustainable soil management, the article examines two major organizations, the United Nations (UN) and the Food and Agriculture Organization (FAO), where the objective is to comparatively analyze how global concerns related to degradation and sustainable management are expressed in international policy guidelines (UN, FAO) and within the European and portuguese regulatory frameworks. Additionally, a synthesis is provided on the topic associated with indicators from the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) for achieving soil degradation neutrality alongside indicators of sustainable soil management announced by the FAO. The article delves into topics such as soil degradation, desertification, biodiversity loss, and climate change, while analyzing policy measures developed to address these concerns. To accomplish the objectives described, the study required research through literature reviews covering topics such as soil neutrality indicators (UN), sustainable soil management indicators (FAO), methods and sources for obtaining information at local, regional, and global levels, and sets of policy measures developed to address concerns such as soil degradation and sustainable soil management.

Keywords: Soil degradation, Sustainable management, International policy guidelines, European regulations, Soil conservation, Desertification, Biodiversity, Climate change, Environmental sustainability.

Índice Geral

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice Geral.....	v
Lista de Siglas/Abreviaturas (opcional)	vi
Índice de Figuras..	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Capítulo 1 Introdução	1
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivo geral	3
1.2 Objetivos específicos	3
Capítulo 2 Revisão bibliográfica	4
2.1 Degradação dos solos	4
2.2 O Solo e as Convenções das Nações Unidas.....	5
2.3 Indicadores da Neutralidade da Degradação das Terras.....	6
2.4 Avaliação dos indicadores da Neutralidade da Degradação das Terras	7
2.4.1 Cobertura do solo	7
2.4.2 Produtividade da terra.....	9
2.4.3 Estoque de carbono do solo	14
2.5 Gestão Sustentável do Solo	16
2.6 Modelação da erosão do solo	21
2.7 Políticas ambientais de proteção do solo na União Europeia.....	26
2.8 Proteção dos solos na Política Agrícola Comum.....	29
Capítulo 3 Síntese de resultados	44
3.1 Indicadores da Neutralidade de Degradação do Solo (UNCCD)/Indicadores Gestão Sustentável do Solo (FAO).....	44
3.2 Métodos de medição indicadores da neutralidade do solo / Indicadores de gestão sustentável do solo	46
Capítulo 4 Conclusões	49
Bibliografia.....	53

Lista de Siglas/Abreviaturas (opcional)

ONU	Organização Nações Unidas
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
UNCCD	Convenção das Nações Unidas para Combate e Desertificação
CBD	Convenção Diversidade Biológica
UNFCCC	Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
LDN	Neutralidade da Degradação da Terra
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
NVDI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
ENVISAT	Satélite ENVISAT
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
NDWI	Índice de Água por Diferença Normalizada
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
EVI	Índice Vegetação Melhorado
EC	Condutividade Elétrica
NIR	Infravermelho Próximo
SI	Índice Salinidade
DWR	Dry Weight Rank
ANPP	Produção Primária Líquida Acima do Solo
SSM	Gestão Sustentável Solo

VGSSM	Diretrizes Voluntárias para o Gestão Sustentável do Solo
ESA	Agência Espacial Europeia
RUSLE	Equação Universal Revisada da Perda do Solo
USLE	Equação Universal Perda de Solo
WEPP	Projeto Previsão Erosão Hídrica
RHEM	Modelo Hidrologia Erosão Pastagens
LISEM	Modelo Erosão Solo de Limburg

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição geográfica de 1.833 dos 3.030 registos de base de dados do GASEMT para os quais foi possível obter as coordenadas geográficas das áreas de estudo.....	22
Figura 2 - Números de publicações categorizadas pelo agente erosivo simulado no banco de dados GASEMT ao longo do tempo de 1994-2017.....	23
Figura 3 - Mapa das taxas de perda de solo na União Europeia (ano de referência 2010) Fonte: Panagos <i>et al.</i> (2015).....	26
Figura 4 - Estratégia de Proteção do Solo da UE e outras iniciativas europeias Fonte: (COMISSÃO EUROPEIA, 2021a).....	29
Figura 5 - Esquema Geral da PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum).....	31
Figura 6 - Resumo do Esquema Geral da PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum).....	32

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Índices de vegetação, de salinidade e condutividade elétrica com suas respectivas fórmulas (Dias & Lopes, 2021).....	8
Tabela 2 - Sistema de classificação de salinidade do solo.....	9
Tabela 3 - Montantes e Limites de Apoio Conversão em Agricultura Biológica (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal.....	34
Tabela 4 - Montantes e Limites de Apoio Manutenção em Agricultura Biológica (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal.....	35
Tabela 5 - Montantes e Limites de Apoio Produção Integrada (PRODI)- Culturas Agrícolas (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal.....	38
Tabela 6 - Montantes unitários indicativos (€/ha) (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal.....	39
Tabela 7 - Indicadores da Neutralidade de Degradação do Solo (UNCCD)/Indicadores Gestão Sustentável do Solo (FAO).....	44
Tabela 8 - Métodos de medição indicadores da neutralidade do solo / Indicadores de gestão sustentável do solo.....	45

Capítulo 1 Introdução e Objetivos



1. Introdução

O solo é uma interface biológica complexa e importante da Terra, que abriga uma grande variedade de organismos vegetais, animais e microbianos que desempenham um papel crucial na saúde e fertilidade do ambiente em que se encontram. A ecologia do solo, ou a relação entre estes organismos e o ambiente, é objeto de curiosidade humana há séculos. A compreensão da ecologia do solo é essencial para o seu manejo adequado e para a sustentabilidade da agricultura e os ecossistemas em todo o mundo (Foth, 1990).

Os ecossistemas possuem dois tipos de organismos com base na fonte de carbono: os produtores, que são autotróficos, usam o carbono inorgânico presente no dióxido de carbono para produzir compostos orgânicos como a glicose, e os consumidores e decompositores, que são heterotróficos e dependem do carbono fixado pelos produtores, como a glicose, para obter energia e nutrientes, demonstrando a grande importância na fonte carbono para os seres na Terra (Foth, 1990).

Segundo (Archer, 2010), a atmosfera contém uma pequena fração do carbono total da Terra, onde a maioria se encontra nos oceanos, no solo, nas rochas sedimentares e na biosfera terrestre. Esta informação é comprovada por (Figueiredo *et al.*, 2015) ao afirmar que o solo é um elemento essencial para a vida, participando em processos ecológicos vitais para os seres vivos e para as sociedades humanas, como parte integrante do meio ambiente e dos ecossistemas. Em sequência do que foi apresentado nos parágrafos anteriores podemos definir que o solo constitui uma interface entre a terra, o ar e a água, e aloja a maior parte da biosfera (COMISSÃO EUROPEIA, 2006).

A problemática da degradação do solo afeta 25% da superfície terrestre, aproximadamente 3,2 bilhões de pessoas gerando custos de 10% do PIB anual. Esta problemática contribui com 23% das emissões de gases de efeito de estufa causando uma redução de 20% na abundância de espécies nativas devido à perda e fragmentação de habitats (Graham, 2019). A degradação do solo, é um problema urgente que afeta diversas áreas produtivas ao redor do mundo. Para garantir a segurança alimentar global diante das ameaças crescentes aos solos, decorrentes do crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudança climática, é essencial buscar um significativo aumento da produtividade (Pravalié *et al.*, 2021).

Esta preocupação mundial se reflete em importantes documentos a nível internacional, como a Convenção de Nações Unidas para o Combate a Desertificação (UNCCD), onde abordar esses problemas complexos é necessário implementar políticas e ações que compreendam a interdependência entre os sistemas naturais e humanos, unindo diversos objetivos para otimizar benefícios e reduzir impactos adversos (Graham, 2019).

No entanto, a modificação do ecossistema e o ambiente natural pela ação humana tem levado à degradação acelerada do solo, nesse contexto compreender os mesmos, é fundamental para promover a conservação do solo, pois, é através desse entendimento que podemos identificar quais são as ações humanas que podem causar danos ao solo e implementar medidas de proteção e manejo adequado, minimizando os impactos negativos e promover a sustentabilidade ambiental. Desta forma, a conservação do solo se torna uma das principais medidas para garantir a preservação do meio ambiente e dos ecossistemas, bem como a qualidade de vida das gerações presentes e futuras (Thomas, 1975).

1.1 Objetivo geral

O presente estudo pretende identificar e analisar de forma comparativa como as preocupações globais relacionadas á degradação e gestão sustentável são expressas nas orientações políticas internacionais (ONU, FAO) e no quadro normativo europeu e português, apresentar uma síntese clara e compreensível para o público geral, abordando temas vão ao encontro: degradação do solo, desertificação, perda de biodiversidade e mudança climáticas e analisar medidas políticas desenvolvidas para abordar essas preocupações.

1.2 Objetivos específicos

Posto isso o presente estudo pretende identificar e analisar de forma comparativa como as preocupações globais relacionadas á degradação e gestão sustentável são expressas nas orientações políticas internacionais (ONU,FAO) e no quadro normativo europeu e português, apresentar uma síntese clara e compreensível para o público em geral, abordando temas que vão ao encontro da degradação do solo, desertificação, perda de biodiversidade e mudança climáticas e analisar medidas políticas desenvolvidas para abordar essas preocupações.

De modo a atingir o objetivo, foi necessário:

- 1) Abordar os indicadores da neutralidade do solo (ONU).
- 2) Abordar os indicadores da gestão sustentável do solo (FAO).
- 3) Métodos e fontes de obtenção de informação a nível local.
- 4) Métodos e fontes de obtenção de informação a nível regional e global.
- 5) Conjunto de medidas políticas desenvolvidas para abordar preocupações como a degradação do solo e gestão sustentável.

Capítulo 2 Revisão bibliográfica



2.1 Degradação dos solos

A formação do solo e a erosão do solo, são os dois processos naturais e opostos que influenciam a condição do solo. Os solos naturais e não perturbados mantêm uma taxa equilibrada de formação e erosão, o que resulta em um solo constante ao longo do tempo. Em geral, as taxas de erosão do solo são altas, exceto em áreas onde o solo não está exposto diretamente aos elementos, como vento e água da chuva. O problema da erosão ocorre quando a cobertura vegetal natural é removida, levando a um aumento acentuado na taxa de erosão do solo. Nesses casos, a taxa de erosão do solo excede a taxa de formação, o que pode ser prejudicial para a produtividade do solo. Portanto, é essencial adotar práticas de controle de erosão que reduzam a taxa de erosão e preservem a qualidade do solo (Foth, 1990).

A consciência da degradação ambiental e suas ameaças à sustentabilidade socioeconômica está a crescer, gerando uma pressão por soluções imediatas e

sustentáveis. As novas descobertas científicas têm contribuído para encontrar soluções políticas efetivas, embora ainda haja lacunas no conhecimento sobre os sistemas naturais e humanos da Terra e suas interações. É cada vez mais evidente a interconexão entre o aquecimento global, a degradação dos ecossistemas e a perda da biodiversidade, exigindo uma abordagem integrada na prevenção e mitigação de riscos (IPBES, 2018).

2.2 O Solo e as Convenções das Nações Unidas

A Convenção das Nações Unidas para o combate a desertificação (UNCCD) focada nos países africanos que enfrentam graves secas ou desertificação, e a Convenção do Rio, Convenção sobre a Diversidade Biológica (CBD) e Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) lideram a formulação de políticas ambientais globais sobre terra, biodiversidade e clima. Para alcançar seus objetivos mútuos, é necessário integrar as avaliações e o planejamento para maximizar sinergias e equilibrar soluções de compromisso. A implementação efetiva das Convenções depende da existência e expansão de sinergias operacionais entre elas (Graham, 2019).

A UNCCD define a desertificação como “a degradação da terra em áreas de terras secas devido a diversos fatores, incluindo variações climáticas e/ou atividades humanas” (JRC, 2023).

A Neutralidade da Degradação do Solo (LDN), uma iniciativa mundial apresentada pela Convenção das Nações Unidas de Combate á Desertificação (UNCCD) apresenta oportunidades para sinergias com outros objetivos sociais e ambientais e pode contribuir para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), desde que seja implementada de forma coordenada e integrada. Além disso, a degradação da terra e a perda de biodiversidade estão intimamente ligadas e, portanto, a criação de organizações que trabalhem para enfrentar ambos os desafios podem ter consequências positivas para ambos (Orr, 2019).

Segundo (JRC, 2023), na Atlas de desertificação refere que “a degradação da terra se refere à redução ou perda em áreas áridas, semiáridas e SUB húmidas secas, da produtividade biológica ou econômica e da complexidade das terras de cultivo de sequeiro, terras de cultivo irrigado, ou áreas de pastagem, florestas e matas, resultante do

uso da terra ou de um processo ou combinação de processos, incluindo aqueles decorrentes de atividades humanas e padrões de habitação, tais como:

- i. erosão do solo causada pelo vento e/ou água;
- ii. deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo; e
- iii. perda a longo prazo da vegetação natural.

Com base em seus objetivos fundamentais, a estrutura LDN é construída em torno de um conjunto de princípios, incluindo planejamento integrado do uso da terra e boa governança, que provavelmente garantirão que a conservação da biodiversidade seja levada em consideração na formulação de políticas ambientais mais integradas, priorizando os esforços para evitar a degradação, incluindo a perda de habitats naturais (Graham, 2019).

