

Análise crítica a legislação europeia referente à qualidade do solo

José António Paz Ribeiro

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador:

Cláudia Saramago de Carvalho Marques-dos-Santos

Júri:

Presidente: Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos, Professora associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientadora; Doutora Maria José Lucena e Vale, Investigadora da Direção Geral do Território - Lisboa.

2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão à minha orientadora, Cláudia Saramago de Carvalho Marques-dos-Santos. Sem a sua orientação, dedicação e constante apoio, este trabalho não teria sido possível. A sua confiança no meu potencial e a força que sempre transmitiu foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios deste percurso. Este trabalho reflete não só o meu esforço, mas também o impacto positivo da sua liderança e encorajamento.

Agradeço também aos meus amigos, Francisco e Pedro Ribeiro, que estiveram ao meu lado nos momentos difíceis, oferecendo apoio incondicional e tornando este percurso menos solitário. A vossa amizade foi um pilar de força durante esta jornada.

Por último, mas nunca menos importante, dedico um agradecimento especial à minha família. Obrigado por sempre acreditarem em mim e estarem ao meu lado em cada etapa deste desafio. A vossa presença, mesmo nos momentos mais silenciosos, foi um conforto constante.

A todos vocês, dedico não só esta tese, mas também o sentimento de profunda gratidão por fazerem parte desta caminhada.

Resumo

Tem se verificado um aumento significativo da degradação dos solos na União Europeia (UE) e, com base na informação disponível, esta tendência não se inverterá a longo prazo. Apesar de ter sido planeada uma diretiva solo, esta não foi aprovada, e não existe até à data uma legislação específica para os solos da EU. Os diferentes aspetos da proteção dos solos estão dispersos por muitas áreas e integrados em diferentes políticas. Esta dissertação visa contribuir para avaliar o estado da proteção dos solos no âmbito da legislação ambiental da UE, através da identificação e sistematização, num inventário das disposições relevantes em matéria de proteção do solo e da análise das suas características. Verifica-se que as ameaças dos solos não são regulamentadas de forma abrangente pelo legislador europeu e a proteção dos solos parece ser o subproduto de várias disposições que estabelecem principalmente medidas preventivas, qualitativas e não estritamente vinculativas. Este inventário poderá constituir-se como uma base de trabalho e suporte tendente à aprovação num futuro próximo de um quadro de regulamentação próprio, associado à proteção do solo no espaço português e europeu, que tão grande relevância assume para a sustentabilidade do desenvolvimento das nações

Palavras-chave: Degradação do solo, regulamentação, Europa, Política do Solo, Funções do Solo, Ameaças ao Solo.

Abstract

There has been a significant increase in land degradation in the European Union (EU) and based on available information, this trend will not be reversed in the long term. Although a solo directive has been planned, it has not been adopted, and there is no specific legislation for EU soils to date. But several aspects of soil protection are scattered across many policy areas. This document helps to assess the state of soil protection under EU environmental legislation by creating an inventory of the relevant provisions and analyzing their characteristics. It appears that soil threats are not comprehensively regulated by European legislature and soil protection appears to be the by-product of several provisions establishing mainly preventive, qualitative, and non-strictly binding measures.

Key-words: Soil degradation, regulation, Europe, Soil policy, Soil functions, Soil threats.

Índice

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	5
Índice	6
Tabelas	8
Figuras	9
Abreviaturas	9
1. Introdução	11
2. Revisão Bibliográfica	13
2.1. O Solo - Conceito e História	13
2.2. Funções e Ameaças dos Solos a Nível Global	16
2.3. Funções dos Solos e serviços de ecossistema	18
2.3.1. Ciclo de nutrientes	19
2.3.2. Armazenamento, filtração e transformação de água	19
2.3.3. Regulação do clima	20
2.4. Principais ameaças do Solos Europeus	22
2.4.1. Erosão	22
2.4.2. Contaminação	24
2.4.3. Declínio da matéria orgânica	25
2.4.4. Salinização	26
3. Materiais e métodos	28
3.1. Estratégia de Análise	29
4. Resultados e Discussão	32
5. Conclusões	47
6. Referências Bibliográficas	50

Tabelas

TABELA 1 - CRONOLOGIA DOS GRANDES CONCEITOS PEDOLÓGICOS POR BOCKHEIM ET AL. 2005... 15

TABELA 2 - FUNÇÕES DO SOLO RELACIONADOS COM O CICLO DA ÁGUA E OS SERVIÇOS DE ECOSISTEMA (ADAPTADO DE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS [FAO & ITPS], 2015) 20

TABELA 3- LISTA DA LEGISLAÇÃO DIRETA ANALISADA NO ESTUDO 29

TABELA 4 - ATOS LEGISLATIVOS QUE COMTEMPLAM AS AMEAÇAS DO SOLO..... 40

TABELA 5 - ATOS LEGISLATIVOS QUE COMTEMPLAM AS FUNÇÕES DO SOLO 41

Figuras

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DAS QUATROS PRINCIPAIS AMEAÇAS AO SOLO POR REGIÕES FAO	17
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO NA EUROPA, COMO FUNÇÃO DE SEQUESTRO DE CARBONO	20
FIGURA 3 - EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS NA UE (T/HA/ANO)	23
FIGURA 4 - EROÇÃO DE UMA PLANTAÇÃO DE CITRINOS EM ESPANHA.....	23
FIGURA 5 - PERDAS POTENCIAIS DE PRODUÇÃO DE TRIGO (%) EM 19 PAÍSES DA UE (1990-2006).....	24
FIGURA 6 - SOLOS SÓDICOS E SALINOS COMO CONSTRANGIMENTOS PARA O USO DE SOLOS AGRÍCOLAS, COMPILADO DE SGDBE, EEA (1999), DASKALAKI AND VOUDOURIS (2008) AND FISCHER ET AL. (2008).	27

Abreviaturas

UE: União Europeia

EEE: Espaço Económico Europeu

PAC: Política Agrícola Comum

TFUE: Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia

TUE: Tratado da União Europeia

PNUE: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

FAO: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OIT: Organização Internacional do Trabalho

ONU: Organização das Nações Unidas

DQE: Diretiva-Quadro da Água (2000/60/CE)

DRN: Diretiva Nitratos (91/676/EEC)

DSR: Diretiva sobre Resíduos (2008/98/EC)

DPI: Diretiva de Pesticidas e Insumos (2009/128/CE)

LEMC: Lei Europeia em Matéria de Clima (Regulamento 2021/1119)

EDB: Estratégia de Biodiversidade da UE para 2030

1. Introdução

O solo é um recurso indispensável à sobrevivência dos ecossistemas terrestres e, acima de tudo, é a base para o funcionamento dos sistemas alimentares que permitem suprir as necessidades alimentares da população mundial que apresenta taxas de crescimento exponenciais. Projeções apontam para uma crescente procura em alimentos, fibras e energia por parte da população mundial, de modo a atingir a segurança alimentar e energética, resultando num excesso de pressão sobre este compartimento ambiental.

A preservação das funções do solo é, pois, essencial para a sustentabilidade, uma vez que este recurso fornece alimentos, biomassa e matérias primas; serve de base para diversas atividades humanas (European Environment Agency 2010; Schulte et al., 2014); é um elemento da paisagem; faz parte da herança cultural mundial; desempenha o papel de habitat para variadas espécies sendo ele próprio um reservatório genético, e funciona como um dos maiores reservatórios de carbono contribuindo como fator chave na resolução do problema das alterações climáticas (Commission, 2012) - ficando atrás apenas dos oceanos. Também é importante também referir que o solo armazena, filtra e transforma inúmeras substâncias, como água, minerais e matéria orgânica.

Especificamente, o solo desempenha inúmeras funções e serviços de ecossistemas, identificados pela proposta da diretiva para a proteção do solo elaborada pela comissão europeia, (European Commission, 2006) extremamente vulneráveis

- I. Produção de biomassa, incluindo na agricultura e silvicultura;
- II. Armazenamento, filtração e transformação de nutrientes, substâncias e água;
- III. Reserva de biodiversidade, como habitats, espécies e genes;
- IV. Ambiente físico e cultural para o Homem e atividades humanas;
- V. Fonte de matérias-primas;
- VI. Reservatório de carbono;
- VII. Conservação do património geológico e arqueológico.

Por outro lado, este recurso precioso enfrenta também inúmeras ameaças ao seu normal desempenho consideradas no relatório sobre o estado dos solos a nível mundial (FAO & ITPS, 2015)

- I. Erosão;
- II. Variação de carbono orgânico;
- III. Acidificação;
- IV. Desequilíbrio de nutrientes;
- V. Contaminação;
- VI. Perda de Biodiversidade;
- VII. Compactação do solo e desflorestação;
- VIII. Salinização e sodificação

IX. Impermeabilização.

O solo é um recurso não renovável devido não só ao facto do seu processo de formação ser extremamente moroso quando comparado com a escala de tempo humana, mas também à facilidade da sua degradação. A título de exemplo são necessários entre 1 000 e 10 000 anos para se formar um solo de 30 cm e apenas algumas estações para que vários centímetros sejam erodidas por grandes chuvadas (FAO, 2015). Este facto evidencia o problema de sustentabilidade associado a este recurso, agravado pela difícil perceção da necessidade de ser proactivo para garantir a sua proteção.

O processo de degradação dos solos europeus aumenta anualmente, incluindo o declínio da matéria orgânica, erosão, contaminação, derrocadas e cheias, compactação, impermeabilização, salinização e o decréscimo da biodiversidade. Estima-se que (fonte) em 10 anos a união europeia tenha perdido por dia 275 hectares de solo devido à sua impermeabilização no período entre 1990 e 2000. Atualmente, estão identificados cerca de 2.5 milhões de locais contaminados e 11.7 milhões estimados na europa (Stolte et al., 2016). As derrocadas rondaram as 633.700 em 2010 (Van Den Eeckhaut e Hervás, 2012), mas acredita-se que sejam mais de o dobro. Ocorreram 325 mega inundações provocadas por rios reportadas desde 1980 sendo que 200 destas se verificaram nos últimos 15 anos (Füssel et al., 2012). De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (Martin et al., 2015) a degradação das funções do solo e do seu uso, se nada for feito, tendem a aumentar a médio (5 a 10 anos) e a longo prazo (+20 anos).

Devido às ameaças que o solo enfrenta e às funções que desempenha seria de esperar que existisse legislação específica, nacional e europeia, adequada à proteção e à conservação do solo. No entanto, apesar de terem existido tentativas de implementar uma diretiva europeia para a proteção do solo em 2006 (European Commission, 2006), ainda não foi possível um entendimento entre as partes; a ultima tentativa foi bloqueada por 3 dos maiores estados-membros da união, nomeadamente Reino Unido, França e Alemanha.