2.3 Indicadores da Neutralidade da Degradação das Terras

De acordo com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), existem três principais indicadores que podem ser utilizados para avaliar a neutralidade da degradação do solo:

- A cobertura do solo, que se refere à percentagem de solo coberto por vegetação ou outras formas de cobertura, como cascalho ou rochas. Para garantir a estabilidade do solo e a proteção contra a erosão, a UNCCD recomenda que a cobertura do solo seja de, no mínimo, 30%;
- A produtividade da terra, que mede a capacidade do solo de produzir culturas e outras plantas. Esse indicador pode ser medido por meio do rendimento das culturas, da taxa de crescimento das plantas ou pela qualidade do solo. Para garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico, a UNCCD recomenda que a produtividade da terra seja mantida ou aumentada;
- O estoque de carbono do solo também é um indicador relevante, uma vez que mede a quantidade de carbono orgânico presente no solo. Esse elemento é fundamental para a fertilidade do solo e para mitigar as mudanças climáticas, pois o solo pode armazenar grandes quantidades de carbono. Para ajudar a combater

- as mudanças climáticas, a UNCCD recomenda que os estoques de carbono do solo sejam mantidos ou aumentados.

Os indicadores foram desenvolvidos pela UNCCD para serem utilizados nos seus programas de modo a atingir os objetivos impostos. Foram escolhidos por refletir os ideais precisos no crescimento em sentido dos objetivos, representativos na conservação e biodiversidade. Com a utilização desses indicadores, é possível avaliar o progresso dos países na implementação da Convenção e, assim, promover a gestão sustentável do solo e a conservação da biodiversidade (Graham, 2019).

2.4 Avaliação dos indicadores da Neutralidade da Degradação das Terras

Cada um dos indicadores citados pela UNCCD pode ser medido por diferentes técnicas.

2.4.1 Cobertura do solo

É possível utilizar técnicas de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e fotografias aéreas, para obter dados precisos e detalhados sobre a cobertura do solo em grandes áreas. Essas técnicas são particularmente úteis para monitorar a mudança na cobertura do solo ao longo do tempo (Xiao *et al.*, 2003).

O Sensoriamento Remoto (SR) tem ganhado destaque devido à sua eficiência em termos de velocidade e custo, simplificando a avaliação de extensas regiões, tornando ainda mais fácil o emprego da mensuração e a supervisão da salinidade do solo, garantindo um controle eficaz e uma gestão adequada, uma fonte regular de obtenção de dados da superfície terrestre, constituindo-se assim numa técnica importante para o monitoramento sistemático da dinâmica da superfície terrestre e vegetação (Dias & Lopes, 2021).

O índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) é frequentemente utilizado para mapear áreas vegetadas através de uma abordagem temporal. Essa metodologia demanda a obtenção regular e em curtos intervalos de tempo de imagens. Sensores de alta frequência temporal, como os utilizados no *Système Probatoire d'Observation de la terre* (SPOT_Vegetation), National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA AVHRR), Environment Satellite-Medium.

Resolution Imaging Spectrometer (ENVISAT MERIS) e Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Terra-MODIS), disponibilizam esses dados comumente em uma base diária de resolução temporal (Cano *et al.*, 2017).

O mapeamento da cobertura florestal e da vegetação natural utilizando dados MODIS enfrenta desafios significativos. A resolução espacial limitada das imagens pode resultar na atribuição de várias classes de vegetação a um único pixel, especialmente em paisagens fragmentadas. Além disso, é complicado diferenciar espécies de florestas semelhantes com assinaturas espectrais e temporais parecidas. As assinaturas de espécies também podem variar substancialmente entre locais distantes, o que pode levar a erros de classificação (Correia *et al.*, 2006).

Esses desafios são ainda mais pronunciados em áreas montanhosas, onde as variações de elevação e exposição criam condições bioclimáticas mutáveis, tornando a distribuição da vegetação ainda mais complexa e variável (Cano *et al.*, 2017).

Para enfrentar esses problemas, uma abordagem comum é estratificar a área de estudo em sub-regiões. Essa estratégia visa reduzir a heterogeneidade nas assinaturas de classe, minimizar a variabilidade dentro das classes e melhorar a capacidade de distinguir entre diferentes tipos de vegetação. A estratificação tem se mostrado eficaz para aprimorar a precisão na classificação de imagens de cobertura florestal e vegetação (Simões *et al.*, 2015/2016).

Na **Tabela 1** estão descritos diferentes índices de vegetação e parâmetros relacionados, os quais são amplamente utilizados em estudos de sensoriamento remoto e análise ambiental.

Tabela 9 - Índices de vegetação, de salinidade e condutividade elétrica com suas respectivas fórmulas (Dias & Lopes, 2021)

Índices de vegetação	Equações	Referências
NDVI	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	(ROUSE <i>et al.</i> , 1973)
NDWI	$NDWI = (NIR - SWIR) / (SWIR + NIR)$	(GAO, 1996)
Índice de salinidade – SI3	$SI3 = \sqrt{G2 + R2}$	(DOUAQUI <i>et al.</i> , 2006)
Condutividade Elétrica – EC (dS/m)	$EC (NVDI) = -12,611 * NDVI + 5,9075$	(ABDELATY & ABOUKILA, 2017)

R, G, NIR, SWIR: reflectâncias das bandas vermelha, verde, azul e infravermelho próximo, infravermelho médio

As classes de salinidade do solo, em função de condutividade elétrica (EC), são apresentadas na **Tabela 2** (FAO, 2000).

Tabela 10 - Sistema de classificação de salinidade do solo

Valor EC	0-2	0-4	4-8	8-16	>16
Classes de salinidade	Não salino	Ligeiramente salino	Moderadamente salino	Fortemente salino	Muito fortemente salino

2.4.2 Produtividade da terra

As abordagens de sensoriamento remoto possibilitam avaliar a produtividade do solo ao monitorar e quantificar transformações na vegetação em resposta a atividades humanas e condições climáticas. A saúde da vegetação desempenha um papel crucial no equilíbrio energético, ciclos de água e processos biogeoquímicos, tornando-se um indicador sensível das influências climáticas e antrópicas no ambiente. O uso de índices de vegetação, como o NDVI derivado do sensor MODIS, permite comparações consistentes e monitoramento global da vegetação, contribuindo para estudos de longo prazo sobre produtividade do solo e impactos ambientais. Sendo que o índice de vegetação “aprimorado” vem auxiliar na sensibilidade otimizada para condições de vegetação densa onde complementando os dois (NVDI + (VIs) nos estudos globais de vegetação melhorando a extração de parâmetros biofísicos do dossel. (Huete *et al.*, 1999).

- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)
- Índice de Vegetação Aprimorada (EVI)

Segundo (Huete *et al.*, 1999), num estudo feito MODIS Vegetation Index (MOD 13), refere que a razão simples (SR) foi o primeiro índice a ser usado, formado pela divisão da resposta NIR pela saída da banda vermelha correspondente:

- $SR = (X_{nir}) / (X_{red})$ Equação (Simple Ratio)

Onde X pode ser contagens digitais, radiâncias no satélite, refletâncias aparentes no topo da atmosfera, radiâncias de superfície saindo da terra, refletâncias de superfície ou albedos espectrais hemisféricos. Porém, para áreas densamente vegetadas, a quantidade

de luz vermelha refletida se aproxima de valores muito pequenos e essa relação, conseqüentemente, aumenta sem limites. Normalizando esta razão de -1 para +1, com o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), racionando a diferença entre as bandas NIR e vermelha pela sua soma:

- $NVDI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ Equação Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Segundo (Xiao *et al.*, 2003) Com o objetivo de levar em consideração a influência residual da poluição atmosférica (como partículas suspensas) e a reflexão variável proveniente do solo subjacente, foi proposto Índice de Vegetação Aprimorada:

- $EVI = 2.5 \times (NIR - RED) / (NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)$ Equação Índice de Vegetação Aprimorada

O NDVI permite distinguir diferentes tipos de ecossistemas ou zonas biológicas funcionais, calcular a produtividade primária líquida anual (ANPP) em diversas escalas globais e diferenciar a cobertura terrestre em escalas continentais e globais. Com a aplicação do NDVI, é viável distinguir ecossistemas como savanas, florestas densas, áreas não florestais e campos agrícolas, tanto na África quanto na Ásia. As propriedades relacionadas às fases fenológicas das plantas podem ser utilizadas para identificar florestas de folhagem perene em comparação com tipos de florestas sazonais, ou para diferenciar entre árvores e arbustos (Pettorelli *et al.*, 2005).

Num estudo feito por (Neuteboom *et al.*, 1998), é possível realizar medições no terreno utilizando métodos quadrantes conhecido como o método Dry weight Rank (DWR) podendo ser usado na medição da produtividade do solo. Estas técnicas permitem a obtenção de dados em áreas menores e são importantes para validar as informações obtidas por sensoriamento remoto. O (DWR) – consiste em observar vários quadrantes e ordenar as três espécies que contribuem com maior peso no quadrante, usado para calcular a proporção de peso seco para cada espécie (DWA% para a espécie A) segundo as percentagens, primeira (A1%), segunda (A2%) e terceira (A3%) classificação com base no peso seco nos quadrantes (estimativas visuais), essas proporções são equilibradas pelos coeficientes empíricos 0,702, 0,211 e 0,087 de acordo com:

- $DWA\% = 0,702 (A1\%) + 0,211 (A2\%) + 0,087 (A3\%)$

Este método é geralmente adequado para tipos de pastagens/pequenos arbustos ou comunidades de sub-bosque de grandes comunidades arbustivas ou arbóreas permitindo estimar as produções para melhor interpretação de dados para a tomada de decisão (USDA, 2023).

Etapas de estudos segundo United States Department of Agriculture:

- Seleção do local é fundamental para garantir a validade dos dados. É necessário escolher áreas representativas, consideradas críticas ou chave, que formem a base do estudo. Os pontos de estudo devem estar na mesma unidade vegetal e ambiente ecológico. A alocação aleatória de trilhas e pontos de amostragem garante uma distribuição uniforme nas áreas críticas ou chave.
- O processo envolve coletar dados de estudos preliminares para definir o número de amostras necessárias (sejam transetos ou pontos de observação) e o tamanho adequado dos quadrantes. Essa etapa é crucial para garantir uma amostragem estatisticamente confiável.
- Ajustando as Dimensões do Quadrante Personalize as dimensões e a configuração dos quadrantes de acordo com a vegetação da comunidade alvo para amostragem.
 - i. Escolha as dimensões de uma parcela com base na premissa de que a maioria delas deve abranger três espécies distintas.
 - ii. Estabeleça o tamanho apropriado para o quadrante a ser empregue através da realização de uma amostragem preliminar utilizando quadrantes de diferentes dimensões.
 - iii. Utilize um quadrante de dimensões consistentes ao longo de sua pesquisa e considere ajustá-lo caso as frequências se aproximem dos limites de 0% ou 100%. Isso pode ser necessário para manter a precisão da análise.
- O número de estudos de Peso Seco necessários em cada local de pesquisa deve ser determinado com base nos objetivos do estudo. Recomenda-se pelo menos um estudo por local, podendo aumentar conforme necessário. É fundamental avaliar as características das comunidades vegetais nos locais de pesquisa e determinar a quantidade de transetos e quadrantes necessários. O objetivo principal é coletar uma amostra abrangente, abrangendo o maior número possível de espécies em cada comunidade vegetal.

- No que diz respeito ao arranjo do estudo, os dados da Classificação de Peso Seco podem ser obtidos por meio de diferentes configurações de pesquisa, conforme delineado nas opções de layout de linha de base, macroplot ou linear. A abordagem linear é a mais comumente empregada nesse contexto.
- Para assegurar a identificação duradoura da localização de cada estudo, é fundamental estabelecer um posto ou ponto de referência, juntamente com a instalação de uma estaca no local designado para o estudo.
- Atribua números sequenciais aos estudos para uma identificação precisa, de modo a assegurar que os dados coletados possam ser corretamente vinculados a locais específicos no terreno.
- Registe de forma completa as informações relevantes referentes ao estudo no formulário de "Dados de Localização e Documentação do Estudo".
- As orientações para configurar áreas de enquadramento fotográfico e capturar imagens em close-up e em visão geral estão incluídas.
- No processo de amostragem, além de registrar os dados específicos do estudo, é importante realizar observações gerais dos locais de estudo.
- Para iniciar o transecto, é fundamental determinar a direção desejada e escolher um ponto de referência distinto e facilmente identificável, como um pico ou uma formação rochosa proeminente. Esse ponto servirá como guia para a orientação do transecto.

O peso do material vegetal colhido varia devido à presença de água na planta. Para uma avaliação precisa da produção, a fito massa é expressa em base seca ao ar ou seca em estufa. As amostras frescas são geralmente pesadas no campo, e algumas são levadas ao laboratório para secagem em estufa. Após a secagem, a percentagem de matéria seca é calculada. O procedimento de secagem recomendado envolve secar as amostras em um forno de ar forçado a 140-160°F (60-70°C) e verificar a secagem até que não haja mudanças de peso. As amostras secas devem ser armazenadas em local seco. Em condições específicas, amostras secas ao ar podem ser usadas para comparações de produção.

Caso a secagem de amostras se revele uma tarefa particularmente desafiadora, é possível recorrer a valores contábeis ou diretrizes práticas para converter os pesos das amostras

frescas do campo em massa seca. Aqui estão algumas referências para diferentes tipos de plantas.

Plantas Gramíneas:

- Antes do florescimento: 30 a 35% de matéria seca (ou 65 a 70% de umidade).
- Na fase de saída: 35 a 40% de matéria seca.
- Após a floração: 45 a 50% de matéria seca.
- Sementes maduras: 55 a 60% de matéria seca.
- Folhas secas/caules parcialmente secos: 80 a 85% de matéria seca.
- Dormência aparente: 90 a 95% de matéria seca.

Plantas Forrageiras:

- Em estágio muito exuberante: 15 a 20% de matéria seca.
- Maduras, no estágio de semente: 35 a 40% de matéria seca.
- Sementes maduras com folhas secando: 60% de matéria seca.
- Secas e em dormência: 90 a 100% de matéria seca.