A impossibilidade de um acordo político entre estados-membros culminando com a introdução de regulamentação relativa à proteção do solo permite, até aos dias de hoje, a existência de várias lacunas legislativas para a proteção e conservação do solo. A introdução de legislação específica sobre o solo é um tema sob corrente discussão nos dias de hoje. A criação de nova legislação deve ser equacionada, em função da legislação já existente sendo esta uma tarefa bastante complexa dado que os atos legislativos estão fragmentados a diferentes níveis de governação, associados a diferentes sectores de atividade.

O objetivo principal desta dissertação é avaliar o estado da legislação específica, relativa à proteção do solo em matéria de ambiente a nível europeu, sendo realizada uma análise da legislação específica e transversal, relevante, considerando o princípio da integração entre as ameaças e as funções do solo, definida na proposta da Comissão europeia para a proteção do solo, e assumindo que a proteção do solo carece de representatividade na legislação em vigor na união.

A análise realizada tendo em conta que a legislação existente não tem em consideração dinâmicas existentes entre as ameaças e funções do solo. A dissertação tem também como objetivos secundários adicionais, dar

ênfase à necessidade da criação de nova legislação específica, direta, associada ao recurso solo, e ajudar a quebrar o ciclo de falta de informação relativa a este recurso.

Adicionalmente procura atuar como uma ferramenta não só de sensibilização para a proteção dos recursos naturais não renováveis, mas também como instrumento de informação sobre a pertinência do tema, para que se possa avançar na definição de termos básicos de solo e dar prioridades à sua proteção.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. O Solo - Conceito e História

O recurso solo é “um dos recursos mais importantes da biosfera e do Património Natural para toda a humanidade”. No entanto a sociedade civil, por falta de informação, falha nos esforços para a preservação do mesmo. (Meneses, 2011). Ele é descrito por Blanco & Lal (2008) como um recurso “sem o qual a humanidade não consegue sobreviver, porque é a base de toda a vida terrestre” como tal é fundamental o alinhar definições e conceitos associados ao solo, e estudar os que a sua preservação encerra para que se possa melhorar a sua proteção através legislação adequada.

O impacto global da humanidade sobre os recursos naturais aumentou nos últimos 150 anos o que levou conexão um relacionamento mais estreito entre as preocupações ambientais mais amplas e o solo. Antes do século XX, o solo era considerado quase exclusivamente no contexto da agricultura e da produção alimentar. Este recurso era visto apenas como um meio onde se desenvolve a vegetação, ou seja, o solo era considerado como uma camada da superfície terrestre que era explorada com o objetivo de produzir tanto alimentos como fibras sendo esta visão justificada pelo início da exploração agrícola de subsistência (fonte?).

Posteriormente reconhece-se que o solo é constituído por um material particulado, resultante da degradação da rocha mãe, surgindo a definição do solo como a totalidade da camada superficial da crosta terrestre. No entanto a definição do solo como uma camada de rochas desintegradas e como o meio onde as plantas se desenvolvem, manteve-se até cerca de 1880. Com o aumento da complexidade do conhecimento foram surgindo vários marcos da pedologia que foram sintetizados por Bockheim et al. (2005), e que ampliaram o número e a amplitude dos conceitos, que tiveram em rápida expansão nas últimas duas décadas.

O conceito de solo como um corpo natural evoluiu significativamente desde os trabalhos pioneiros de Vasiliy Dokuchaev no final do século XIX. Dokuchaev propôs que o solo é resultado da interação de fatores como material de origem, clima, organismos, relevo e tempo. Esses fatores foram ampliados e formalizados em modelos matemáticos e conceituais ao longo do século XX, contribuindo para a compreensão da formação e classificação dos solos (Bockheim et al., 2014)

Entre 1900 e 1940, pesquisadores como Marbut, Joffe e Baldwin refinaram os estudos de Dokuchaev, relacionando os fatores de formação com as características do solo. Shaw (1932) propôs a primeira equação do solo, posteriormente revista por Jenny (1941), que destacou os fatores independentes de formação: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Esses avanços fundamentaram os sistemas modernos de classificação, como a Taxonomia dos Solos dos Estados Unidos e o Sistema Russo, cada um oferecendo definições baseadas em diferentes critérios científicos e geográficos (FAO & ITPS, 2015).

Nas últimas décadas, o solo passou a ser compreendido como um sistema complexo essencial para a biodiversidade, segurança alimentar e mitigação de mudanças climáticas (Pena, 2016; Montanarella & Panagos, 2021). A definição de solo também varia conforme os contextos culturais e ecológicos. Nos Estados Unidos, é definido como um corpo composto por minerais, matéria orgânica, líquidos e gases com capacidade de suportar plantas (Soil Survey Staff, 1999). Em contraste, o Sistema Russo enfatiza os horizontes inter-relacionados e a transformação da camada superficial da litosfera (Shishov et al., 2004).

Mais recentemente, a União Europeia definiu o solo como uma interface entre terra, ar e água, abrigando a maior parte da biosfera (Machado, 2018). Essa abordagem integrativa reflete a crescente importância atribuída ao solo na sustentabilidade ambiental (Montanarella et al., 2016). Assim, o solo é reconhecido como um recurso vital e dinâmico, cuja proteção é essencial para a sobrevivência humana e a saúde do planeta terra.

TABELA 1 - CRONOLOGIA DOS GRANDES CONCEITOS PEDOLÓGICOS POR BOCKHEIM ET AL. 2005

Período	Pedologia	Gestão do solo
Antes de 1880	Conceito de solo como o meio onde as plantas se desenvolvem e como camada de rocha deteriorada.	
1880-1900	Surgem os conceitos fundamentais de pedologia; o solo como um corpo natural; horizontes/perfis de solo; Fatores de formação de solo; Ideias iniciais de geografia do solo.	
1900-1940	Consentimento global dos conceitos de solo como um corpo natural e dos fatores de formação de solo; Criação do primeiro sistema regional de classificação de solos; Primeiros levantamentos dos solos; Identificação dos processos chave na formação do solo.	Conservação do solo
1940-1960	Esclarecimento dos fatores de formação e gênese dos solos; desenvolveu-se o sistema taxonómico global de solos; Intensificação do processo cartográfico dos solos.	
1960-1985	Aperfeiçoamento do sistema taxonómico global de solos; Identificação do conceito pedon; Criação dos primeiros modelos de solo e do conceito de cobertura padrão; Reconhecimento da coevolução de solos e das formas de relevo.	Carta de solos mundial (1981) capacidade dos solos/ avaliação de adequação; Avaliação Global da degradação do solo induzida pelo Homem (GLASOD)
1985-2000	Aumento do conhecimento dos processos do solo; Melhoria dos modelos globais de solo; Novo aperfeiçoamento do sistema taxonómico global do solo; desenvolveram-se sistemas de informação e bases estatísticas digitais sobre o solo.	Gestão sustentável do solo Qualidade do solo Saúde do solo
2000-2015	Ciência do sistema terra, pedosfera, Cartografia digital do solo, pedodiversidade, etnopedologia, pedometria, deteção proximal, sistema de solos, hidropedologia, zona critica	Segurança de solos, Sequestro de carbono

2.2. Funções e Ameaças dos Solos a Nível Global

A Comissão europeia identificou através da sua Estratégia Temática Proteção do solo sete funções de solo e oito ameaças (Doran, 2002). As cinco primeiras funções foram definidas pela Comunicação de 2002 (COM/2002; Montanarella et al., 2016): (a) produção de biomassa; (b) Armazenamento, filtração e transformação (Sparks, 2003); (c) Reserva de biodiversidade, como habitats, espécies e genes; (d) Ambiente físico e cultural para a humanidade; (e) Fonte de matérias-primas. Mais tarde (Comissão das Comunidades Europeias, 2006), foram acrescentadas outras duas funções: (f) reservatório de carbono (g) Conservação do património geológico e arqueológico.

A Global Soil Partnership (GSP) (FAO, 2017), criada por membros da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), concluiu que para o desenvolvimento da legislação sobre os solos as medidas adequadas devem ser adotadas pelos decisores locais, exigindo iniciativas interdisciplinares multiníveis por parte dos decisores políticos. O Painel Técnico Intergovernamental sobre Solos (ITPS), criado na primeira Assembleia Plenária do SSP em 2013, publicou o primeiro relatório sobre o estado dos solos mundiais (SWSR) (FAO&ITPS, 2015). Este relatório considera as seguintes principais ameaças para o solo: erosão, alteração orgânica do carbono, acidificação, desequilíbrio dos nutrientes, contaminação, perda da biodiversidade dos solos, compactação do solo, impermeabilização do solo e salinização e solidificação. As maiores ameaças mundiais às funções do solo que foram identificadas são a erosão do solo, perda de carbono orgânico do solo, desequilíbrio nutricional, salinização e solidificação. A situação atual tenderá a piorar a menos que existam ações individuais coordenadas, intervenção do setor privado, governos e organizações internacionais.

Na Fig. 1 representa-se uma avaliação global das quatro principais ameaças ao solo por regiões da FAO. A avaliação global das ameaças ao solo descrita pela FAO requer uma análise regional para compreender as grandes diferenças regionais e as ameaças associadas aos solos (FAO, 2015)

A visão global da FAO que a fig. 1 - representação da avaliação global das quatro principais ameaças ao solo por regiões FAO (Castelo-Grande et al., 2018), integra, indica que para os países da África Subsariana a erosão dos solos é uma das principais prioridades enquanto a compactação do solo é considerada a maior ameaça ao solo na Europa Ocidental. O conceito de funções do solo prende-se com a diversidade de funcionalidades dos solos existentes (Haygarth e Ritz, 2009). No entanto, os solos diferem na sua capacidade de realizar cada uma destas funções (Jenny, 1941; Jenny, 1980).

A título de exemplo, os solos podem diferir na sua capacidade de filtrar água, sequestrar carbono, fornecer habitat para a biodiversidade e reciclar nutrientes. A capacidade dos solos para executar cada uma das suas funções é importante, e, portanto, alguns usos da terra necessitam de um tipo de solo mais específico (Eliasson et al., 2010; O'Mara, 2012). Assim, cada tipo de solo deve ser usado apenas para funções que melhor desempenha, potenciando assim o seu uso.

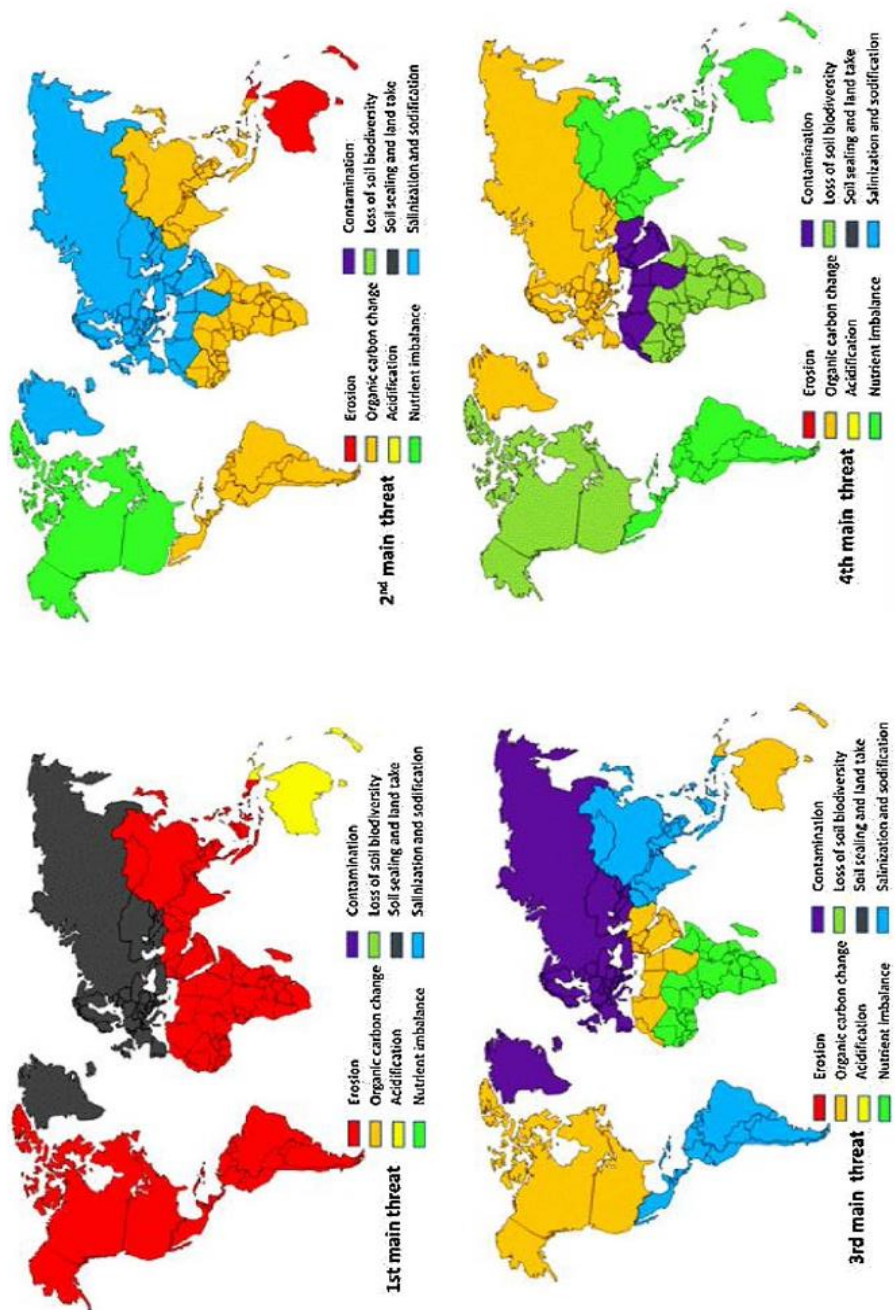


FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DAS QUATRO PRINCIPAIS AMEAÇAS AO SOLO POR REGIÕES FAO (Castello-Grande et al., 2018)

2.3. Funções dos Solos e serviços de ecossistema

Os solos são muitas vezes designados de "reservas de capital natural" para valorizar e quantificar as suas contribuições para os Serviços de ecossistema (Hewitt et al., 2015; Robinson et al., 2009, 2013). Os serviços dos ecossistemas consistem nos benefícios que os ecossistemas proporcionam ao Homem (Costanza et al., 1997; MEA, 2005; Boyd & Banzhaf, 2007; Nicholson et al., 2009; Reyers et al., 2012).

Nas últimas duas décadas, a comunidade científica para solo adotou o conceito de funções do solo para valorizar os papéis que os solos desempenham bem-estar dos seres humanos e da sociedade em geral (Bouma, 2014; FAO & ITPS, 2015; Haygarth e Ritz, 2009). As funções do solo estão intimamente relacionadas com a qualidade do solo, definida como "a capacidade de um tipo específico de solo para funcionar dentro dos limites naturais ou ecossistemas criados" (Karlen et al., 1997), sublinhando a multifunções dos solos e as suas propriedades químicas, físicas e biológicas.

A capacidade dos solos para prestar serviços de ecossistema é em grande parte determinada pelas suas funções, e cada função individual do solo pode ser vista como uma contribuição para os serviços de ecossistema (Bouma, 2014). A comunidade científica do solo tem vindo a desenvolver uma compreensão dos sistemas de solos há mais de 100 anos (Hartemink, 2015), e conceitos intimamente relacionados, como indicadores de qualidade do solo, saúde do solo e proteção do solo, foram desenvolvidos há algumas décadas (Doran, 2002; Karlen et al. 2003; Wienhold et al. 2004).

Koch et al. (2013) e McBratney et al. (2014) propuseram recentemente um quadro integrador denominado "segurança do solo" ("Soil security: solving the global soil crisis"), destinado a manter e otimizar a funcionalidade do solo para valorizar as contribuições dos solos para benefícios ambientais e sociais. Estes autores definiram a segurança do solo como "... a manutenção e melhoria do recurso global do solo para produzir alimentos, fibras e água doce, contribuir para a sustentabilidade energética e climática, e para manter a biodiversidade e a proteção dos ecossistemas globais". No entanto, continua a ser um desafio passar destes quadros teóricos gerais para abordagens operacionais específicas que podem ser aplicadas na prática.

As funções desempenhadas pela natureza conseguem proporcionar bens e serviços que são utilizados pelas populações humanas, como alimentos ou podem por exemplo apoiara assimilação de poluentes. As reservas naturais que possibilitam tais benefícios são cruciais para o funcionamento de vida na terra, como o solo que possui um imenso valor. Constanza et al. (1997), por exemplo, atribui aos capitais naturais dezenas de triliões de dólares americanos por ano. A atribuição de valor económico aos serviços do solo, é bastante pertinente, mas é difícil e necessita ainda de elevada fundamentação, já que alguns serviços são difíceis de definir e difíceis de quantificar devido as externalidades e incertezas associadas (Pretty et al., 2000).

2.3.1. Ciclo de nutrientes

Os solos intervêm no ciclo de três nutrientes vitais: nitrogênio (Hatch et al., 2002; Jarvis, 1993), fósforo (Haygarth et al., 1998; Watson e Foy, 2001; Withers et al., 2001) e carbono (Loveland e Webb, 2003). Também regulam os ciclos de nutrientes de forma a minimizar os seus impactes ambientais (Carton e Jarvis, 2001). Os solos são simultaneamente uma fonte e um sumidouro de carbono, podem regular a emissão e absorção de azoto na forma gasosa ;e podem sequestrar fósforo e libertá-lo para os cursos de água, se a aplicação destes nutrientes for mal gerida (Haygarth e Jarvis, 1999). A par da importância associada ao estudo destas funções, existe uma lacuna na literatura sobre o ciclo dos nutrientes em macro escala quando comparado ao conhecimento de sectores e processos específicos por exemplo os que envolvam a água do solo.

2.3.2. Armazenamento, filtração e transformação de água

As funções do solo de armazenamento, filtração, transmissão e transformação da água mostradas na tabela 3 ? estão interrelacionadas. A capacidade de armazenamento de água no solo depende da taxa de infiltração e da condutividade hidráulica do solo que redistribui a água através do perfil do solo. Da mesma forma, a infiltração e a condutividade hidráulica dependem da água armazenada no solo.

TABELA 2 - FUNÇÕES DO SOLO RELACIONADOS COM O CICLO DA ÁGUA E OS SERVIÇOS DE ECOSISTEMA (ADAPTADO DE FAO & ITPS, 2015)

Função do solo associada à água	Mecanismo	Consequência	Serviço de ecossistema
Armazena (armazenamento)	A água presente nos poros suporta as plantas e os microrganismos	Produção e biomassa Proteção da superfície do solo	Alimentos Paisagem Controlo da erosão
Recebe (sorção)	A água incidente no solo infiltra-se com o excesso a perder-se por escoamento superficial	Redução drástica no escoamento superficial	Controlo da erosão Proteção contra cheias
Transmite (condutividade hidráulica)	A água que entra no solo é redistribuída e o excesso é transmitido por percolação	Percolação para as águas subterrâneas	Recarga de aquíferos Manutenção dos cursos de água
Purifica (filtração)	A água passa pela matriz do solo e interage com as partículas e os microrganismos	Remoção de contaminantes por via degradação/retenção biológica nos locais de sorção	Qualidade da água

A taxa inicialmente elevada de infiltração em solo seco diminui à medida que o teor de água do solo aumenta e a água substitui o ar no espaço dos poros. Inversamente, a condutividade hidráulica aumenta com o teor de humidade do solo, uma vez que uma maior proporção dos poros está a transmitir água. O teor de água e os tempos de transmissão também são importantes para a função de filtração pelo solo, uma vez que o contacto com as superfícies do solo e o tempo de residência no solo ajudam a controlar os contaminantes.

2.3.3. Regulação do clima

Os solos desempenham um papel fundamental tanto na emissão como na absorção de gases com efeito de estufa. A figura 2 ilustra esta função de sequestro para o caso do carbono. Os solos constituem simultaneamente uma fonte e um sumidouro de carbono, e a gestão adequada do solo é, pois, fundamental não só para reduzir as emissões, mas também para sequestrar o carbono na matéria orgânica do solo (Lal, 2008).

Os solos constituem também uma importante fonte global de óxido nitroso através dos processos de nitrificação e desnitrificação (Bellamy et al., 2005; Billings, 2008).