Arbustos/Árvores (Caducifólias):

- Folhas novas e exuberantes = 20 a 35%
- Folhas mais velhas e de tamanho normal = 50%

Arbustos/árvores (perenes):

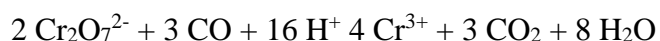
- Folhas novas e exuberantes = 55%
- Folhas mais velhas e de tamanho normal = 65%

Rotineiramente, as áreas de estudo são submetidas a cortes e as quantidades obtidas são registradas em gramas. Posteriormente, por meio de processos de secagem ou estimativa, essas medidas de campo são transformadas em valores de massa seca, também em gramas por parcela. No entanto, para uma efetiva comunicação de dados, é crucial que a biomassa seja convertida e expressa em unidades mais amplamente utilizadas, como libras por acre ou quilogramas por hectare ([USDA, 2023](#)).

2.4.3 Estoque de carbono do solo

O método Walkley & Black é um procedimento utilizado para determinar a quantidade de carbono orgânico presente no solo por meio de uma oxidação húmida com ácido crômico. Esse método envolve a oxidação do carbono orgânico no solo utilizando uma solução de dicromato de potássio 0,167 M ($K_2Cr_2O_7$) em ácido sulfúrico concentrado. Durante a reação, a liberação de calor aumenta a temperatura do sistema, o que, por sua vez, induz uma oxidação substancial do carbono orgânico presente no solo. (FAO, 2019a).

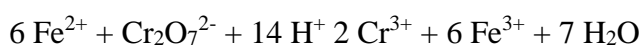
Com a seguinte reação química:



O $Cr_2O_7^{2-}$ reduzido durante a reação com o solo é proporcional ao C orgânico oxidável presente na amostra. O carbono orgânico pode então ser estimado medindo o restante não reduzido dicromato por retro - titulação com sulfato ferroso ou sulfato ferroso de amônio utilizando difenilamina ou complexo o-fenantrolina-ferro como indicador (FAO, 2019a).

Na classificação do solo, o teor de carbono orgânico nos horizontes minerais pode ser estimado a partir da Cor Munsell do solo, tanto seco quanto húmido, levando em consideração sua classe textural, esta estimação parte do princípio de que a cor do solo (valor de Munsell) resulta da combinação de substâncias orgânicas e minerais de tonalidades claras, não sendo muito eficaz em solos com cores intensamente sub superficiais. Tende a subestimar o teor orgânico em solos de regiões secas e em alguns solos tropicais.

Uma abordagem alternativa envolve a determinação do teor de carbono orgânico a partir da formação de íons cromato (Cr^{3+}), utilizando um procedimento colorimétrico que mede a absorvância a 588 nm (nanômetros). Uma vantagem inerente a esse método, em comparação com o método titrimétrico é que a normalização exacta do teor de $Cr_2O_7^{2-}$ não é necessária.



Através deste método, é comum que a recuperação do carbono orgânico total do solo fique na faixa de 75% a 90% em solos superficiais, havendo variações de acordo com o

tipo de solo e profundidade. Em uma investigação conduzida por Walkley & Black, foi constatado que, em média, aproximadamente 77% do carbono orgânico foi recuperado por meio do procedimento de diluição térmica. Como uma medida para compensar o carbono orgânico não recuperado, eles sugeriram a aplicação de um fator de correção de 1,3 (FAO, 2019a).

2.4.4 Atlas Mundial da Desertificação/ Outras fontes de dados

O Atlas Mundial da Desertificação aborda a degradação da terra como um problema global causado por interações complexas de fatores humanos. Em vez de desenvolver um modelo global que não atenda às necessidades de informações locais ou regionais, o atlas adota uma abordagem flexível para fornecer uma estrutura de informações que ajude a encontrar soluções adaptadas a situações locais específicas (JRC, 2023).

Os indicadores disponibilizados pela base de dados global do CCI, mais precisamente o Atlas Mundial da desertificação estão intimamente ligados à qualidade de paisagens, onde temos a aridez, quando este índice é inferior a 0,65, estamos lidando com áreas classificadas como Terras Secas. A aridez é uma maneira de quantificar o nível de "secura" do clima, sendo calculada como a relação entre a precipitação e a evapotranspiração; quanto menor essa relação, mais árido o clima se torna.

Pelos mapas fornecidos pela Agência Espacial Europeia (ESA), Climate Change Initiative: Land Cover no âmbito da iniciativa sobre Mudanças Climáticas: Cobertura Terrestre (ESA, 2020a; ESA, 2020b) juntamente com uso dos dados da base global de Cobertura terrestre Global Copernicus, onde disponibiliza diversos serviços de mapeamento e base de dados que podemos analisar estudar o indicador Cobertura do solo a nível global (Copernicus, 2023).

O indicador que mede a perda da produtividade do solo, interpretado pelo JRC (Centro Comum de Investigação), desempenha um papel crucial na avaliação da degradação do solo resultante de alterações no uso da terra, como a transformação de terras agrícolas em terras que não são apropriadas para esse fim. Este indicador, que é discutido no Atlas de Desertificação, fornece informações valiosas sobre as regiões que sofreram uma redução na produtividade do solo, sendo de importância fundamental na gestão sustentável da terra e dos recursos naturais (JRC, 2023). E quanto ao indicador estoque do carbono

segundo a (Orr, 2019) o mesmo pode ser analisado utilizando a base de dados ISRIC SoilGrids250 onde podemos analisar e estudar o mesmo.

2.5 Gestão Sustentável do Solo

A neutralidade da degradação da terra (LDN) e a gestão sustentável do solo são dois conceitos inter-relacionados, que visam à proteção e uso sustentável do solo. Enquanto a LDN aborda os seus conceitos de forma geral, com foco na proteção do solo de maneira ampla, a gestão sustentável do solo aborda os seus conceitos de forma mais específica, com foco em práticas e técnicas que garantam a sustentabilidade do solo em atividades como a agricultura, a pecuária e a silvicultura (Critchley *et al.*, 2021).

Ao combinar a abordagem da LDN com a gestão sustentável do solo, é possível garantir que o solo seja protegido e utilizado de maneira sustentável em atividades específicas, ao mesmo tempo em que se assegura a conservação da biodiversidade e a manutenção dos ecossistemas. Isso pode levar a uma produção mais eficiente e sustentável, bem como a uma maior resiliência dos ecossistemas e da biodiversidade (Critchley *et al.*, 2021).

O protocolo para avaliação da gestão sustentável do solo fornece uma série de indicadores e ferramentas para avaliar se as intervenções realizadas no solo, tais como inovações tecnológicas, melhorias nos sistemas produtivos, restauração de ecossistemas e sequestro de carbono, são realizadas de forma sustentável, de acordo com a definição de gestão sustentável do solo. Essa avaliação é baseada nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (FAO, 2020).

As Diretrizes Voluntárias para o Gestão Sustentável do Solo (VGSSM), definem o Manejo Sustentável do Solo (SSM) como: “a gestão do solo é sustentável se os serviços de apoio, provisão, regulação e culturais fornecidos pelo solo forem mantidos ou melhorados sem prejudicar significativamente as funções do solo que permitem esses serviços ou a biodiversidade. O equilíbrio entre os serviços de suporte e fornecimento para a produção vegetal e os serviços reguladores que o solo fornece para a qualidade e disponibilidade da água e para a composição dos gases de efeito de estufa atmosféricos é uma preocupação particular” (FAO, 2019b).

Seguindo essa definição, os elementos a serem considerados para a avaliação do SSM são:

Serviços de apoio e fornecimento para crescimento de plantas para alimentos, pecuária, fibras e silvicultura;

- a) Serviços de apoio à biodiversidade subterrânea;
- b) Serviços de regulação da qualidade e quantidade de água;
- c) Regulação de serviços para aumentar o sequestro de carbono e limitar a emissão de gases de efeito estufa (FAO, 2019b; FAO, 2020).

Indicadores de gestão sustentável do solo e sua avaliação

A medição dos indicadores recomendados avalia a capacidade do solo de manter os serviços ecossistêmicos identificados acima nos pontos a) a c) para se obter uma avaliação do Manejo Sustentável do Solo (SSM).

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2020), o conjunto de indicadores recomendados para avaliar o SSM é composto por quatro elementos: produtividade do solo, carbono orgânico do solo, propriedades físicas do solo e atividade biológica do solo. Estes indicadores servem como base para todos os outros indicadores que podem ser adicionados pelos usuários do protocolo de acordo com suas necessidades.

- **A produtividade do solo:** é um indicador crítico que reflete a habilidade do solo em produzir biomassa. É importante medir a produtividade agrícola de forma padronizada, utilizando o mesmo produto por unidade de área.
- **O carbono orgânico do solo:** é um indicador que reflete o estado químico, físico e biológico do solo. Para avaliar as práticas de SSM, pode-se medir a percentagem de matéria orgânica presente na camada superficial do solo.
- **As propriedades físicas do solo:** podem ser avaliadas pela densidade do solo (BD), que mede a massa de solo seco por unidade de volume. Alterações na densidade do solo indicam mudanças em sua estrutura, porosidade e compactidade, além de indicar a velocidade com que água, ar e raízes das plantas podem se movimentar pelo solo.
- **A atividade biológica do solo:** é influenciada pelas condições edafoclimáticas, tais como a salinidade e a poluição, podendo indicar a persistência de degradação

do solo. A taxa de respiração do solo é um método confiável para medir a atividade biológica.

Indicadores adicionais SSM para casos específicos:

- Nutrientes do solo: a disponibilidade adequada de nutrientes é essencial para garantir a alta produtividade agrícola. Uma análise completa dos nutrientes do solo, incluindo nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), pode ser realizada em laboratórios, sendo o fósforo disponível para as plantas um indicador químico importante devido à sua estabilidade e mobilidade limitada no solo. No entanto, os valores de N e K também podem ser considerados.
- Erosão do solo: a perda de solo, conhecida como erosão, pode ser resultado de diferentes fatores, como o vento, a água ou as atividades humanas, incluindo a preparação do solo para cultivo. Para avaliar a erosão do solo, é possível observar sinais visíveis de perda de solo no campo e medir a quantidade de matéria orgânica presente na superfície do solo. Quando a erosão é identificada, é recomendável usar métodos de avaliação, como o método USLE, a análise de imagens de satélite e seus metadados, ou a medição direta em locais específicos, como ravinas, riachos, lavagens, perda de solo com pinos de erosão, sedimentos em declives ou drenos usando caixas Gerlach, ou rebaixamento dos solos ao redor de árvores e cercas. É importante adotar medidas para prevenir e combater a erosão do solo, preservando a qualidade e a fertilidade do solo para as gerações futuras.
- Salinidade do solo: pode ser um fenômeno natural, decorrente das condições geológicas, litológicas e climáticas da área, ou resultado de atividades humanas, como o uso de água rica em sal na irrigação ou práticas inadequadas de irrigação em regiões secas. A presença de plantas holófitas, crostas brancas, aparência oleosa ou falta de crescimento das plantas pode indicar salinidade no campo. A condutividade elétrica (CE) é uma forma de estimar a salinidade do solo.
- Atividade biológica do solo: pode ser estimada por diferentes métodos, como biomassa microbiana do solo, atividade enzimática específica e o método Bait-Lamina. Para uma interpretação mais precisa dos valores obtidos, recomenda-se a associação de pelo menos um desses métodos com a taxa de respiração do solo.
- Diversidade biológica do solo: a variedade de organismos vivos presentes no solo, que inclui microrganismos como bactérias, fungos e protozoários, bem como

mesofauna como nematóides, ácaros e colêmbolos, e macrofauna como minhocas, formigas e térmitas, é responsável pela diversidade biológica do solo. Para avaliar essa biodiversidade, são recomendados métodos como a contagem e identificação de macro e meso organismos por um especialista após extração em laboratório, usando técnicas como o funil de Berlese, o funil de Baermann ou armadilhas de queda no campo. Além disso, análises genômicas regulares podem ser realizadas para avaliar com mais precisão a biodiversidade no nível microbiano. É aconselhável combinar pelo menos um desses métodos com a frequência respiratória mencionada nos indicadores recomendados.

- pH do solo: o nível de acidez ou alcalinidade do solo, conhecido como pH, é um fator importante na disponibilidade de nutrientes para as plantas, e diferentes culturas têm diferentes necessidades de pH para prosperar. O pH do solo pode ser influenciado por práticas de manejo, como calagem, adição de fertilizantes, irrigação com alto teor de sal e contaminação do solo. É possível medir o pH do solo no campo usando indicadores simples ou por meio de testes laboratoriais padronizados. A determinação do pH é uma técnica relativamente barata, rápida e fácil de ser realizada. Corrigir o pH do solo quando este está muito baixo (ácido) pode levar a melhorias significativas nos rendimentos das colheitas.
- A capacidade hídrica disponível: a capacidade de retenção de água no solo entre seu ponto de capacidade máxima e o ponto em que a planta murcha é conhecida como capacidade hídrica disponível. Esse recurso representa um importante serviço ecossistêmico ao regular a qualidade e a disponibilidade de água na paisagem, sendo que a água facilmente disponível é mantida entre -10 e -200 kPa. A capacidade hídrica disponível pode ser usada como um indicador para avaliar a condição física do solo, incluindo sua porosidade e estrutura, já que a disponibilidade de água no solo depende desses fatores.

Incluir parâmetros de campo para avaliar as propriedades físicas do solo pode ser uma adição valiosa ao conjunto de indicadores e parâmetros recomendados:

- A taxa de infiltração do solo: é uma métrica que indica a velocidade com que a água penetra no solo em condições não saturadas. Uma taxa de infiltração muito lenta pode ser um sinal de poças formadas no solo, compactação do solo ou risco de erosão, resultando em escoamento superficial.