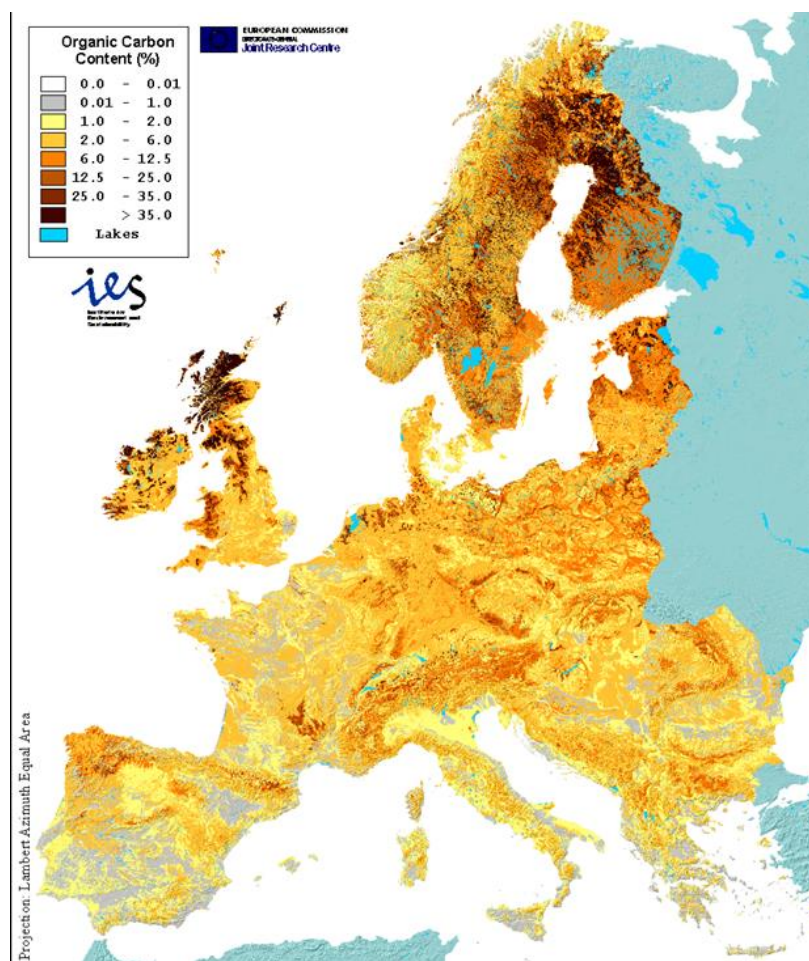


FIGURA 2 - TEOR DE CARBONO ORGÂNICO (%) NOS SOLOS SUPERFICIAIS (0–30 CM) NA EUROPA (Montanarella et al., 2006)

O metano (CH₄) é um gás de efeito estufa importante, sendo que as zonas húmidas e os solos de arroz inundados são responsáveis por mais de 38% das emissões globais deste gás. Contudo, a produção de CH₄ é parcialmente equilibrada pela oxidação biológica realizada por metanotróficos, que podem consumir até 90% do metano gerado em solos aeróbicos (Chowdhury & Dick, 2013)

Todos estes processos associados ao ciclo destes nutrientes são mediados por organismos presentes no solo e são fortemente influenciados pela gestão do mesmo, uma vez que afeta os próprios organismos e os fatores abióticos e bióticos que controlam as taxas do processo. Muitos anos de investigação revelaram a interação complexa destes fatores, mas as ligações subjacentes aos controlos microbianos continuam mal compreendidas.

A compreensão dos processos de formação dos solos e designadamente do papel desempenhado pelos organismos vivos que o integram constituem grandes desafios para a ciência do solo. Os solos representam um habitat físico, quimicamente complexo e heterogéneo que suporta uma elevada diversidade faunística e microbiana. Por exemplo, 10 g de solo contém cerca de 10¹⁰ células bacterianas de mais de 106 espécies (Gans et al., 2005) e estima-se que 360 000 espécies de animais são habitantes do solo (Decaens et al., 2006).

A Avaliação dos Ecossistemas do Milénio (2005) descreve: "A biodiversidade é a variabilidade entre os organismos vivos. Inclui a diversidade dentro e entre espécies e diversidade dentro e entre os ecossistemas. A biodiversidade é a fonte de muitos bens do ecossistema, como alimentos e recursos genéticos, e as mudanças na biodiversidade podem influenciar a oferta de serviços de ecossistemas."

Especificamente a biodiversidade dos solos é fundamental para a produção de alimentos e fibras. É também um importante regulador de outros serviços vitais do solo, incluindo o ciclo de nutrientes, a moderação das emissões de gases com efeito de estufa e a purificação da água (Wall et al., 2012).

Reconhece-se ainda que as unidades populacionais associadas à biodiversidade dos solos representam um importante recurso biológico e genético para a exploração biotecnológica (Brevik e Sauer, 2015). Por exemplo, os solos abrigam estreptomicinas que são encontradas predominantemente no solo e na vegetação em decomposição e produzem mais de dois terços dos antibióticos clinicamente úteis de origem natural (neomicina, cloranfenicol) (Kieser et al., 2000).

2.4. Principais ameaças do Solos Europeus

2.4.1. Erosão

O conceito de erosão pode ser definido como a remoção/destacamento das partículas do solo, pela ação da água ou do vento, sendo transportadas para outro local (Commission, 2012) constituído assim um processo trifásico: (a) destacamento; (b) transporte; (c) sedimentação. O destacamento das partículas do solo pela água ou pelo vento pode dever-se a variados fatores e são eles que determinam os diferentes tipos de erosão.

Entre os fatores associados à erosão do solo contam-se aqueles causados pela ação humana e aqueles que resultam ou se associam mais a fenómenos naturais, sendo que e o Homem poderá potenciar os seus impactes Apesar das elevadas taxas de erosão serem devidas a atividades humanas, o processo erosivo é inicialmente um processo natural.

A erosão é muitas vezes causada pelas más práticas agrícolas, pois são estas que dependem em maiores quantidades do solo para a produção alimentar (Fischer et al 2011; Decock et al 2015). Na europa existem importantes gradientes políticos, que moldam o uso do solo, climático – topográficos/geomorfológicos que permitem uma diversidade pedo genética elevada (Koster, 2005). Portanto, é complexo, enumerar causas para a erosão, que sejam comuns em todo o território. Ainda assim os principais vetores determinantes da ocorrência de erosão, tanto naturais como antropogénicos, são: a provocada pela água e pelo vento, a mobilização profunda e intensiva dos solos agrícolas, a colheita total de culturas que deixa o solo nu, o nivelamento de terrenos e deslizamento de terras. A erosão hídrica está entre as principais causas de perda de solo (Panagos et al. 2016).

Dados desenvolvidos por um modelo de erosão hídrica do solo estimou em 1,3 milhões de km² a superfície afetada na UE-27 visível na figura 3.

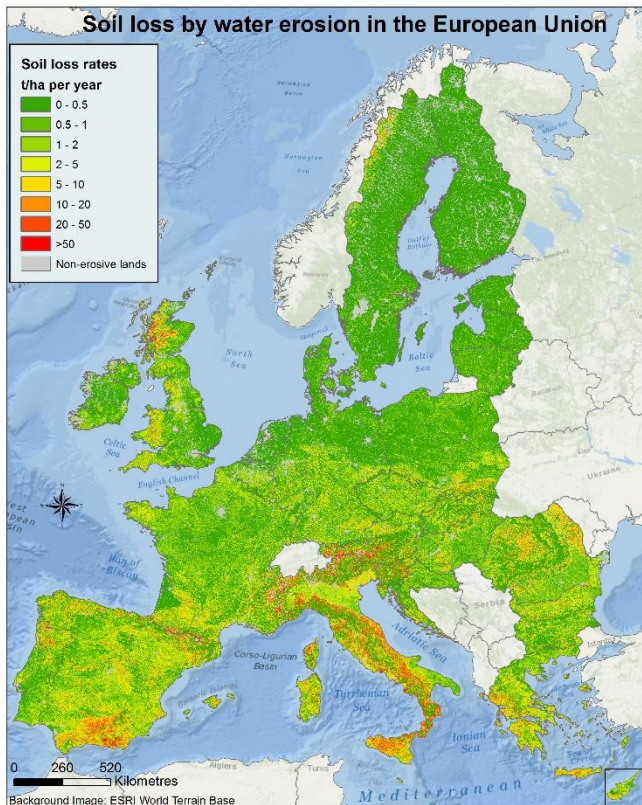


FIGURA 3 - EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS NA UE (T/HA/ANO) (Panagos et al., 2015)



FIGURA 4 - EROÇÃO DE UMA PLANTAÇÃO DE CITRINOS EM ESPANHA

(Panagos et al., 2015)

As consequências da erosão afetam o sector económico, ambiental e social, ou seja, 3 dos pilares do desenvolvimento sustentável. A nível económico a erosão afeta a capacidade dos solos para a produção de alimentos, como o trigo ao nível europeu como mostra a figura 5. Estima-se que exista uma perda de 5 Mg hectare⁻¹.ano⁻¹ de solo a partir de 12,7% de terras aráveis, esses 140 × 103 km² (mais do que a superfície da Grécia) podem causar um prejuízo de 12 biliões de Euros na produção anual em terras aráveis como por exemplo nas produção de citrinos como ilustra a figura 4. (Panagos et al. 2016).

O transporte de sedimentos pode contaminar águas superficiais e subterrâneas com pesticidas agrícolas e em certos casos, metais pesados destacados de escombrelas, irão degradar a qualidade do solo e o meio ambiente (Fulekar et al. 2009). O agravamento destas condições pode levar a desertificação de certas regiões afetando também o ambiente e a socio economia .

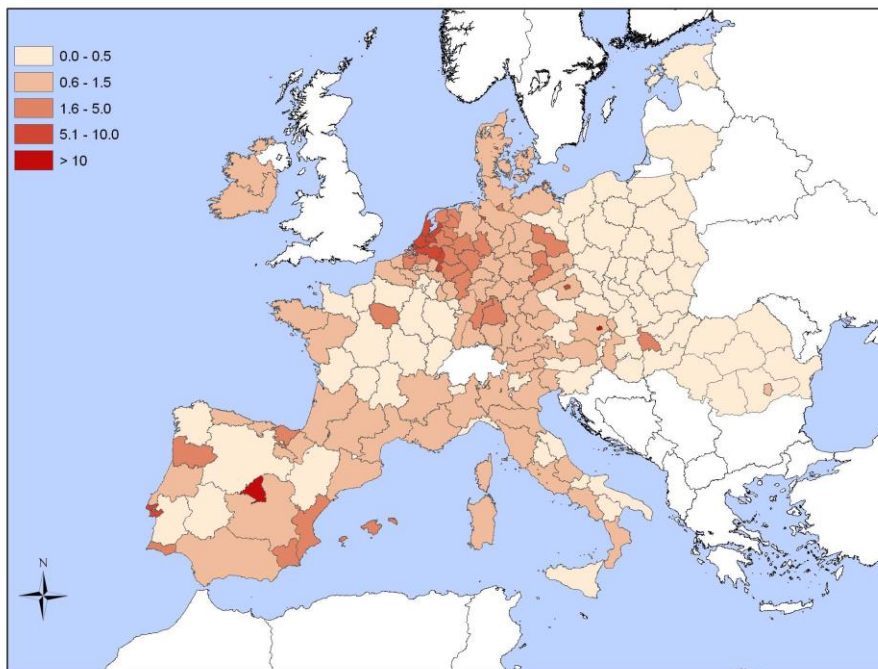


FIGURA 5 - PERDAS POTENCIAIS DE PRODUÇÃO DE TRIGO (%) EM 19 PAÍSES DA UE (1990-2006)

2.4.2. Contaminação

A contaminação local dos solos está geralmente associada a atividades industriais intensivas, eliminação inadequada de resíduos, mineração, atividades militares ou acidentes. A gestão dos territórios com solos contaminados é um processo hierárquico iniciando-se com a procura de locais suscetíveis de estarem contaminados, seguido de investigações no local sobre a extensão real da contaminação e os impactos ambientais associados e, finalmente, a definição e implementação de medidas corretivas e pós-cuidados.