- A resistência do solo a penetração: é uma medida útil para estimar o grau de compactação do solo. Ela indica a presença de camadas que podem impedir o crescimento das raízes das plantas e pode ser utilizada para comparar a resistência à penetração em diferentes áreas do solo. Além disso, a resistência do solo à penetração pode ser empregada na identificação de hardpans, zonas de compactação ou camadas densas do solo.
- A poluição do solo: ocorre quando há a presença de contaminantes no solo que podem ter efeitos prejudiciais para o meio ambiente e a saúde humana. A avaliação laboratorial para identificar a presença de contaminantes dependerá da avaliação preliminar de risco de poluição. Os contaminantes mais preocupantes incluem oligoelementos, diversos tipos de pesticidas, excesso de nutrientes, hidrocarbonetos e plásticos. Para realizar uma avaliação precisa, é necessário reunir informações sobre os possíveis riscos de poluição, tais como a proximidade de fábricas ou áreas de mineração, a fonte de água para irrigação, o tipo e frequência de insumos e equipamentos utilizados, bem como o uso de agrolásticos e seu manejo. Além disso, se uma prática de manejo do solo for conhecida por introduzir contaminantes no solo, é necessário realizar medições adicionais para identificar a presença dessas substâncias.

Os objetivos (LDN), complementados com as estratégias de gestão sustentável do solo, ajudam a alcançar as metas propostas a longo prazo, bem como as diretrizes gerais que orientam na tomada de decisão nas organizações de forma a garantir alguma consistência e orientações nas medidas de tomada de decisão na prevenção de problemas futuros, com implementação de projetos integrados de forma a alcançar as metas de uma forma mais eficiente de proteger a saúde da Terra bem como a sua diversidade.

2.6 Modelação da erosão do solo

Borrelli et al. (2021), em seu estudo, afirmam que a comunidade científica ao longo de muitos anos tem dedicado esforços no estudo dos processos que governam a erosão do solo, incluindo a erosão acelerada e seus impactos socioambientais negativos. No decorrer destes anos, diversas disciplinas, tais como a geografia física, ciência do solo, engenharia, hidrologia, biogeoquímica, ciências humanas e a economia, têm contribuído

para a pesquisa sobre a mecânica da erosão do solo e sua distribuição geográfica. Essa abordagem interdisciplinar é refletida em diferentes perspectivas científicas apresentadas na literatura, cada uma com suas próprias escalas temporais e espaciais, metodologias e objetivos de pesquisa.

Para aprimorar a compreensão da erosão do solo, cientistas têm se empenhado em desenvolver equações quantitativas de previsão, baseadas em fatores físicos como clima, características do solo, tipo de vegetação e topografia. Embora progressos significativos tenham sido alcançados na melhoria dos modelos e na configuração dos parâmetros de entrada, ainda existem incertezas nos resultados devido às complexas interações e transições entre os fatores que influenciam os processos de erosão e suas consequências. Além disso, a ampliação dos resultados dos modelos da escala local para escalas maiores também apresenta desafios (Abdelwahab *et al.*, 2018).

Um dos desafios enfrentados na melhoria da modelagem da erosão do solo é a necessidade de informações de referência sobre a utilização desses modelos (Borrelli *et al.*, 2021). Por outro lado, a erosão do solo é um processo multifacetado que envolve diversos fatores, como erosão hídrica, erosão eólica, acidificação do solo, compactação do solo, perda de matéria orgânica e contaminação por metais pesados. O mapeamento e a avaliação da degradação do solo representam desafios importantes, exigindo a consideração de fatores físico-geográficos relevantes, como declividade, altitude, precipitação, temperatura, textura do solo e radiação solar (Bednar & Sarapatka, 2018).

No estudo de (Panagos & Katsoyiannis, 2019), refere que nos últimos anos, houve um crescente interesse em dados de erosão do solo tanto em âmbito internacional quanto em desenvolvimentos de políticas e ações promovidos por organizações internacionais. Essa tendência oferece oportunidades para que os modeladores de erosão do solo proponham soluções e melhores práticas para reduzir a erosão. O uso de dados atualizados provenientes de levantamentos de solo e de sensoriamento remoto tem facilitado a modelagem da erosão do solo em grande escala. O levantamento estatístico do solo (LUCAS Soil), realizado regularmente na União Europeia, é um exemplo relevante desse tipo de levantamento que avalia as propriedades físicas/químicas do solo e contribui para a modelagem da erosão do solo. Além disso, o uso de dados de sensoriamento remoto, como os obtidos pelos satélites (MODIS).

Panagos *et al.* (2017) e Borrelli *et al.* (2021), criaram uma iniciativa que teve como objetivo aprimorar o conhecimento sobre a erosão do solo à escala global, identificar áreas críticas afetadas por esse processo e impulsionar a adoção de políticas abrangentes em diversos níveis. Vale ressaltar que essa avaliação está em consonância com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Aprimorar esse conhecimento ajudaria a estabelecer bases sólidas na modelagem e facilitaria uma identificação mais precisa das exigências para validar, mensurar, acompanhar e mapear os fenômenos de erosão do solo.

O Banco de Dados Global de Aplicações de Modelagem de Erosão do Solo (GASEMT) tem como objetivo de reunir informações sobre modelagem de erosão do solo em escala global. Ele enfatiza a colaboração na ciência aberta e a variedade de aplicações de modelagem de erosão do solo ao redor do mundo.

O GASEMT contém registros que permitem uma análise abrangente das previsões de modelos de erosão do solo, abrangendo diferentes regiões geográficas, períodos e tamanhos de área de estudo. Os registros estão agrupados em regiões facilmente identificáveis (**Figura 1**), com alta densidade de aplicações em áreas como América do Norte, Europa Central/Sul e Nordeste/Extremo Oriente Asiático. Os modelos tendem a prever maiores taxas de erosão nos trópicos, diminuindo à medida que as latitudes se tornam mais altas. A maioria das aplicações de modelagem se concentra na erosão hídrica.

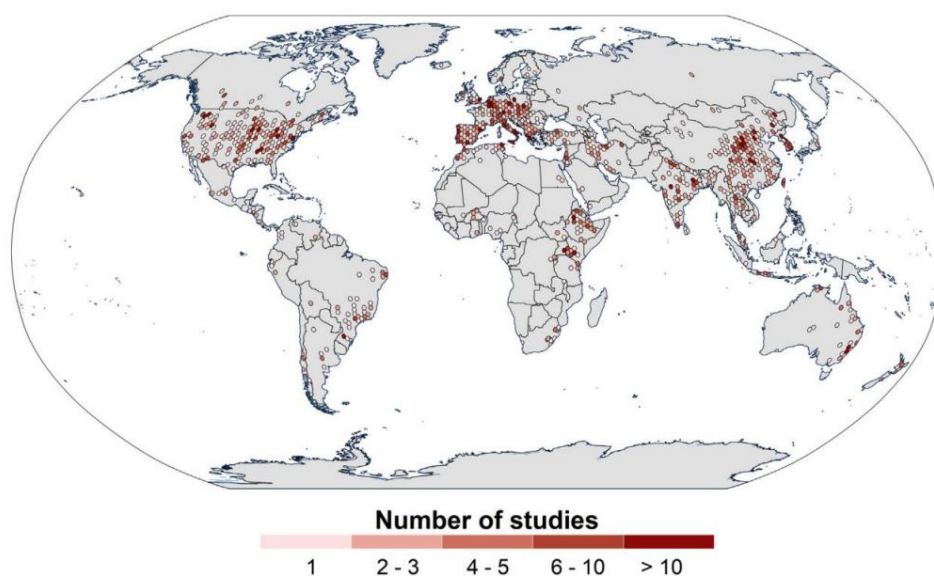


Figura 4 - Distribuição geográfica de 1.833 dos 3.030 registros de base de dados do GASEMT para os quais foi possível obter as coordenadas geográficas das áreas de estudo

O banco de dados do GASEMT é composto principalmente por estudos de erosão hídrica, e pelos modelos da família (R)USLE, sendo estes os mais amplamente utilizados globalmente. No entanto, a compreensão da erosão do solo depende principalmente de modelos empíricos que lidam com a erosão causada pela água, focando nos processos laminares e sulcos conforme apresentado na **Figura 2**. Embora existam modelos físicos baseados em processos como WEPP, RHEM e LISEM, eles ainda não são amplamente aplicados.

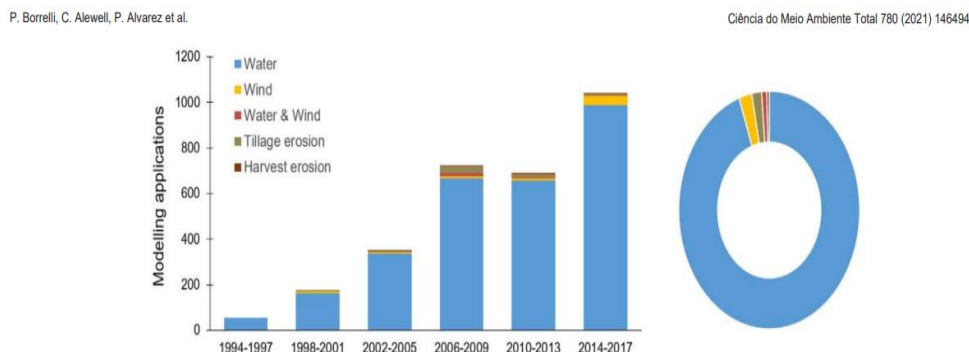


Figura 5 - Números de publicações categorizadas pelo agente erosivo simulado no banco de dados GASEMT ao longo do tempo de 1994-2017

O GASEMT é uma valiosa fonte de informações sobre a modelagem de erosão do solo em todo o mundo, destacando a predominância dos modelos empíricos, especialmente (R)USLE, na compreensão da erosão do solo. Há uma tendência de foco em regiões de clima temperado e mediterrâneo, com aplicação limitada de modelos baseados em processos.

Indo ao encontro aos aplicativos de modelagem de erosão do solo, considerados atualmente como umas das melhores indicações atualmente disponíveis, os mesmos também apresentam desvantagens na validação/avaliação de dados de atividades de campo disponíveis numa determinada região. Este dilema é evidenciado pelo UN GSERmap, que oferece uma chance de superar algumas dessas limitações, trazendo novas abordagens de avaliação de modelos com foco em regiões e nações. Essas abordagens são sustentadas por uma coleta de dados de campo rigorosamente definida, com o propósito de validar e avaliar os resultados.

Equação Universal de perda de solo

Segundo [Foth \(1990\)](#) a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), proposta por [Wischmeier & Smith \(1978\)](#), e sua versão revisada (RUSLE) proposta por [Renard *et al.* \(1997\)](#), é uma ferramenta amplamente utilizada na estimativa da perda de solo em áreas agrícolas. Essa equação, foi primeiramente representada por $A = R K L S C P$, permite calcular a perda de solo por unidade de área, geralmente expressa em toneladas por acre.

Os termos da equação têm suas interpretações específicas: R representa o fator erosividade da chuva, K é o fator de erodibilidade do solo, L é o fator de comprimento da encosta, S é o fator de gradiente do declive, C é o fator de manejo do cultivo e P é o fator de práticas de controle de erosão.

A USLE foi desenvolvida com o propósito de prever as taxas de erosão hídrica em áreas agrícolas, considerando uma série de fatores que afetam a erosão do solo. No entanto, é importante ressaltar que essa equação não abrange a erosão resultante da formação de grandes ravinas, concentrando-se principalmente na erosão causada pela ação da chuva e no manejo inadequado do solo. A USLE é uma ferramenta valiosa para auxiliar na tomada de decisões relacionadas à conservação do solo e na implementação de práticas de manejo sustentável em sistemas agrícolas ([Meinen *et al.*, 2021](#)).

A metodologia utilizada neste estudo para calcular as taxas médias anuais de perda de solo por erosão laminar e sulcada é baseada no modelo RUSLE 2015. Esse modelo emprega uma equação que leva em consideração diversos fatores para determinar as taxas de perda de solo:

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

Onde E representa a perda média anual de solo em toneladas por hectare por ano, R é o fator que mede a erosividade da chuva em megajoules por milímetro por hectare por hora por ano, K é o fator que representa a erodibilidade do solo em toneladas por hectare por hora por megajoule por milímetro, C é o fator que indica a eficácia da cobertura vegetal em prevenir a erosão do solo, LS representa o comprimento da encosta e o fator de declividade da encosta, e P é o fator que considera as práticas de suporte adotadas ([Larsen & MacDonald, 2007](#); [Panagos *et al.*, 2016](#)).

O modelo RUSLE 2015 usa dados atualizados e gratuitos em toda a Europa para estimar os fatores que afetam a erosão do solo com objetivo principal fornecer um mapeamento atualizado da erosão do solo na União Europeia. Ele obtém o fator de erodibilidade do

solo (K) por meio de uma ampla coleta de 20.000 amostras de campo e calcula o fator de erosividade da chuva (R) com dados de alta resolução de precipitação de estações bem distribuídas em toda a Europa. O fator de manejo da cobertura (C) é modelado de maneira diferente em terras não aráveis e aráveis. Nas terras não aráveis, é determinado com base na combinação da classe de uso da terra e da densidade da vegetação, enquanto nas terras aráveis, depende da composição das culturas e das práticas de manejo do solo. O fator LS é calculado a partir de um Modelo Digital de Elevação com resolução de 25 metros, usando equações específicas. Por último, o fator de práticas de suporte (P) leva em conta a implementação da agricultura de contorno de acordo com as políticas agroambientais da União Europeia, juntamente com medidas de proteção contra a erosão do solo, como paredes de pedra e margens de grama. Essas melhorias e a utilização de dados atualizados contribuem para uma avaliação mais precisa das perdas de solo na Europa, sendo fundamentais para a gestão e conservação do solo (Panagos *et al.*, 2016).