Segundo (EEA (European Environment Agency), 2014) estima-se que o número de locais onde se realizaram atividades potencialmente poluentes na Europa ascenda a cerca de três milhões dos quais 250 000 se encontravam efetivamente contaminados. Se as tendências atuais se mantiverem e não forem feitas alterações na legislação, os números acima referidos deverão aumentar 50% até 2025 (Jones et al., 2011; EEA, 2014). Existem indícios de progresso na reparação de sítios contaminados, embora a taxa seja lenta. Nos últimos anos, cerca de 17 000 instalações já foram tratadas, enquanto muitas fábricas industriais têm tentado alterar os seus processos produtivos para gerar menos resíduos. Além disso, a maioria dos países dispõe agora de legislação para controlar os resíduos industriais e prevenir acidentes.

A contaminação dos solos reduz a segurança alimentar, tanto através da redução dos rendimentos das culturas devido aos níveis tóxicos de contaminantes, como da redução das culturas produzidas e o **acréscimo da insegurança da produção** para o consumo. Existem dezenas de milhares de locais contaminados conhecidos devido à contaminação local ou a fonte de poluição pontual ou difusa, muitas vezes associada à água. Em 2006, a Agência Europeia do Ambiente estimou existirem na UE três milhões de locais potencialmente contaminados, dos quais 250 000 se **encontrarão** efetivamente contaminados.

A poluição do solo por metais pesados é um problema ambiental significativo em todo o mundo. Em particular, a poluição de solos superficiais por metais pesados, devido à intensa industrialização e urbanização, tornou-se uma preocupação séria em muitos países em desenvolvimento (Hu et al., 2013). A contaminação também é severa devido a fontes pontuais como a poluição central nuclear de Fukushima Dai-ichi e a catástrofe de Chernobil de 1983. A contaminação difusa do solo ocorre em muitas regiões (Guerra et al, 2011), mas está mais ligada com preocupações sobre a segurança alimentar em vez de reduções significativas no rendimento das culturas.

2.4.3. Declínio da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo é composta por materiais orgânicos em diferente estado de decomposição (restos de raízes de plantas, folhas, excrementos), organismos vivos (bactérias, fungos, minhocas e outra micro e meso fauna do solo) e húmus, o produto final estabilizado da decomposição da matéria orgânica presente no solo resultao da ação lenta dos organismos que nele vivem. Ela é, assim, constantemente acumulada e decomposta, para que o carbono seja libertado na atmosfera sob a forma de CO₂ e recapturado através do processo de fotossíntese. A matéria orgânica desempenha um papel essencial na manutenção das principais funções do solo e é um fator essencial de resistência à erosão e de conservação da fertilidade do solo. Assegura a capacidade de aglutinação e o efeito de tampão do solo, contribuindo assim para limitar a difusão da poluição do solo para a água.

As práticas agrícolas e silvícolas têm um impacto importante na matéria orgânica do solo. Apesar da importância da manutenção da carga de matéria orgânica do solo, há provas de que, com os sistemas de culturas arvenses, que tendem para uma maior especialização e para a monocultura, não há, muitas vezes, uma substituição suficiente da matéria que se decompõe no solo. A especialização da agricultura levou à separação entre a pecuária e a produção arável, pelo que as práticas de rotação das culturas que recuperavam a carga de matéria orgânica do solo já não fazem, em muitos casos, parte da prática agrícola atual.

A acumulação de matéria orgânica nos solos é um processo lento (muito mais lento do que a sua diminuição) que deve ser preservado e promovido através de boas práticas agrícolas. A acumulação de matéria orgânica no solo é facilitada por técnicas de gestão agrícola sustentáveis, como a agricultura de conservação e a agricultura regenerativa, que privilegiam a mobilização mínima ou nula, a agricultura biológica, as pastagens permanentes, as culturas de cobertura, as consociações, as rotações, a cultura de leguminosas, a fertilização verde, a aplicação de estrume e compostos, a cultura intercalar em socalcos e a cultura nas curvas de nível, entre outras. A maioria destas técnicas é também são eficazes para prevenir a erosão, aumentar a fertilidade e reforçar a biodiversidade do solo. Constituem, pois, formas de atuação que contribuem para promover e consolidar o equilíbrio e a preservação do solo.

2.4.4. Salinização

A salinização do solo refere-se à acumulação excessiva de sais no solo introduzindo limitações ao seu potencial agrícola; é um termo que inclui solos salinos, sódicos e alcalinos (van Beek & Tóth, 2012), respetivamente definidos como (a) concentração elevada de sal, NaCl (b) concentração elevada de sódio (Na⁺) e (c) valores de pH elevado, muitas vezes devido à elevada concentração de CO₃²⁻ no solo. A salinização do solo leva à alteração ou mesmo à rutura do ciclo natural biológico (Smith et al., 2015), bioquímico (Decock et al., 2015), hidrológico (Keesstra et al., 2012) e erosivo (Berendse et al., 2015) da Terra.

Os elevados níveis de salinização podem, assim, resultar na perda dos recursos, bens e serviços emergentes dos solos, com impacto na produção agrícola e na socioeconomia e no equilíbrio ambiental (Rengasamy, 2006) figura 6, acabando por gerar problemas socioculturais e prejuízos para a saúde humana (Brevik et al., 2015). A salinização do solo é um fenómeno generalizado, com solos salinos e sódicos que cobrem 932,2 Mha globalmente (Rengasamy, 2006), e uma das maiores ameaças de degradação do solo em todo o mundo, devido a irrigação mal gerida que afeta grandes extensões de terra, , cerca de 34,19 Mha (Mateo-Sagasta e Burke, 2011) ou mais de 10% do total de terras irrigadas (Aquastat, 2016).

A Europa contribui com cerca de 30,7 Mha ou 3,3% dos solos salinos e sódicos globais (Rengasamy, 2006). Os hotspots globais de salinização dos solos incluem Paquistão, China, Estados Unidos, Índia, Argentina, Sudão e muitos países da Ásia Central e Ocidental (Aquastat, 2016). Enquanto à escala europeia destaca-se a costa mediterrânica (Geeson et al., 2003). Esta ameaça do solo ganhou atenção mundial, uma vez que a preocupação tem crescido sobre a má gestão da irrigação (Young et al., 2015), associada também à má quantificação de corretivos orgânicos e inorgânicos (Drake et al., 2016; Singh et al., 2016) no processo de adaptação e recuperação do solo. Para que os estudos de recuperação sejam eficientemente aumentados ou adaptados eficazmente aos problemas locais, é essencial uma avaliação actualizada e uma revisão do estado da salinidade dos solos na Europa.

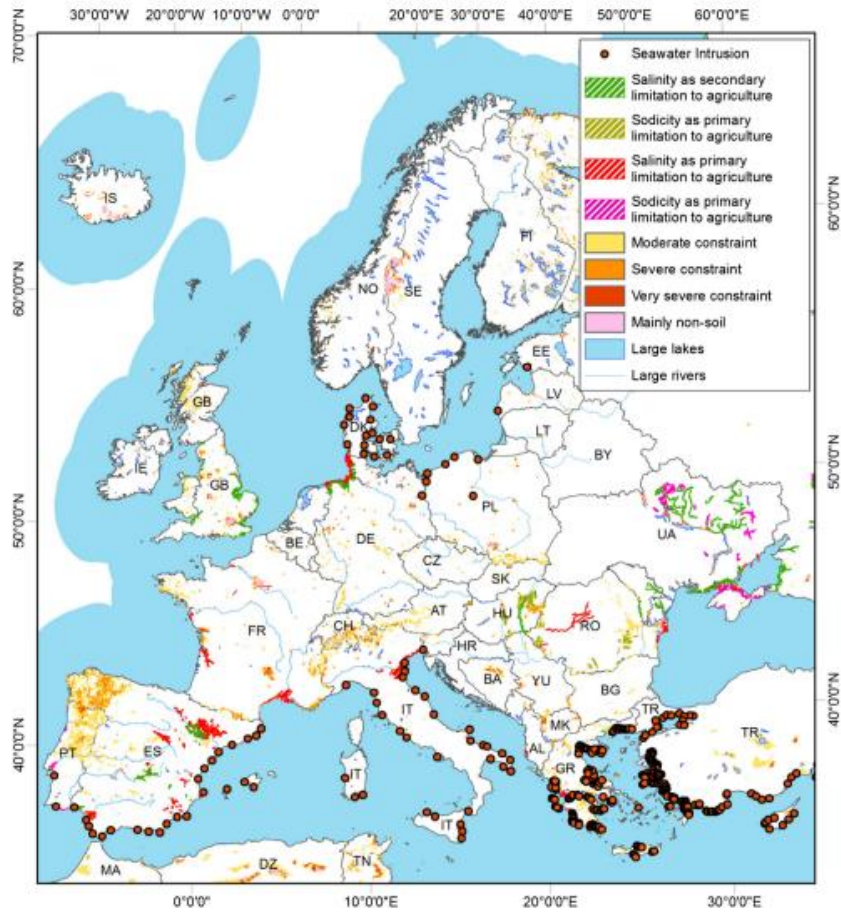


FIGURA 1 - SOLOS SÓDICOS E SALINOS COMO CONSTRANGIMENTOS PARA O USO DE SOLOS AGRÍCOLAS, COMPILADO DE SGDBE, EEA (1999), DASKALAKI AND VOUDOURIS (2008) AND FISCHER ET AL. (2008).