2.7 Políticas ambientais de proteção do solo na União Europeia

De acordo com o trabalho citado por Panagos *et al.* (2016) no ponto anterior, o modelo Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE, 2015), considera aspectos físicos do solo, tendo em conta fatores políticos e práticas de gestão, integrando uma variedade de informações para fornecer uma compreensão abrangente e holística da dinâmica do solo e das políticas relacionadas com ele. As políticas europeias de limitação da degradação e perda do solo têm por base o referido modelo.

O modelo RUSLE 2015 mostra que excluindo as zonas não suscetíveis à erosão (urbanas, rochas nuas, glaciares, massas de água) se regista uma taxa média anual de perda de solo de 2,46 toneladas por hectare/ano na UE estimando-se por ano uma perda total de cerca de 970 megatoneladas. As taxas mais elevadas de perda de solo encontram-se nas zonas mediterrânicas e nas regiões alpinas da Eslovénia e na Áustria ocidental, devendo-se principalmente a uma junção de elevada erosividade da precipitação e a uma topografia de relevo acentuado (Figura 3). Segundo Panagos *et al.* (2016) a taxa média de perda de solo na União Europeia (UE) excede a taxa média de formação de solo (valor).

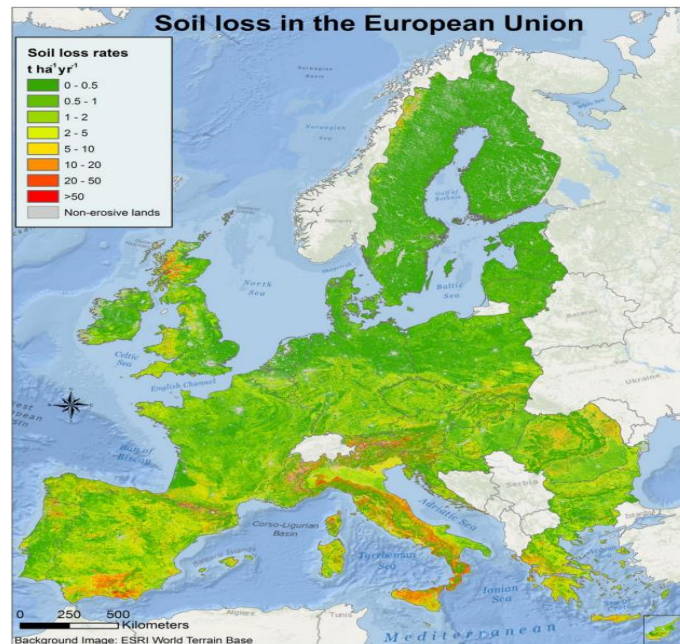


Figura 6 - Mapa das taxas de perda de solo na União Europeia (ano de referência 2010) Fonte: Panagos *et al.* (2016)

Partindo desta realidade no que diz respeito à perda de solo nos países que integram a União Europeia, passamos agora a uma análise das orientações, políticas da União Europeia que tenham em consideração a proteção dos solos.

No 6º Programa-Quadro de ação ambiental, que enquadrava as grandes prioridades em matéria ambiental na União e cobre o período de 2002 a 2012, salientamos a concentração de esforços em Proteger a natureza e a vida selvagem em que consta entre os principais objetivos proteger os solos contra a erosão e a poluição nomeadamente através do Desenvolvimento de uma estratégia de proteção do solo. (Comunidade Europeia, 2001).

Posteriormente no 7º Programa-Quadro de Ação ambiental, que estabelece objetivos vinculativos que a União Europeia e os seus Estados- Membros deveriam cumprir no domínio do ambiente até 2020, salienta-se o objetivo prioritário proteger, conservar e preservar o capital natural da União em que é referida a necessidade de desenvolver mais ações na UE e a nível nacional relacionadas com a Proteção do solo e uso sustentável das terras (Jornal Oficial da União Europeia, 2022; Comunidade Europeia, 2014).

De facto, ao longo do tempo a Comissão Europeia tem vindo a publicar vários documentos acerca da Estratégia de Proteção dos solos, sendo o último de 2021 (COMISSÃO EUROPEIA, 2021a). Aí, de um modo geral, são referidas e justificadas as

razões para o estado de degradação atual do recurso solo e identificadas inúmeras práticas humanas que para tal concorrem. São também definidas medidas mitigadoras e as condutas necessárias na prática com vista a uma travagem e reversão dos fenómenos em causa (COMISSÃO EUROPEIA, 2021a).

A resolução do Parlamento Europeu sobre a Proteção dos solos, publicada em abril de 2021 é um documento em que esta instituição enumera um conjunto de reflexões e a tomada de consciência sobre o estado deste recurso na UE (União Europeia), bem como acerca de necessidade da sua proteção (PARLAMENTO EUROPEU, 2021). Algumas das medidas aí avançadas tinham também já sido consideradas prioridades no 7º Programa-Quadro de Ação Ambiental bem como na Comunicação da Comissão feita no Pacto Ecológico Europeu e o 8º Programa de Ação Ambiental.

Uma vez que a UE encerra em si uma grande diversidade de Estado para Estado, a política da União para proteger e restaurar a saúde do solo deve garantir atuações que tenham em conta essa diversidade e as diferentes necessidades regionais, seguindo os princípios da precaução prevenção, correção, contidas na diretiva 2004/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de abril de 2004 relativa à responsabilidade ambiental (COMISSÃO EUROPEIA, 2023; Jornal Oficial da União Europeia, 2004).

O Pacto Ecológico Europeu surge como um instrumento abrangente, proporcionando uma visão articulada e concreta para orientar a Europa rumo a um futuro mais sustentável e resiliente.

O 8º Programa de Ação Ambiental (8º PAA), implementado em maio de 2022, a agenda unificada da União Europeia (UE) para a política ambiental, vigente até 2030. Reafirmando o compromisso da UE, traçado pelo 7.º PAA, de alcançar uma visão para 2050, prosperar dentro dos limites do nosso planeta, o 8.º PAA é construído sobre alicerces sólidos ao endossar e ampliar os objetivos ambientais e climáticos estabelecidos pelo Pacto Ecológico Europeu. Além disso, proporciona um contexto favorável para a concretização de seis metas prioritárias, impulsionando assim os esforços rumo a um futuro sustentável e resiliente, onde se salientam os dois objetivos abaixo transcritos:

- Concretizar uma ambição de poluição zero, nomeadamente para o ar, a água e o solo, e proteger a saúde e o bem-estar dos Europeus;
- Proteger, preservar e restaurar a biodiversidade e reforçar o capital natural (nomeadamente o ar, a água, o solo e as florestas, bem como os ecossistemas

marinhos de água doce e de zonas húmidas); ([Jornal Oficial da União Europeia, 2022](#)).

A busca por solos saudáveis para o bem-estar humano, alimentação, natureza e clima torna-se evidente no alcance dos objetivos traçados pela UE. Para atingir esses objetivos, houve uma proposta de revisão da Estratégia para proteção do Solo da UE.

Essa revisão visou estabelecer diretrizes claras e ações específicas para garantir a proteção, recuperação e uso sustentável dos solos. É crucial envolver a participação pública nesse processo, juntamente com a alocação adequada de recursos financeiros, e promover a troca de conhecimentos e a adoção de práticas sustentáveis, ao lado de um monitoramento consistente para acompanhar os avanços ([COMISSÃO EUROPEIA, 2021a](#)).

A estratégia de proteção do solo da União Europeia - comunicação da comissão ao Parlamento Europeu de 17 de julho de 2021 está em harmonia com outras políticas da União Europeia decorrentes do Pacto Ecológico Europeu. Além disso, ela desempenhará um papel no apoio à ambição da UE de liderar ações globais relacionadas ao solo, clima e o ambiente. Para concretizar esses esforços, estão previstas medidas inovadoras, algumas de natureza voluntária e outras de caráter legalmente vinculativo.

Tais medidas serão implementadas respeitando a autonomia das nações e com base nas abordagens já adotadas em cada Estado sobre o solo ([COMISSÃO EUROPEIA, 2021a](#)).

A **Figura 4** evidencia a ligação entre a Estratégia de Proteção do Solo da UE e outras iniciativas de proteção do ambiente da UE a 17 de julho de 2021.



Figura 4 - Estratégia de Proteção do Solo da UE e outras iniciativas europeias
 Fonte: (COMISSÃO EUROPEIA, 2021a)

2.8 Proteção dos solos na Política Agrícola Comum

Sendo as produções agrícolas atividades que lidam diretamente com os recursos naturais, particularmente com o recurso solo, iremos agora debruçarmo-nos nas orientações da Política Agrícola Comum em Portugal em que direta ou indiretamente se aplicam medidas que visam a Proteção dos Solos.

A transposição das políticas europeias em matéria do ambiente ligados a exploração agrícola intimamente ligada ao solo, estão orientadas na política agrícola comum (PAC), com o objetivo de transformar o setor agrícola em algo mais inteligente, sustentável, competitivo e diversificado, garantindo assim a segurança alimentar a longo prazo. Isso envolve aumentar o rendimento e a resiliência nas explorações agrícolas, combater as mudanças climáticas, proteger os recursos naturais e preservar a biodiversidade. Além disso, a PAC busca fortalecer as comunidades rurais (Ministério da Agricultura, 2023; COMISSÃO EUROPEIA, 2023).

Para atingir esses objetivos, a PAC adapta o apoio por meio de planos estratégicos nacionais elaborados pelos Estados-Membros e aprovados pela Comissão Europeia. Esses planos são avaliados com base em critérios específicos e com atenção à igualdade e à coerência. O financiamento para esses planos vem de dois fundos da União Europeia geridos a nível nacional por cada país da UE:

- O Fundo Europeu Agrícola de Garantia (FEAGA) fornece apoio direto e estabilização de mercados agrícolas internos, sendo totalmente financiado pela UE.
- O Fundo Agrícola Europeu para o Desenvolvimento Rural (FEADER) apoia o desenvolvimento rural e requer cofinanciamento dos Estados-Membros. Esse apoio é distribuído ao longo de vários anos, dependendo das necessidades e é canalizado por meio de subvenções ou instrumentos financeiros.

Embora algumas das medidas de proteção do solo estivessem já presentes nas orientações da PAC em Portugal sobretudo nos Programas de Desenvolvimento Rural 2007-2014 e 2014-2020, analisaremos com mais detalhe as contidas na PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum), cujo esquema geral para o Continente português se apresenta nas **Figuras 5 e 6**.