3. Materiais e métodos

Tendo presente que o objetivo central desta dissertação é analisar as ameaças à preservação do solo no atual quadro normativo europeu, avaliando a eficácia das legislações existentes e identificando lacunas e oportunidades para fortalecer a proteção desse recurso natural essencial, depois de apresentada a definição de solo e os problemas que a sua preservação encerra, adotou-se como estratégia metodológica a análise das políticas europeias para avaliar a necessidade de uma diretiva focada nos solos a nível europeu.

a) **Fontes Primárias:**

Os documentos foram recolhidos em fontes oficiais da União Europeia, como o portal EUR-Lex, garantindo a autenticidade e precisão das informações.

A consulta abrangeu textos consolidados, sempre validados com os atos originais, para garantir que as análises considerem atualizações e correções.

b) **Uso de Palavras-Chave:**

Foram empregues palavras-chave relevantes, como "solo", "degradação do solo", "preservação ambiental", "uso sustentável" e "política agrícola", para identificar legislações conexas.

c) **Cruzamento de Áreas Políticas:**

A metodologia abrange legislações de diferentes setores (agricultura, resíduos, energia), dado o caráter multidisciplinar da proteção do solo.

3.1. Estratégia de Análise

TABELA 3- LISTA DA LEGISLAÇÃO DIRETA ANALISADA NO ESTUDO

Legislação	Referência	Ano	Conteúdo	Disposições diretas
Estratégia do Solo da União	COM (2021) 699	2021	Estabelece metas para solos saudáveis até 2050.	Seções sobre 'Objetivos para Solos Saudáveis'
Política Agrícola	Regulamento (UE) 2021/2115	2021	Fomenta práticas agrícolas sustentáveis e proteção do solo.	Artigos sobre condicionalidade ambiental e práticas agrícolas sustentáveis
Plano de Ação de Zero	Sem referência específica	2021	Orienta a redução de poluentes em meios incluindo o solo.	Secção 'Redução de Poluentes no Solo'
Lei Europeia do Clima	Regulamento (UE) 2021/1119	2021	Metas climáticas com enfoque em sequestro de carbono nos solos.	Artigos relacionados ao sequestro de carbono nos solos agrícolas e florestais
Diretiva-Quadro de Resíduos	Diretiva 2008/98/CE	2008	Regula a gestão de resíduos com impacto no solo.	Artigo 13º (impactos dos resíduos no solo)
Regulamento relativo ao Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (REACH)	Reg.EC 1907/2006	2006	Controla substâncias químicas perigosas para o solo.	Artigos 55º e 57º (substâncias químicas perigosas que afetam o solo) Anexo II
Proposta de Diretiva-Quadro para a Proteção do Solo	COM (2006) 232 final	2006	Proposta para proteger o solo e evitar degradação.	Todo o documento (diretamente sobre o solo)
Responsabilidade Ambiental	Dir. 2004/35/EC	2004	Responsabilidade ambiental em termos de prevenção e reparação de danos ambientais	Artigo 3.1 Artigo 5–8

Diretiva Quadro da Água	Diretiva 2000/60/CE	2000	Aborda poluição difusa e impactos indiretos no solo.	Artigos 1º e 11º (poluição difusa e impacto indireto no solo)
Diretiva Nitratos	Diretiva 91/676/CEE	1991	Previne a poluição de solos por nitratos da agricultura.	Artigos 1º e 4º (prevenção de poluição do solo)
Diretiva sobre a Utilização de Lamas de Depuração na Agricultura	Diretiva 86/278/CEE	1986	Regula o uso agrícola de lamas para evitar contaminação.	Artigos 2º, 3º e Anexos I e II (metais pesados e critérios de uso no solo)

A análise efetuada aborda o estado das políticas em vigor relacionadas com o solo em termos de ameaças ao solo e ao desempenho das suas funções, para paralelamente, identificar lacunas e na proteção dos solos nas políticas existentes e evidenciar sobreposições.

Foram analisados 24 atos legislativos, diretivas e regulamentos, que se encontram em vigor na união europeia. a procura foi feita tendo por base o site da união europeia, “Sumários da legislação EU” ([Sínteses da legislação da UE - EUR-Lex](#)). Os atos legislativos foram selecionados através de uma seleção crítica, dos atos legislativos que mais se poderiam relacionar com o solo e que abrangessem as áreas mais diretamente relacionadas com o solo.

Para cada ato legislativo analisado foi identificado a menção ou não de alguma das ameaças e funções do solo, sendo a síntese analítica sintetizada na tabela 3. Esta tabela integra uma descrição sumária do conteúdo de cada ato normativo, assim como a referência e o ano de publicação associados.

4. Resultados e Discussão

Os resultados encontram-se sintetizados na tabela 3 onde se menciona a legislação que foi analisada e o local onde se verifica a menção relativa as ameaças e funções do solo. Nas tabelas 4 e 5 identificam qual ato legislativo mencionou determinada ameaça ou função do solo respetivamente, para uma compreensão rápida e eficaz.

Será descrito mais pormenorizadamente que atos legislativos melhor cobriram cada ameaça, estando a análise organizada por ameaças do solo.

4.1. Estratégia do Solo da União - COM (2021) 699 final

A EU Soil Strategy 2021 estabelece objetivos para garantir a saúde do solo até 2050, abordando ameaças como erosão, compactação, contaminação e perda de matéria orgânica. A estratégia promove práticas sustentáveis, de monitorização e restauração de solos degradados. Além disso, reconhece o solo como essencial para serviços de ecossistemas e biodiversidade, propondo uma legislação específica sobre saúde dos solos.

As Contribuições Principais da Estratégia são relativas ao uso sustentável do solo para assegurar serviços de ecossistema, como a regulação do carbono e a biodiversidade. Inclui metas para aumentar a quantidade de solos saudáveis, como a recuperação de solos degradados até 2030. (Pág. 6 a 23)

Identifica ameaças-chave como erosão, contaminação, e compactação do solo, propondo indicadores de monitorização. Integra a mitigação às alterações climáticas com a preservação da matéria orgânica no solo. Complementa a estratégia com propostas legislativas, como a Lei da Saúde do Solo, para garantir um quadro normativo forte. Incentiva pesquisas para melhorar o uso sustentável e combater ameaças ao solo.

A EU Soil Strategy 2021 estratégia não é vinculativa, mas anuncia uma legislação proposta para 2023, (Lei de Monitoramento do Solo). Esta proposta visa garantir que todos os solos na União Europeia estejam em condições saudáveis até 2050. A iniciativa faz parte das metas do European Green Deal, alinhando-se com a ambição de poluição zero e a agenda de desenvolvimento sustentável da ONU para 2030. A mesma foi apresentada, mas precisará ser debatida e aprovada pelos Estados-Membros e o Parlamento Europeu para se tornar vinculativa.

4.2. Política Agrícola - Regulamento (UE) 2021/2115

O Regulamento (UE) 2021/2115 estabelece planos estratégicos para a Política Agrícola Comum (PAC), promovendo práticas agrícolas sustentáveis e incentivos à proteção ambiental. Integra os objetivos do European Green Deal, priorizando a gestão de nutrientes, regulação de carbono e combate à erosão do solo. Incentiva a biodiversidade e a resiliência climática nas práticas agrícolas.

A Política Agrícola Comum (PAC), conforme estabelecido no Regulamento (UE) 2021/2115, desempenha um papel central na promoção de serviços de ecossistema essenciais, reforçando a sustentabilidade ambiental e a resiliência climática no setor agrícola. Este regulamento reconhece que práticas agrícolas sustentáveis são cruciais para preservar as funções do solo e os benefícios ambientais associados.

Entre os serviços de ecossistema destacados, a regulação do clima é fundamental. A PAC incentiva práticas que aumentam o sequestro de carbono, como o uso sustentável do solo, a proteção de pastagens permanentes e turfeiras. Essas ações são essenciais para mitigar as mudanças climáticas e garantir a neutralidade de carbono na agricultura. Além disso, a preservação da biodiversidade é uma prioridade, promovendo a diversificação de culturas e a criação de habitats naturais em áreas agrícolas, o que apoia a fauna e a flora local.

A gestão eficiente da água também é abordada, com incentivos para práticas que melhoram a retenção hídrica no solo e reduzem o risco de inundações. Paralelamente, a PAC regula o uso de fertilizantes químicos e promove o uso sustentável de nutrientes, assegurando um ciclo de nutrientes equilibrado que mantém a fertilidade do solo e minimiza a poluição. Por fim, ao proteger paisagens agrícolas tradicionais, o regulamento também valoriza os serviços culturais e recreativos, promovendo o turismo sustentável e a identidade cultural das comunidades rurais.

Contudo, o regulamento não apenas aborda os benefícios do solo, mas também reconhece as ameaças que afetam sua saúde e funcionalidade. A erosão do solo, por exemplo, é mitigada através de práticas como a rotação de culturas e a cobertura vegetal, que reduzem a perda de solo superficial. A contaminação química é outro desafio tratado, com a promoção de alternativas aos fertilizantes e pesticidas tradicionais.

Outra ameaça relevante é a compactação do solo, causada pelo uso excessivo de maquinário pesado. A PAC incentiva tecnologias agrícolas inovadoras que minimizam esses impactos, melhorando a infiltração de água e a estrutura do solo. A perda de matéria orgânica também é abordada, com medidas que promovem a regeneração do solo e a preservação do carbono orgânico. Além disso, estratégias específicas são desenvolvidas para áreas vulneráveis, combatendo os efeitos das mudanças climáticas e da desertificação.

Com estas abordagens, o Regulamento (UE) 2021/2115 alinha os objetivos da PAC com o European Green Deal, integrando práticas agrícolas sustentáveis e medidas de proteção do solo. A implementação dessas medidas busca garantir a saúde do solo e a resiliência dos ecossistemas, essenciais para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental na União Europeia.

4.3. Estratégia da EU “Rumo à Poluição Zero no Ar, na Água e no Solo” (COM (2021) 400 final)

A Estratégia da UE "Rumo à Poluição Zero no Ar, na Água e no Solo" (COM (2021) 400 final) apresenta um plano de ação integrado para reduzir a poluição em todas as esferas ambientais até 2050, alinhado com o European Green Deal. O documento define metas claras para reduzir emissões industriais, melhorar a qualidade do ar, da água e do solo, e eliminar poluentes químicos prejudiciais. Inclui propostas para monitorização, restauração de ecossistemas, transição para uma economia circular e promoção de práticas sustentáveis em setores como agricultura, indústria e transporte. A estratégia também introduz indicadores de poluição zero para avaliar o progresso e garantir um impacto positivo na saúde humana e nos ecossistemas.

A análise do documento COM (2021) 400 final — Plano de Ação da UE "Rumo à Poluição Zero no Ar, na Água e no Solo" demonstra várias menções ao solo, incluindo as suas ameaças e o papel nos serviços de ecossistema.