- Aplicação ao Continente						
1.º Pilar		2.º Pilar				
Assistência Técnica + Rede PAC						
EIXOS	Eixo A RENDIMENTO E SUSTENTABILIDADE	Eixo B ABORDAGEM SECTORIAL INTEGRADA	Eixo C DESENVOLVIMENTO RURAL Continente		Eixo D ABORDAGEM TERRITORIAL INTEGRADA Continente	
DOMÍNIOS	<p>A.1 RENDIMENTO E RESILIÊNCIA A.1.1 - Apoio ao Rendimento Base A.1.2 - Apoio Associado A.1.2.1 - Pagamento vaca em aleitamento A.1.2.2 - Pagamento aos pequenos ruminantes A.1.2.3 - Pagamento leite de vaca A.1.2.4 - Pagamento ao arroz A.1.2.5 - Pagamento ao tomate para indústria A.1.2.6 - Pagamento às proteaginosas A.1.2.7 - Pagamento aos cereais praganosos A.1.2.8 - Pagamento ao milho para grão A.1.2.9 - Pagamento ao milho silagem A.1.2.10 - Pagamento à multiplicação de sementes certificadas A.1.2.11 - Pagamento específico para o algodão</p> <p>A.2 EQUIDADE A.2.1 - Pagamento aos pequenos agricultores A.2.2 - Apoio redistributivo complementar</p> <p>A.3 SUSTENTABILIDADE (Ecorregime) A.3.1 - Agricultura Biológica (Conversão e Manutenção) A.3.2 - Produção Integrada (PRODI) – Culturas Agrícolas A.3.3 – Gestão do Solo A.3.3.1 - Maneio da Pastagem Permanente A.3.3.2 - Promoção da Fertilização Orgânica A.3.4 – Melhorar eficiência alimentar animal para redução da emissão de GEE A.3.5 – Bem-Estar Animal e Uso Racional de Antimicrobianos A.3.6 – Práticas promotoras da biodiversidade</p>	<p>B.1 - PROGRAMA NACIONAL PARA APOIO AO SECTOR DA FRUTA E DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS B.1.1 - Gestão do solo B.1.2 - Gestão da água B.1.3 - Gestão de energia B.1.4 - Gestão de resíduos B.1.5 - Proteção das culturas B.1.6 - Instalação e reestruturação B.1.7 - Produção experimental B.1.8 - Aconselhamento e assistência técnica B.1.9 - Formação B.1.10 - Comercialização B.1.11 - Promoção, comunicação e marketing B.1.12 - Rastreabilidade e qualidade B.1.13 - Avaliação e certificação ambiental B.1.14 - Fundos mutualistas B.1.15 - Reposição de potencial produtivo B.1.16 - Retiradas do mercado B.1.17 - Seguros de colheita</p> <p>B.2 PROGRAMA NACIONAL PARA APOIO AO SECTOR DA APICULTURA B.2.1 - Assistência técnica aos apicultores e organizações de apicultores B.2.2 - Luta contra a varroose B.2.3 - Combate à Vespa velutina (vespa asiática) B.2.4 - Apoio à transumância B.2.5 - Análises de qualidade do mel ou outros produtos apícolas B.2.6 - Apoio à aquisição de rainhas autóctones seleccionadas B.2.7 - Apoio a projetos de investigação aplicada B.2.8 - Melhoria da qualidade dos produtos apícolas</p> <p>B.3 PROGRAMA NACIONAL PARA APOIO AO SECTOR DA VITIVINICULTURA B.3.1 - Destilação de subprodutos da vinificação B.3.2 - Promoção e comunicação nos países terceiros B.3.3 - Reestruturação e conversão de vinhas (Biológica) B.3.4 - Reestruturação e conversão de vinhas B.3.5 - Seguros de colheitas</p>	<p>C.1 GESTÃO AMBIENTAL E CLIMÁTICA C.1.1 – Compromissos Agroambientais e Clima C.1.1.1 - Uso Eficiente dos Recursos Naturais: C.1.1.1.1 - Conservação do solo C.1.1.1.1.1 Sementeira direta C.1.1.1.1.2 Enrelvamento C.1.1.1.1.3 Pastagens Biodiversas C.1.1.2 - Uso eficiente da água C.1.1.2 - Manutenção de sistemas extensivos com valor ambiental ou paisagístico. C.1.1.2.1 - Montados e Lameiros C.1.1.2.2 - Culturas Permanentes e Paisagens Tradicionais C.1.1.3 - Mosaico Agroflorestal C.1.1.4 - Manutenção de Raças Autóctones C.1.1.5 - Conservação e melhoramento de Recursos genéticos (animais, vegetais e forestais) C.1.2 - Manutenção da atividade agrícola em zonas com condicionantes C.1.2.1 - Apoio às Zonas com Condicionantes Naturais C.1.2.2 - Pagamento Rede Natura</p> <p>C.2 INVESTIMENTO E REJUVENESCIMENTO C.2.1 – Investimentos na Exploração Agrícola C.2.1.1 – Investimento Produtivo Agrícola – Modernização C.2.1.2 – Investimento Agrícola para Melhoria do Desempenho Ambiental C.2.1.3 - Investimentos Não Produtivos C.2.2 – Instalação Jovens Agricultores C.2.2.1 – Prémio instalação Jovens Agricultores C.2.2.2 – Investimento produtivo Jovens Agricultores</p>	<p>C.3 SUSTENTABILIDADE DAS ZONAS RURAIS C.3.1 - Investimentos na Bioeconomia de base agrícola/Florestal C.3.1.1 – Investimento produtivo Bioeconomia – Modernização C.3.1.2 – Investimento na Bioeconomia para Melhoria do Desempenho Ambiental C.3.2 – Silvicultura Sustentável * C.3.2.1 – Florestação de terras agrícolas e não-agrícolas C.3.2.2 – Instalação de sistemas agroflorestais C.3.2.3 – Prevenção da floresta contra agentes bióticos e abióticos C.3.2.4 – Restabelecimento do potencial silvícola na sequência de catástrofes naturais, de fenómenos climáticos adversos ou de acontecimentos catastróficos C.3.2.5 – Promoção dos serviços de ecossistema C.3.2.6 – Melhoria do valor económico das florestas C.3.2.7 - Gestão da Fauna Selvagem C.3.2.8- Prémio à perda de rendimento e à manutenção de investimentos florestais</p>	<p>C.4 RISCO E ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO C.4.1 - Gestão de Riscos C.4.1.1 - Seguros C.4.1.2 - Prevenção de calamidades e catástrofes naturais C.4.1.3 - Restabelecimento do potencial produtivo C.4.1.4 - Fundo de Emergência Rural C.4.2 - Apoio à Promoção de Produtos de Qualidade C.4.3 - Organização da produção C.4.3.1 - Criação de agrupamentos e organizações de produtores C.4.3.2 - Organizações Interprofissionais</p> <p>C.5 CONHECIMENTO C.5.1 - Grupos operacionais para a inovação C.5.2 – Formação e informação C.5.3 – Aconselhamento C.5.4 – Conhecimento Agroambiental e Climático C.5.5 – Acompanhamento Técnico Especializado - Intercâmbio de conhecimento</p>	<p>D.1 DESENVOLVIMENTO LOCAL DE BASE COMUNITÁRIA <i>(Preparação Estratégias de Desenvolvimento Local (EDL); Implementação das Estratégias de Desenvolvimento Local (EDL); Custos de funcionamento, animação e Cooperação GAL)</i></p> <p>D.2 PROGRAMAS DE AÇÃO EM ÁREAS SENSÍVEIS D.2.1 - Planos Zonais Agroambientais D.2.2 - Gestão do montado por resultados D.2.3 – Gestão integrada em zonas críticas D.2.4 – Proteção de espécies com Estatuto - Superfície agrícola D.2.5 – Proteção de espécies com Estatuto - Silvoambientais</p> <p>D.3 REGADIOS COLETIVOS SUSTENTÁVEIS D.3.1 - Desenvolvimento do regadio sustentável D.3.2 - Melhoria da sustentabilidade dos regadios existentes</p>

Figura 5 - Esquema Geral da PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum)

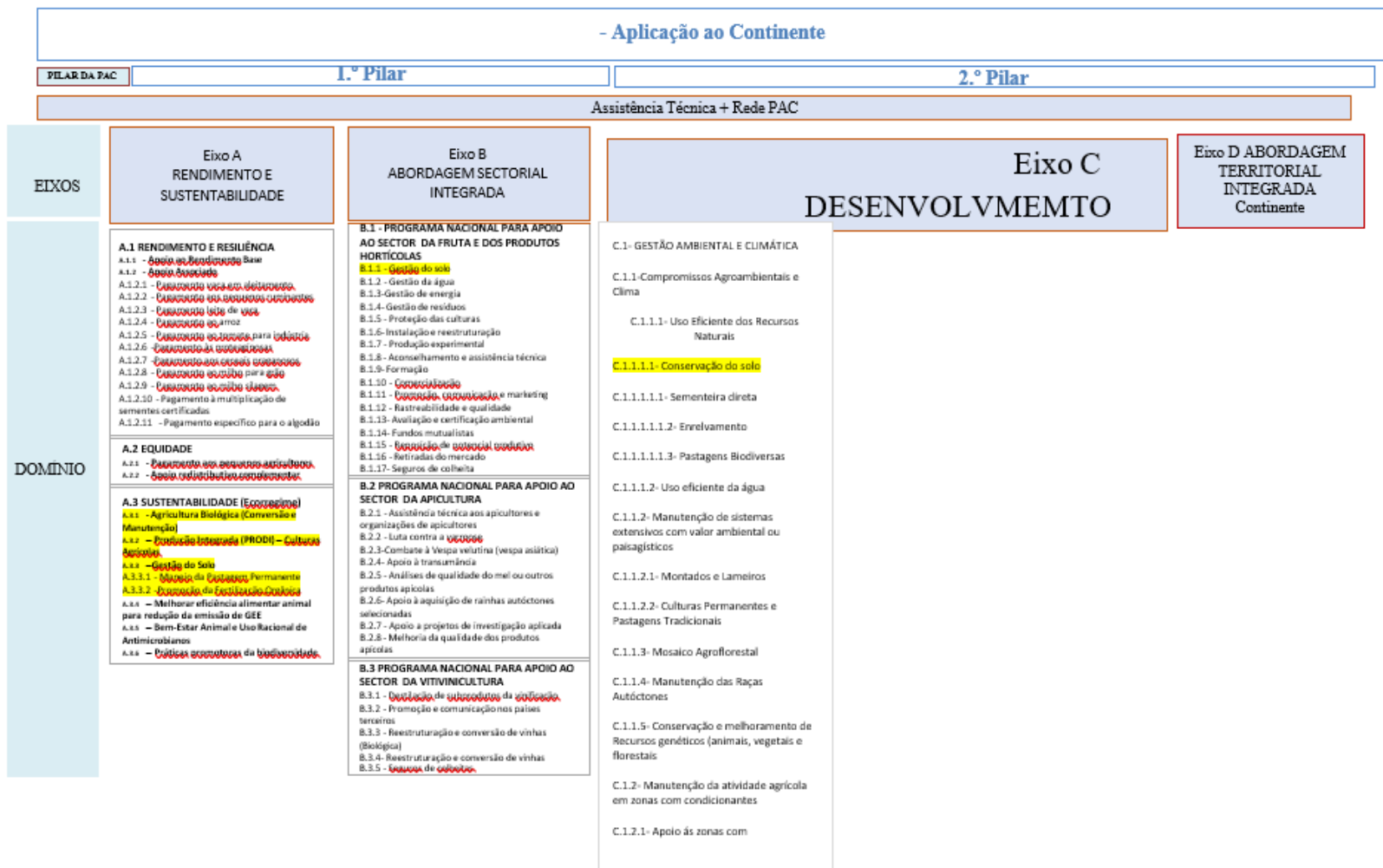


Figura 6 - Resumo do Esquema Geral da PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum)

Nas **Figuras 5 e 6** assinalamos especificamente as medidas direcionadas para a proteção do solo, a saber:

- Agricultura Biológica
- Produção Integrada
- Gestão do solo (Maneio da Pastagem Permanente; Promoção da Fertilização Orgânica)
- Gestão do solo
- Conservação do solo

Agricultura Biológica

Sublinhamos no Eixo A Rendimento e Sustentabilidade o Domínio A3 Sustentabilidade a Agricultura Biológica no enquadramento do Art.º 31.º do Regulamento (UE) 2021/2115, cujo o princípio adota a gestão agrícola promovendo uma série de técnicas que tem como objetivo principal manter a saúde e fertilidade do solo, garantido assim a capacidade produtiva a longo prazo sem recorrer a químicos nocivos destacando-se como uma estratégia vital para a conservação dos recursos naturais e para a promoção de uma agricultura mais verde e sustentável.

A intervenção apontada tem como objetivo apoiar a conversão dos sistemas de agricultura e pecuária convencional para a produção biológica ou a sua manutenção nesse modo de produção. Sendo assim uma das formas encontradas pela PEPAC de promover essas intervenções é pelo meio de incentivos beneficiário onde será demonstrado de forma sucinta na **Tabelas 3 e 4**.

Tabela 11 - Montantes e Limites de Apoio Conversão em Agricultura Biológica
(Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal

Grupos de Culturas		Montantes de Apoio (€/ha; €/CN)	Unid.	Escalões de Área/Efetivo para efeito de modulação do Apoio (há/CN) ⁽⁴⁾				
				1º esc.	2º esc.	3ºesc.	4º esc.	
Culturas permanentes	Frutos Frescos de Regadio		975	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25
	Frutos Frescos de Sequeiro		910	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25
	Olival e Frutos Secos	Regadio	656	€/ha	<=10	<=20	<=50	>50
		Sequeiro	320	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100
Vinha		630	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25	
Arroz		684	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de regadio ⁽¹⁾		475	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de sequeiro		98	€/ha	<=30	<=60	<=150	>150	
Horticultura ⁽²⁾		640	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25	
Pastagem permanente ⁽³⁾		102	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Animais em modo de produção biológico		50	€/CN	<=20	<=40	<=100	>100	

Tabela 12 - Montantes e Limites de Apoio Manutenção em Agricultura Biológica
(Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal

Grupos de Culturas		Montantes de Apoio (€/ha; €/CN)	Unid.	Escalaões de Área/Efetivo para efeito de modulação do Apoio (há/CN)(4)				
				1º esc.	2º esc.	3ºesc.	4º esc.	
Culturas permanentes	Frutos Frescos de Regadio		927	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25
	Frutos Frescos de Sequeiro		825	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25
	Olival e Frutos Secos	Regadio	600	€/ha	<=10	<=20	<=50	>50
		Sequeiro	290	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100
	Vinha		570	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25
Arroz		649	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de regadio(1)		430	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de sequeiro		89	€/ha	<=30	<=60	<=150	>150	
Horticultura (2)		610	€/ha	<=5	<=10	<=25	>25	
Pastagem permanente(3)		97	€/ha	<=20	<=40	<=100	>100	
Animais em modo de produção biológico		48	€/CN	<=20	<=40	<=100	>100	

Nota:

- iv. (1) Culturas de regadio, com exceção do arroz e das culturas que se inserem na classificação “Horticultura”
- v. (2) Para além das culturas hortícolas e horto-industriais realizadas ao ar livre e em estufa, inclui ainda as culturas aromáticas,
- vi. condimentares e medicinais
- vii. (3) Este grupo de culturas para pagamento não inclui prado e pastagens permanentes com predominância de vegetação arbustiva.
As superfícies forrageiras em sob coberto de sobreiro para produção de cortiça utilizadas para pastoreio são consideradas para efeito de pagamento neste grupo de culturas (4) Até ao 1º escalão recebe 100%, até ao 2º recebe 80%, até ao 3º recebe 50% no 4º recebe 20%

Produção Integrada

Ainda no eixo A surge a **Produção Integrada**, A.3.2, no enquadramento do Art.º 31.º do Regulamento (UE) 2021/2115, e cujo o princípio é garantir a gestão sustentável das culturas agrícolas, envolvendo a avaliação ponderada de todos os métodos de proteção disponíveis, integrando medidas adequadas para reduzir o desenvolvimento de populações de organismos nocivos, onde a PEPAC tem como propósito apoiar a implementação de técnicas de produção integrada das culturas, promovendo por meios de incentivos beneficiário destacado na **Tabela 5**. Esta técnica de produção ao promover uma menor utilização de produtos químicos no controle de pragas e doenças contribui também para maior sanidade do solo.

Tabela 13 - Montantes e Limites de Apoio Produção Integrada (PRODI)- Culturas Agrícolas (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal

Grupos de Culturas		Montantes de Apoio (€/ha; €/CN)	Escalões de de apoio por escalão de área (há)				Escalões de Área/Efetivo para efeito de modulação do Apoio (há/CN) ⁽³⁾				
			1ºesc.	2ºesc.	3ºesc.	4ºesc.	1º esc.	2º esc.	3ºesc.	4º esc.	
Culturas permanentes	Frutos Frescos de Regadio	552	552	442	276	110	<=5	<=10	<=25	>25	
	Frutos Frescos de Sequeiro	396	396	317	198	79	<=5	<=10	<=25	>25	
	Olival e Frutos Secos	Regadio	246	246	197	123	49	<=10	<=20	<=50	>50
		Sequeiro	172	172	138	86	34	<=20	<=40	<=100	>100
	Vinha	236	236	189	118	47	<=5	<=10	<=25	>25	
Arroz		575	575	460	287	115	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de regadio ⁽¹⁾		184	184	147	92	37	<=20	<=40	<=100	>100	
Culturas temporárias de sequeiro		42	42	34	21	8	<=30	<=60	<=150	>150	
Horticultura ⁽²⁾		536	536	428	268	107	<=5	<=10	<=25	>25	

Notas:

- viii. (1) Culturas de regadio com exceção do arroz e das culturas que se inserem na classificação “Horticultura”
- ix. (2) Para além das culturas hortícolas e horto-industriais realizadas ao ar livre e em estufa, inclui ainda as culturas aromáticas, condimentares e medicinais
- x. (3) Até ao 1º escalão recebe 100%, até ao 2º recebe 80%, até ao 3º recebe 50% e no 4º recebe 20%

Gestão do solo

Esta intervenção enquadra-se no Art.º 31.º do regulamento (UE) 2021/2115 abrangendo as explorações agrícolas, intimamente ligados à gestão do solo, onde se promove a utilização de diferentes técnicas para alcançar uma maior proteção do solo. Assim prevê-se subsidiar o **Maneio da Pastagem Permanente** e a **Promoção da Fertilização Orgânica**

- Maneio da pastagem permanente;
- Promoção da fertilização orgânica;

O **Maneio da Pastagem Permanente** tem como principal objetivo aumentar a capacidade de sumidouro de carbono do solo, proteger o solo contra a erosão, e na promoção da economia de baixo teor de carbono onde essas mesmas metas são atingidas através das intervenções e incentivos, aos prados permanentes espontâneos/ naturais ou semeados em terra limpa e/ou em sob coberto.

No que concerne aos incentivos os beneficiários precisam estar elegíveis do ponto de vista das condições de acesso, respeitando as condições e compromissos atribuídos pela PEPAC, que variam por tipo de intervenção. Sendo elegível, é atribuído ao beneficiário um apoio anual por hectare de superfície de pastagens permanentes, variando conforme o número de bovinos, ovinos e caprinos registados no SNIRA (Sistema Nacional de Informação e Registo Animal). Na **Tabela 6** apresenta-se de forma sucinta, os incentivos.

Tabela 14 - Montantes unitários indicativos (€/ha)
(Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2022). Guia PEPAC Portugal

Escalões de área e encabeçamento		Montante de Apoio (€/há)
Escalões de área	Encabeçamento (CN/há)	
Até 100 ha	0,2CN/há e 0,75CN/ha	75€/ha
	0,75CN/há e 1,5CN/ha	45€/ha
≥ 100 ha	0,2CN/há e 0,75CN/ha	30€/ha
	0,75CN/há e 1,5CN/ha	18€/ha

A **Promoção da fertilização orgânica** tem como principal objetivo promover a substituição dos fertilizantes sintéticos por fertilizantes naturais, com o objetivo de reduzir as emissões de N₂O, melhorar a fertilidade do solo através do aumento de teor de matéria orgânica, sequestro de carbono e a capacidade de armazenamento de água e incentivar a implementação de boas práticas de incorporação de efluentes, visando reduzir as emissões de NH₃.

Os níveis de apoio anual são atribuídos por ha de superfície agrícola com valorização agrícola de efluentes pecuários e um montante indicativo de 50€/ha.

Eixo B Abordagem Setorial Integrada

Gestão do solo

No Programa Nacional para Apoio ao Setor da fruta e dos Produtos hortícolas, temos também o Domínio B.1.1 Gestão do solo (**Figura 6**) com o objetivo de promover práticas agrícolas sustentáveis que contribuam para a preservação do solo, bem como outras ações que visam melhorar a produtividade agrícola, reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento socioeconómico das comunidades rurais.

O apoio é efetuado através de reembolso dos custos elegíveis efetivamente suportados pelo beneficiário: instalação de sistemas de compostagem de resíduos de colheitas e/ou subprodutos orgânicos e aquisição e instalação do sistema de reutilização de biomassa e/ou subprodutos orgânicos.

Eixo C Desenvolvimento Rural Continente

Conservação do solo

Na Gestão ambiental e Climática no domínio C.1.1.1.1 encontraremos a Conservação do solo com a finalidade de contribuir a obtenção de benefícios ambientais diretos com um conjunto de práticas agrícolas contribuindo para a fertilidade do solo e consequentemente aumentam o armazenamento de carbono orgânico, onde se destacam três medidas importantes: **sementeira direta, enrelvamento e pastagens biodiversas**.

A **Sementeira direta** permite obter benefícios ambientais diretos ao nível do recurso solo. É a implementação de plantio direto das sementes sem a necessidade de preparo prévio do terreno através de equipamentos especializados, com a abertura de pequenos sulcos no solo coberto permitindo assim a diminuição da erosão, melhorar a estrutura, aumentar o teor em matéria orgânica do solo, com impactos diretos na sua proteção.

Os níveis de apoio são atribuídos por hectare de terra arável semeada por essa mesma técnica, sendo diferenciado por grupos de cultura, modulado por escalões de área.

Montantes unitários indicativos (€/ha) por Grupo de cultura e por Escalões de Área, para efeito de aplicação de modulação do apoio (ha):

Culturas de Regadio: Área até 20ha- Apoio: 114 €; Área de 20 até 40ha- Apoio: 97€; Área de 40 até 100ha – Apoio: 68 €; Área > 100ha- Apoio 29 €

Culturas de Sequeiro: Área até 20ha- Apoio: 60€; Área de 20 até 40ha-Apoio: 52 €; Área de 40 até 100ha-Apoio: 36 €; Área > 100ha-Apoio:16 €;

Compromissos opcionais:

(ANUAL) Manutenção da palha no solo: Área até 20 ha – Apoio: 30 €; Área de 20 até 40 ha-Apoio: 24 €; Área de 40 até 100 ha - Apoio: 18€; Área > 100 ha-Apoio: 6 €;

(PLURIANUAL) Práticas melhoradas da estrutura do solo: Área até 20 ha-Apoio: 30 €; Área de 20 até 40 ha – Apoio: 24 €; Área de 40 até 100 ha-Apoio: 18 €; Área > 100 ha – Apoio: 6 €.

O **Enrelvamento** contribui para o mesmo benefício já apontado pela sementeira direta, o enrelvamento funciona como uma barreira protetora aos agentes erosivos (chuva e o vento, deslizamento de terra), melhorando a estrutura do solo, o armazenamento de carbono orgânico e o aumento de matéria orgânica.

Os níveis de apoio à intervenção são atribuídos anualmente por hectare de superfície cultura permanente elegível:

Montantes unitários indicativos (€/ha) por escalões de Área, para efeito de aplicação de modulação do Apoio (ha): -Área até 10 ha-Apoio: 105 €; - Área de 10 até 25 ha - Apoio: 89 €; - Área de 25 até 50 ha - Apoio: 79 €; Área > 50 ha - Apoio: 26 €.

Pastagens biodiversas apontados como uma das principais fontes de sequestro de carbono, melhorando assim a estrutura do solo com o aumento de matéria orgânica, envolvendo níveis adequados de diversidade de plantas a diferentes níveis de cobertura do solo, protegendo o solo dos efeitos da erosão direta.

Os apoios são atribuídos por hectare de superfície de pastagens permanentes biodiversas, diferenciado em função do nível de encabeçamento e modulado por escalões de área. As

pastagens permanentes são pagas se se verificar um encabeçamento mínimo superior a 0,2 CN de efetivo pecuário de bovinos, ovinos, e caprinos, identificados no SNIRA, e quando se verifique a situações de seca extrema reconhecidas pelas autoridades nacionais competentes, este valor passa para um mínimo de 0,1 CN por hectare.

Montantes unitários indicativos(€/ha) por Escalões de Área, para efeito de aplicação de modulação do Apoio (ha) para níveis de encabeçamento entre 0,2 CN/ha e 0,75 CN/ha: até 20 ha: 120 €/ha; >20 ha até 40 ha: 96 €/ha; > 40 até 100 ha: 58 €/ha; > 100 ha: 23 €/ha.

Caso o encabeçamento máximo seja superior a 0,75 CN/ha e inferior a 1,5 CN/ha então aplica-se uma redução de 20% no nível de apoio, não havendo lugar a pagamento se o encabeçamento for superior a 1,5 CN/ha.

Breve síntese

Para além dos objetivos recorrentemente referidos nas publicações sobre política ambiental da União Europeia, em que se apontam intenções de preservação do solo, analisaram-se neste trabalho as medidas de proteção do solo no âmbito da PEPAC 2023-2027 (Plano Estratégico da Política Agrícola Comum).

Aí deparamo-nos com medidas concretas que financiam os agricultores. Para tal os produtores agrícolas terão de demonstrar a sua vontade, candidatando-se ao recebimento dos diferentes subsídios previstos, comprometendo-se a adotar as diferentes práticas descritas e a manter as condições de elegibilidade necessárias para aceder aos subsídios referidos.

Trata-se de apoios a práticas mais sustentáveis na agricultura através da atribuição de subsídios aos agricultores que optem por elas. A atribuição dos subsídios visa cobrir aumentos de despesas que tais práticas por vezes acarretam e sobretudo cobrir as perdas de produtividade, e, portanto, de rendimento, geralmente decorrentes de modos de produção ambientalmente mais sustentáveis e no caso em apreciação neste trabalho, protetores do recurso solo.

Capítulo 3 Síntese de resultados



3.1 Indicadores da Neutralidade de Degradação do Solo (UNCCD)/Indicadores Gestão Sustentável do Solo (FAO)

Nas informações apresentadas na **Tabela 7** podemos verificar uma forte ligação entre Biodiversidade-Sustentabilidade-Serviços Ecosistêmicos em que a existência de um é gerada pela consequência do outro, oferecendo uma perspectiva abrangente sobre a Neutralidade do Solo e a Gestão Sustentável do Solo nos fundamentais aspetos para a avaliação geral da saúde do solo. Estes aspetos, alinhados com os padrões da Neutralidade de Degradação do Solo (UNCCD) e da Gestão Sustentável do Solo (FAO), desempenham um papel crucial na avaliação da capacidade do solo em fornecer serviços ecosistêmicos essenciais. A implementação de práticas de gestão sustentável do solo torna-se essencial para assegurar que o solo mantenha sua capacidade de oferecer esses serviços a longo prazo, preservando sua capacidade de regeneração e recuperação sem comprometer sua integridade ([European Environment Agency, 2023](#)).

Tabela 15 - Indicadores da Neutralidade de Degradação do Solo (UNCCD)/Indicadores Gestão Sustentável do Solo (FAO)

Indicadores	Neutralidade Degradação Do Solo (UNCCD)	Gestão Sustentável do Solo (FAO)
Erosão do Solo	Realiza a taxa de erosão e perda de solo estabelecendo uma relação abrangente com todas as suas camadas, desde as mais superficiais até as mais profundas	Promove práticas de conservação do solo, relacionando principalmente com a camada superficial do solo
Compactação do Solo	Avalia a resistência a penetração e densidade do solo	Evita a compactação do solo através do manejo adequado
Perda de Fertilidade	Analisa os teores de nutrientes e matéria orgânica do solo	Promove o manejo sustentável do solo
Contaminação do Solo	Identifica e avalia a presença de substâncias químicas do solo	Previne a contaminação e adota medidas de remediação
Biodiversidade de Solo	Avalia a diversidade de organismos no solo	Conserva e promove a biodiversidade do solo

Com base nas informações apresentadas nos parágrafos anteriores sobre os indicadores da neutralidade da degradação do solo, na **Tabela 8** apresenta um resumo dos indicadores.