A visão de poluição zero para 2050 inclui a redução da poluição no solo para níveis não prejudiciais à saúde e aos ecossistemas naturais, respeitando os limites do planeta. (pag.3) Destaca-se a necessidade de um quadro de avaliação regular sobre o estado dos solos da UE. Também menciona medidas para combater a poluição e a degradação do solo. (pag.8) Reforça a importância da futura estratégia de proteção do solo da UE, abordando a recuperação de solos degradados e a monitorização da poluição do solo. (pag.10) Estima que 2,8 milhões de sítios estão potencialmente contaminados na UE, com 390.000 necessitando de recuperação. Propõe esforços para recuperação e criação de um módulo de poluição zero no inquérito LUCAS. (pag.11) Aborda a utilização de solos escavados de forma segura, sustentável e circular. Propõe a inclusão de critérios específicos para priorizar a descontaminação do solo. (pag.13)

4.4. Lei Europeia do Clima - Regulamento (UE) 2021/1119

A Lei Europeia do Clima, estabelecida pelo Regulamento (UE) 2021/1119, aborda de forma abrangente a proteção e a promoção dos serviços de ecossistema, reconhecendo o seu papel central no alcance da neutralidade climática até 2050. O documento destaca que ecossistemas saudáveis, incluindo solos agrícolas e florestais, são essenciais para a captura e o armazenamento de carbono, contribuindo significativamente para a mitigação das alterações climáticas. A conservação da biodiversidade é integrada como um componente essencial desses ecossistemas, sendo vista não apenas como um fim em si, mas como um suporte vital para a funcionalidade e resiliência ambiental. Ao citar a Plataforma Intergovernamental Científica e Política sobre a Biodiversidade e os Serviços de ecossistema (IPBES), o regulamento reforça a ligação intrínseca entre biodiversidade e estabilidade climática, apontando para a importância de ecossistemas robustos na gestão dos impactos das alterações climáticas.

Além disso, o regulamento promove a recuperação de ecossistemas degradados como uma ferramenta eficaz para fortalecer os sumidouros naturais de carbono, particularmente em áreas florestais e agrícolas. Soluções baseadas na natureza são amplamente defendidas como estratégias-chave para mitigar e adaptar-se às alterações climáticas, com benefícios adicionais, como a melhoria da saúde do solo e a resiliência ambiental geral. A lei incentiva a adoção de práticas sustentáveis de uso da terra, reconhecendo o papel do solo na regulação climática e no suporte a outros serviços de ecossistema, como a retenção de água e a produção agrícola sustentável.

Por outro lado, a Lei Europeia do Clima também identifica e busca mitigar as principais ameaças que afetam os solos. As alterações climáticas são vistas como um fator central de degradação, exacerbando riscos como a erosão, que ocorre devido a eventos climáticos extremos, incluindo secas prolongadas e inundações. O texto também reconhece que práticas insustentáveis, como a intensificação agrícola e o uso inadequado da terra, agravam problemas como a compactação e a contaminação do solo, reduzindo a sua capacidade de sustentar serviços de ecossistema. Além disso, a perda de carbono armazenado nos solos é destacada como uma ameaça crítica, resultante de fatores como a conversão de terras agrícolas em áreas urbanas.

A Lei Europeia do Clima estabelece metas ambiciosas de redução de emissões líquidas, enfatizando que a proteção e o uso sustentável dos solos são cruciais para alcançar esses objetivos. Práticas que promovem a manutenção do carbono no solo e a redução de emissões associadas ao uso da terra são promovidas como componentes centrais das estratégias de neutralidade climática. Assim, o regulamento reforça a importância do solo não apenas como um recurso natural essencial, mas como um pilar fundamental na luta contra as mudanças climáticas e na preservação ambiental a longo prazo.

4.5. Diretiva-Quadro de Resíduos - Diretiva 2008/98/CE

A Diretiva Quadro de Resíduos (2008/98/CE) é essencial para proteger os solos na União Europeia, embora o seu foco principal seja a gestão de resíduos. Ao priorizar a prevenção, reutilização e reciclagem de materiais, a diretiva reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, prevenindo a contaminação dos solos por substâncias perigosas, como metais pesados e compostos tóxicos.

A diretiva também incentiva o uso de compostagem e digestão anaeróbia, que, quando bem geridos, melhoram a qualidade do solo, aumentando a sua matéria orgânica e nutrientes. Além disso, normas rigorosas para a gestão de resíduos perigosos ajudam a evitar infiltrações e vazamentos que poderiam comprometer a funcionalidade do solo.

Ao promover a economia circular, a diretiva reduz a pressão sobre os solos agrícolas e naturais, criando condições favoráveis para a sua preservação e sustentabilidade. Assim, embora não seja exclusivamente focada no solo, a Diretiva 2008/98/CE contribui significativamente para a sua proteção, prevenindo contaminações e incentivando práticas sustentáveis.

4.6. Regulamento relativo ao Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (REACH) - Regulamento (CE) nº 1907/2006

O Regulamento REACH é fundamental para proteger o solo ao regular substâncias químicas perigosas. Ao limitar o uso de compostos tóxicos, como metais pesados e poluentes persistentes, o regulamento ajuda a preservar serviços de ecossistema essenciais, como a filtragem de água, a fertilidade do solo e o suporte à biodiversidade.

O regulamento também mitiga ameaças ao solo, exigindo que fabricantes e importadores demonstrem a segurança das suas substâncias antes de comercializá-las. Isso reduz o risco de contaminação e protege a capacidade do solo de sustentar ecossistemas. Além disso, promove a substituição de produtos químicos perigosos por alternativas mais seguras.

Dessa forma, o REACH contribui para a preservação do solo, garantindo que ele continue a desempenhar as suas funções ambientais e económicas de maneira sustentável.

4.7. Proposta de Diretiva-Quadro para a Proteção do Solo - COM (2006) 232 final

A Proposta de Diretiva Quadro para a Proteção do Solo reconhece a importância do solo como um recurso essencial para os serviços de ecossistema e como base para a sustentabilidade ambiental. O solo desempenha funções críticas, como a produção de alimentos, a retenção de carbono e a regulação da qualidade da água. A proposta destaca que a preservação desses serviços é indispensável para combater as mudanças climáticas, proteger a biodiversidade e garantir a segurança hídrica.

A proposta também identifica as principais ameaças ao solo, incluindo erosão, contaminação, compactação e desertificação. A erosão reduz a fertilidade do solo, enquanto a contaminação por metais pesados e pesticidas compromete a sua saúde e biodiversidade. A compactação, causada pelo uso intensivo de máquinas agrícolas, afeta a infiltração de água, e a desertificação representa uma ameaça crescente em áreas vulneráveis.

Para enfrentar essas questões, a proposta sugere ações para restaurar solos degradados, prevenir novas contaminações e promover práticas agrícolas sustentáveis. Apesar de não ter se tornado uma lei vinculativa, esta proposta estabelece uma base importante para a proteção e gestão sustentável dos solos na União Europeia.

4.8. Responsabilidade Ambiental - Diretiva 2004/35/CE

A Diretiva 2004/35/CE sobre Responsabilidade Ambiental visa prevenir e reparar danos ambientais, incluindo impactos no solo. Ela reconhece que o solo é essencial para serviços de ecossistema como a filtragem de água, o suporte à biodiversidade e o sequestro de carbono. A proteção dessas funções é central para garantir a sustentabilidade ambiental.

A Diretiva aborda ameaças ao solo, como a contaminação por metais pesados e resíduos químicos, que comprometem a sua fertilidade e funcionalidade. Para mitigar esses riscos, aplica o princípio "poluidor-pagador", responsabilizando operadores econômicos pela recuperação de áreas degradadas e prevenindo novos danos.

Com isso, a Diretiva contribui para a proteção do solo, assegurando a sua capacidade de sustentar serviços de ecossistema essenciais e promovendo uma abordagem sustentável e preventiva na gestão ambiental.

4.9. Diretiva Quadro da Água - Diretiva 2000/60/CE

A Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE) reconhece o papel do solo na regulação dos ciclos hídricos e na filtragem de água. Solos saudáveis ajudam a reter e purificar a água, protegendo recursos hídricos subterrâneos e superficiais, enquanto suportam biodiversidade e controlam a sedimentação.

A diretiva também aborda ameaças ao solo, como contaminação por fertilizantes e pesticidas, que afetam a qualidade da água. Além disso, a erosão e a compactação, causadas por práticas agrícolas inadequadas, comprometem a saúde do solo e aumentam a sedimentação nos corpos de água.

Embora focada na água, a Diretiva contribui para a proteção do solo, promovendo práticas sustentáveis que fortalecem a funcionalidade do solo e dos ecossistemas interligados.

4.10. Diretiva Nitratos - Diretiva 91/676/CEE

A Diretiva dos Nitratos (91/676/CEE) protege as águas contra a poluição por nitratos agrícolas, mas também beneficia o solo. Ao regular o uso de fertilizantes azotados, a diretiva ajuda a preservar serviços de ecossistema, como o ciclo de nutrientes, a fertilidade do solo e o suporte à biodiversidade.

A diretiva aborda ameaças como a acumulação excessiva de nutrientes, que pode degradar o solo e afetar a sua capacidade de sustentar a vida. Práticas incentivadas, como zonas tampão e rotação de culturas, minimizam a contaminação e promovem um uso mais sustentável.

Embora focada na água, a Diretiva dos Nitratos é crucial para a saúde do solo, garantindo a sua funcionalidade e resiliência frente às práticas agrícolas intensivas.

4.11. Diretiva sobre a Utilização de Lamas de Depuração na Agricultura - Diretiva 86/278/CEE

A Diretiva 86/278/CEE regula o uso de lamas de depuração na agricultura, promovendo a fertilidade do solo ao adicionar matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo. Essa prática melhora a estrutura do solo, aumentando a sua retenção de água e suporte à biodiversidade, fundamentais para os serviços de ecossistema.

No entanto, a diretiva também aborda ameaças, como a contaminação por metais pesados e patogênicos, que podem comprometer a saúde do solo. Para evitar esses riscos, estabelece limites rigorosos para poluentes e exige o tratamento adequado das lamas antes da sua aplicação.

Com isso, a diretiva promove o uso sustentável de lamas na agricultura, equilibrando os benefícios à fertilidade do solo com a proteção ambiental.