3.2 Métodos de medição indicadores da neutralidade do solo / Indicadores de gestão sustentável do solo

Tabela 16 - Métodos de medição indicadores da neutralidade do solo / Indicadores de gestão sustentável do solo

Indicador (UNCCD)	Parâmetro/métrica	Métodos de medição	Áreas (Fonte de dados)
Cobertura do solo	2- Medida adimensional de diferenças normalizadas entre valores de refletância de luz nas bandas espectrais (NIR) e do vermelho (Red): -1 a 1	2- Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NVDI)	2- Mapeamento - conjunto de dados de cobertura do solo ESA(http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/)
Produtividade da terra	1-Produtividade agrícola ou biomassa em matéria seca (t há ano) 2- Medida adimensional de diferenças normalizadas entre valores de refletância de luz nas bandas espectrais (NIR) e do vermelho (Red): -1 a 1	1-Peso seco de quadrantes de vegetação ou medições de rendimento 2- Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NVDI)	áreas de campo- Dry weight Rank (DWR) (https://www.webpages.uidaho.edu/veg_measure/Modules/Lessons/Module%207(Bi Mapeamento-Copernicus Global Land SPOT e (NVDI) https://levviewer.vito.be/2015/Cape%20Verde (http://wad.jrc.ec.europa.eu/)

Estoque de Carbono do solo	Carbono orgânico (%)	1-Método Walkley-Black 2- SoilGrids250m	Áreas de campo – Walkley-Black http://www.fao.org/3/ca7471en/CA7471EN.pdf or Dumas method http://www.fao.org/3/ca7781en/ca7781en.pdf Representative s Mapeamento ISRIC SoilGrids250 (https://soilgrids.org/#!/?!?layer=TAXNWRB_250m&vector=1)
Indicadores (SSM)	Parâmetro/métrica	Métodos de medição	Áreas (Fonte de dados)
Produtividade do solo	O mesmo do indicador anterior	-----	-----
Carbono orgânico do solo	O mesmo do indicador anterior	-----	-----
As propriedades físicas do solo	Densidade aparente (kg dm ³)	1-Método do cilindro 2- Sensoriamento remoto	1-Área de Campo (Método do cilindro) https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200001 2-Mapeamento Sensoriamento remoto multiespectral https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009
A atividade biológica do solo	Apenas a taxa de respiração do solo pode não fornecer informações necessárias, aconselhável considerar outros fatores biológicos (ver indicadores adicionais)		
Indicadores (SSM) secundários/adicionais	Parâmetro/métrica	Métodos de medição	Áreas (Fonte de dados)
Nutrientes do solo	Concentrações nitrogênio (N), fósforo (P) e (K) potássio	1-Coleta de amostras de solo e análise em laboratório	1-Áreas de campo: Coletas de amostras e análise de laboratórios PL-Amostragem-solo-2009.pdf (embrapa.br) Procedimento para entrega de amostra de solo em laboratório (embrapa.br) 2-Mapeamento: Sensoriamento remoto multiespectral

		2-Análises de imagens de satélite	https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009
Erosão do solo	Taxa de Erosão (toneladas/ano)	1-Medição direta da erosão em revinas, riachos etc. 2-Modelos de erosão do solo RUSLE e EIONET-SOIL	1-Áreas de campo: Pinos de erosão https://doi.org/10.3390/w11091846 Caixas de Gerlach DOI: 10.1080/02626667.2018.1472379 2-Mapeamento: RUSLE e EIONET-SOIL https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012
Salinidade do solo	Condutividade Elétrica (dS/m)	1-Uso de condutivímetros de campo 2-EC-NVDI	1-Áreas de campo: condutivímetro (WTW 1C20-0211inoLab) https://revistas.rcaap.pt/rca/article/download/18658/15482/ 2-Mapeamento: EC-NVDI (PDF) VEGETATION COVER AND SOIL SALINITY BY REMOTE SENSING IN A HYDROGRAPHIC BASIN IN THE BRAZILIAN SEMIARID (researchgate.net)
Atividade biológica do solo	Biomassa microbiana(g/kgso) Taxa de respiração (CO2)	1-Biomassa microbiana do solo 2-Sensoriamento remoto (índices de biodiversidade)	1-Área de campo: Método de clorofórmio-fumigação-incubação (CFI) Clorofórmio-fumigação-extração (CFE) Taxa respiração: quantidade CO2 liberada pela respiração microorganismo Biomassa Microbiana do Solo (embrapa.br) http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/572256 2-Mapeamento: Sensoriamento remoto multiespectral https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009

Diversidade biológica	Índices de diversidade	1-Contagem e identificação (funil de Berlese, funil de Baermann) 2-Sensoriamento remoto (presença de indicadores)	1-Área de campo: Funil de Berlese, funil de Baermann Funis de Berlese-Tüllgren modificados utilizados para amostragem de macroartropodes de solo. - Portal Embrapa https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/48757/Poster_11078.pdf?sequence=2 Nota: Associar a pelo menos ao método frequência respiratória http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/SSM/SSM_Protocol_EN_006.pdf 2-Mapeamento: Sensoriamento remoto multiespectral https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009
PH do solo	Valor do PH	1-Potenciometria com elétrodos de PH 2-Sensoriamento remoto (pH do solo)	1-Área de campo: Potenciômetro com elétrodos de pH Pt-2-Cap-1-pH-do-solo.pdf (embrapa.br) 2-Mapeamento: Sensoriamento remoto multiespectral https://doi.org/10.1590/0034-737X201966020009
Capacidade de água utilizável	Capacidade de campo (mm/m) Coeficiente de emurchimento (mm/m)	1-Medição direta em campo 2-Modelos de retenção de água (SWAT)	1-Área de campo: Capacidade de campo (método “in situ” em tabuleiros de inundação) Ponto de murcha (método câmara de pressão, amostras indeformadas) Densidade do solo (método anel volumétrico) Densidade das partículas (método do picnômetro) https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200001 2-Mapeamento: Soil e Water Assessment Tool (SWAT) https://swat.tamu.edu/

Capítulo 4 Conclusões



A interação entre o homem e o ecossistema natural é um sistema complexo e interdependente que desempenha um papel fundamental em nossa qualidade de vida, compreender e valorizar essa interação é muito importante, encaminhando à tomada de decisões mais informadas e sustentáveis que garantam a preservação, promovendo bem-estar humano e a saúde do planeta. A degradação da terra é um fenômeno comum e complexo, cuja avaliação se torna mais abrangente ao incluir diferentes conceitos de valor, na compreensão desses mesmos conceitos a diferentes contextos e escalas para uma melhor orientação das decisões e na formulação de políticas em âmbitos locais, nacionais e internacionais (IPBES, 2018).

Com base a essa interação entre o homem e o ecossistema natural, foram desenvolvendo ao longo do tempo diversos serviços ecossistêmicos incluindo diversos benefícios diretos e indiretos a diferentes espécies incluindo a geração humana, onde as más gestões desses mesmos serviços geram impactos na capacidade de o ecossistema funcionar de forma eficaz e sustentável.

Sendo a degradação solo um dos temas preocupante na má gestão desses mesmos serviços abordados no trabalho, onde a sua preservação é feita de forma preventiva adotando

práticas de gestão sustentável, onde esse mesmo problema de degradação do solo é identificado através da falha no cumprimento desses serviços.

Bibliografia

Abdelwahab, O.M.M., Ricci, G.F., De Girolamo, A.M., Gentile, F. (2018). Modelling soil erosion in a Mediterranean watershed: Comparison between SWAT and AnnAGNPS models. *Environmental Research*, Volume 166, 363-376.

Archer, D. (2010). *The global carbon cycle*. Princeton University Press.

Bednar, M., Sarapatka, B. (2018). Relationships between physical–geographical factors and soil degradation on agricultural land. *Environmental research*, 164, 660-668.

Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 780, 146494.

Cano, E., Denux, J-P., Bisquert, M., Moy, L. H., Chéret, V. (2017). Improved forest-cover mapping based on MODIS time series and landscape stratification. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 1865-1888.

COMISSÃO EUROPEIA (2006). Comunicação da comissão ao conselho, ao parlamento europeu, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0231>

COMISSÃO EUROPEIA (2021a). EU Soil strategy for 2030: Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Disponível em: COM_2021_699_1_EN_ACT_part1_VERSION FRIDAY EVENING LUCAS (europa.eu).

COMISSÃO EUROPEIA (2021b). Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. Objetivo 55: alcançar a meta climática da UE para 2030 rumo à neutralidade climática. Disponível em: [EUR-Lex - 52021DC0550 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550)

COMISSÃO EUROPEIA (2023). Approved 28 CAP strategic plans. Disponível. Disponível em: https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2022-07/csp-overview-28-plans-overview-june-2022_en.pdf

Copernicus (2023). Emergency management service. Disponível em: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/>

Comunidade Europeia (2001). Ambiente 2010: O nosso futuro, a nossa escolha. 6º programa comunitário em matéria de ambiente. Luxemburgo.

Comunidade Europeia (2014). 7º PAA- Programa geral da ação da UE em matéria do ambiente- viver bem, dentro dos limites do nosso planeta.

Correia, A. H., Formaggio, A. R., Shimabukuro, Y. E., Duarte, V. (2006). Avaliação de índices de vegetação MODIS para deteção de desmatamentos na amazônia. Journal of applied science 1 (2), 52-64.

Critchley, W., Harari, N., Mekdaschi-Studer, R. (2021). Restaurando a vida à terra: O papel da gestão sustentável da terra na restauração de ecossistemas. UNCCD and WOCAT. Disponível em: <https://www.wocat.net/library/media/251/>, <https://www.wocat.net/en/wocat-media-library>

Dias, M. C. S., Lopes, P. M. O. (2021). Avaliação da cobertura vegetal e salinidade do solo por sensoriamento remoto em bacia hidrográfica no semiárido brasileiro. Journal of Applied Science, ISSN: 2359-2028.

ESA (2020a) Land Cover Map 2000. Disponível em: <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>

ESA (2020b) Land Cover Map 2020. Disponível em: <https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>

European environment agency (2023). Biodiversidade-ecossistemas
Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/biodiversity/intro>

FAO (2020). Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/SSM/SSM_Protocol_EN_006.pdf

FAO (2019a). Standard operating procedure for soil organic carbon. Walkley-Black Method: Titration and Colorimetric Method.

FAO (2019b). Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos. Roma

FAO (2000). The State of Food and Agriculture 2000. Disponível em: <https://www.fao.org/agrifood-economics/publications/detail/en/c/122046/>

Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Nunes, L. (2015). Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In Figueiredo, T., Fonseca, F., Nunes, L. (Eds) Proteção do solo e combate à desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. Instituto Politécnico de Bragança. p. 87-100.

Foth, H. D. (1990). Fundamentals of Soil Science. (8ª ed.). New York: John Wiley & Sons.

Graham, S. (2019). Land Degradation neutrality for biodiversity conservation: How healthy land safeguards nature. Bonn, Alemanha: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).

Gabinete de Planeamento Políticas e Administração Geral. (2023) Plano Estratégico da Política Agrícola Comum (PEPAC) Portugal. Disponível em: [PEPAC | Plano Estratégico da PAC 2023-2027 | PEPAC | POLÍTICA AGRÍCOLA \(gpp.pt\)](https://gpp.pt/PEPAC/POLITICA_AGRICOLA)

Huete, A., Justice, C., van Leeuwen, W. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD 13), Algorithm theoretical basis document. Disponível em: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf

IPBES (2018). The assessment report on land degradation and restoration. Disponível em: <https://ipbes.net/global-assessment>.

Jornal Oficial da União Europeia (2022). Decisão (UE)2022/591 do parlamento europeu e do conselho de 6 de abril de 2022 relativa a um Programa geral de ação da união para 2030 em Matéria de ambiente. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dec/2022/591/oj>

Jornal Oficial da União Europeia (2004). Diretiva 2004/35/CE do parlamento europeu e do conselho de 21 de abril de 2004 relativa à responsabilidade ambiental em termos de prevenção e reparação de danos ambientais. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/35/oj>

JRC (2023). Rethinking land degradation and sustainable land management. World Atlas of Desertification.

Larsen, I. J., MacDonald, L. H. (2007). Prevendo a produção de sedimentos pós-incêndio na escala de encostas: Testando RUSLE e WEPP Perturbado. *Pesquisa de Recursos Hídricos* 43, W11412.

Meinen, Benjamin, U., & Robinson, Derek T. (2021). Agricultural erosion modelling: Evaluating USLE and WEPP field-scale erosion estimates using UAV time-series data. *Environmental Modelling & Software* 137, 104962.

Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2023). Política Agrícola. <https://agricultura.gov.pt/politica-agricola>

Neuteboom, J. H., Lantinga, E. A., Struik, P. C. (1998). Evaluation of the dry weight rank method for botanical analysis of grassland by means of simulation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46 (3/4), 285-304.

Orr, B. J. (2019). Introduction to the land degradation neutrality (LDN) and its indicators, now and the future. Expert Meeting on SEEA indicators and post-2020 for Biodiversity. Cambridge, United Kingdom.

Panagos, P., Katsoyiannis, A. (2019). Soil erosion modelling: The new challenges as the result of policy developments in Europe. *environmental research*, 172, 470-474.

Panagos, P., Borrelli, P., Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), Article 4175.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Meusburger, K., Ballabio, C., Lugato, E., Alewell, C. (2016). Reply to “The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Panagos P. et al., 2015 *Environ. Sci. Policy* 54, 438-447 - A response” by Evans and Boardman [*Environ. Sci. Policy* 58, 11–15]. *Environmental Science & Policy* 59, 53-57.

PARLAMENTO EUROPEU (2021). Resolução do parlamento europeu, de 28 de abril de 2021, sobre proteção dos solos (2021/2548(RSTP)). Disponível: P9 TA (2021) 0143. PEPAC (2023-2027). Plano Estratégico da PAC 2023-2027. Disponível em: <https://www.gpp.pt/index.php/pepac/pepac-plano-estrategico-da-pac-2023-2027>

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution* 20 (9), 503-510.

Pravalie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roşca, B., Dumitraşcu, M., Bandoc, G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research*, 194, 110697.

Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K., Yoder D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*, USDA-ARS.

Simões, M., Neves, M. L., Ferraz, R. P. D., Freitas, P. L. (2015/2016). Uso de Satélite e Métodos Multi-Escala para apoiar o plano de agricultura de baixa emissão de carbono (Plano ABC). Seminário PIBIC Embrapa Solos. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154979/1/2016-142.pdf>

Thomas, W. A. (1975). *Indicators of Environmental Quality*. Springer Science+Business Media. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1698-5_1 United States Department of Agriculture (USDA).

USDA (2023). Agricultural Outlook Forum Program. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/ag-outlook-forum/2023-aof-program>.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978) *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. The USDA Agricultural Handbook No. 537, Maryland.

Xiao, X., Braswell, B., Zhang, Q., Boles, S., Frohking, S., & Moore III, B. (2003). Sensitivity of vegetation indices to atmospheric aerosols: Continental-scale observations in Northern Asia. *Remote Sensing of Environment* 84 (3), 385-392.