TABELA 4 - ATOS LEGISLATIVOS QUE CONTEMPLAM AS AMEAÇAS DO SOLO

Ameaças	ESU COM (2021) 699	PAC	Ação Zero	Lei europeia do clima	Dir. quadro Resíduos	REACH	COM (2006) 232	Resp. Ambiental	Dir. quadro água	Nitratos	Lamas
I. Erosão											
II. Variação de Carbono orgânico											
III. Acidificação											
IV. Desequilíbrio de nutrientes											
V. Contaminação											
VI. Perda de Biodiversidade no solo											
VII. Compactação do solo e desflorestação											
VIII. Salinização e solidificação											
IX. Impermeabilização											

TABELA 5 - ATOS LEGISLATIVOS QUE CONTEMPLAM AS FUNÇÕES DO SOLO

Funções	ESU COM (2021) 699	PAC	Ação Zero	Lei europeia do clima	Dir. quadro Resíduos	REACH	COM (2006) 232	Resp. Ambiental	Dir. quadro água	Nitratos	Lamas
I. Produção de biomassa											
II. Armazenamento, filtração e transformação											

ma çã o											
III. Re ser va de bio div ers ida de											
IV. Am bie nte físi co e cul tur al											
V. Fo nte de ma tér ias - pri											

ma s;											
VI. Re ser vat óri o de car bo no;											
VII. Co nse rva çã o do pat rim óni o ge oló gic o e arq ue oló											

gic o												
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5. Conclusões

Esta análise da política transversal mostra que três das sete ameaças ao solo, a compactação, a salinização e a impermeabilização não estão abrangidas pela legislação em vigor. O declínio da matéria orgânica do solo mal é mencionado. A biodiversidade em geral é abordada, mas a biodiversidade dos solos é muito pouco mencionada. A erosão dos solos e, em especial, a contaminação dos solos são duas ameaças frequentemente abordadas na legislação em vigor. No entanto, a análise mostrou que quase todas as políticas se destinam a "prevenir a aceleração das ameaças", mas apenas alguns visam uma redução das ameaças.

A incapacidade de abordar as sete ameaças do solo ameaça as funções do mesmo. Por conseguinte, não é claro se a legislação existente em vigor sobre o solo protege efetivamente o solo das ameaças dos solos e a melhorar a função do solo. A degradação dos solos está em curso na Europa, o que sugere que as políticas existentes não são suficientes para manter as funções dos solos. Parece haver necessidade de uma nova política comum de conservação dos solos a nível europeu. A degradação dos solos existe em toda a UE, mas apenas alguns Estados-Membros promulgaram legislação nacional abrangente sobre os solos. As leis nacionais de proteção dos solos existentes nesses Estados-Membros não serão ameaçadas pela legislação comum da UE, uma vez que os Estados-Membros podem adotar leis mais protetoras do que a legislação da UE. Existem aspetos transfronteiriços da degradação do solo, embora o solo esteja geralmente imóvel; estes incluem a erosão, a contaminação química e os mercados internacionais.

O valor acrescentado europeu incluiria também o facto de a legislação comum da UE beneficiar as questões do mercado interno nos casos em que alguns Estados-Membros têm políticas fortes de conservação dos solos e outros não. A legislação comum facilitaria igualmente a exportação de conhecimentos especializados e de tecnologias da UE. Os custos da inação podem ultrapassar os custos de ação no prazo de apenas alguns anos. Além disso, o custo da degradação do solo é desafiante devido tanto aos valores diretos, indiretos e os não utilizados por ainda não terem sido descobertos do solo. Outra limitação para fazer face ao custo da degradação do solo é a monitorização limitada da função do solo. Quando as diretivas abordam as funções individuais do solo, negligenciam a multifuncionalidade do solo. A utilização sustentável dos solos baseia-se frequentemente na multifuncionalidade da terra ou do solo e destina-se a manter todas as funções do mesmo.

Com efeito, as funções específicas do solo são específicas do local e dependem do potencial natural do solo para fornecer estas funções. Muitas vezes, estas funções podem ser mutuamente exclusivas, levando a situações de troca. A multifuncionalidade do solo pode perder-se quando as funções do solo são abordadas separadamente em diferentes diretivas. Uma diretiva focada exclusivamente no solo pode também ser útil no caso de novas tecnologias que afetam o solo. A legislação comum poderia proteger o solo antes que as leis específicas relacionadas com as novas tecnologias pudessem ser aprovadas. A legislação política e o planeamento que mantenham as funções não económicas do solo a longo prazo são necessárias para assegurar funções

abrangentes do solo. A legislação política poderia ser da forma de uma diretiva-quadro relativa aos solos. Esta análise sublinha que uma política europeia comum de conservação dos solos proporcionaria valor acrescentado à UE, abordando os grandes desafios sociais que a Comissão Europeia pôs em causa. Acredito que as políticas devem abordar diretamente as ameaças e funções dos solos para garantir que as ameaças e funções sejam alvo de novas práticas sustentáveis de gestão dos solos. Uma vez que a legislação em vigor não aborda diretamente as ameaças e funções dos solos, é necessária uma política europeia comum dos solos para assegurar a conservação das funções dos solos.

6. Referências Bibliográficas

- Bockheim, J. G., Gennadiyev, A. N., Hartemink, A. E., & Brevik, E. C. (2014). Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma*, 226–227(1), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.016>
- Castelo-Grande, T., Augusto, P. A., Fiúza, A., & Barbosa, D. (2018). Strengths and weaknesses of European soil legislations: The case study of Portugal. *Environmental Science and Policy*, 79(October 2017), 66–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.010>
- Chowdhury, T. R., & Dick, R. P. (2013). Ecology of aerobic methanotrophs in controlling methane fluxes from wetlands. *Applied Soil Ecology*, 65(2013), 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.014>
- Commission, E. (2012). The implementation of the Soil Thematic Strategy and ongoing activities. In *Report from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions*.
- EEA (European Environment Agency). (2014). *Progress in management of contaminated sites* (Issue Lsi 003). <https://doi.org/10.2788/4658>
- European Commission. (2006). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. *Directive (COM (2006) 232), 0086*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- European Environment Agency. (2010). EU 2010 Biodiversity Baseline. Post-2010 EU biodiversity policy. In *Baseline*.
- FAO. (2015). Soil is a non-renewable resource. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Füssel, H.-M., Jol, A., Kurnik, B., & Hemming, D. (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report. In *EEA Report*. <https://doi.org/10.2800/66071>
- Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., & Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9), 6150–6159. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1668-z>
- Machado, B. (2018). *A Conservação de Solos em Portugal Continental - Centro Experimental de Erosão de Solos de Vale Formoso*. 105.
- Martin, J., Henrichs, T., & Eea. (2015). The European Environment: State and Outlook 2015: Synthesis. In *European Environment*.
- Montanarella, L., Jones, R. J. A., & Hiederer, R. (2006). The distribution of peatland in Europe. *Mires and Peat*, 1(1), 1–10. <http://hdl.handle.net/1826/3415>

- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science and Policy*, 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- R.P.O., S., R.E., C., T., D., N., F., R., F., & C., O. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. In *Environmental Science and Policy*.
- Report, M., Mamo, T., Yemefack, M., Aulang, M. S., Yagi, K., Hong, S. Y., Vijarnsorn, P., Zhang, G. L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocá, J., Alegre, J., Henriquez, R., Mendonça-santos, M. D. L., Taboada, M., Victoria, D. E., Kazem, S., Panah, A., ... Beth, M. (n.d.). *World ' s Soil Resources*.
- Stolte, J., Tesfai, M., & Keizer, J. (2016). Soil Threats in Europe: Status, Methods, Drivers and Effects on Ecosystem Services. In *JRC Technical Reports: Soil Threats in Europe*.
- Van Den Eeckhaut, M., & Hervás, J. (2012). State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.006>
- Aquastat, 2016. FAO's Information System on Water and Agriculture
- Berendse, F., van Ruijven, J., Jongejans, E., Keesstra, S., 2015. Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. *Ecosystems* 18, 881–888. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-015-98696>.
- Blanco, H., & Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. United States of America: Springer.
- Bockheim, J.G., Gennadiyev, A.N., Hammer, R.D. & Tandarich, J.P. 2005. Historical development of keyconcepts in pedology. *Geoderma*, 124: 23-36.
- Bouma, J., 2014. Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177 (2), 111–120. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201300646>.
- Bouma, J., Broll, G., Crane, T.A., Dewitte, O., Gardi, C., Schulte, R.P.O., Towers, W., 2012. Soil information in support of policy making and awareness raising. *Curr. Opin. Sust.* 4 (5) 552–558
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3): 616–626.
- Brevik, E., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J., Six, J., Van Oost, K., 2015. The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil* 1, 117–129. <http://dx.doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>.

- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R. S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630): 253–260.
- Decock CJ, Lee M, Necpalova EIP, Pereira DM, Tendall DM, Six J. 2015. Mitigating N2O emissions from soil: from patching leaks to transformative action. *SOIL* 1: 687–694. DOI:10.5194/soil-1-687-2015.
- Decock, C., Lee, J., Necpalova, M., Pereira, E.I.P., Tendall, D.M., Six, J., 2015. Mitigating N2O emissions from soil: from patching leaks to transformative action. *Soil* 1, 687–694. <http://dx.doi.org/10.5194/soil-1-687-2015>.
- Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 119–127. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00246-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8).
- Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 119–127. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00246-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8).
- Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 119–127. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00246-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8)
- Drake, J.A., Cavagnaro, T.R., Cunningham, S.C., Jackson, W.R., Patti, A.F., 2016. Does biochar improve establishment of tree seedlings in saline sodic soils? *L. Degrad. Dev.* 27, 52–59. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2374>.
- EEA, European Environment Agency 2010. Baseline EU 2010 Biodiversity Baseline. Post-2010 EU Biodiversity Policy.
- Eliasson, A., Jones, R.J.A., Nachtergaele, F., Rossiter, D.G., Terres, J.-M., Van Orshoven, J., Van Velthuisen, H., Böttcher, K., Hastrup, P., Le Bas, C., 2010. Common criteria for the redefinition of Intermediate less favoured areas in the European Union. *Environ. Sci. Policy* 13, 766–777.
- European Commission 2006. "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for the Protection of Soil and Amending Directive 2004/35/EC." Directive (COM (2006) 232) 0086.
- European Commission 2012. Report from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions The Implementation of the Soil Thematic Strategy and Ongoing Activities.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, ITPS – Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. Füssel, Hans-Martin, A Jol, B Kurnik, and D Hemming. 2012. EEA Report Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012: An Indicator-Based Report.

- FAO 2015. "Soil Is a Non-Renewable Resource." Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2017. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/en/> (Accessed on April 2017).
- Fischer, G, Hiznyik, E, Prieler, S, Wiberg, D. 2011. Scarcity and abundance of land resources: competing uses and the shrinking land resource base. SOLAW Background Thematic Report—TR02, FAO, Rome, Italy
- Fulekar, M., Singh, A., Bhaduri, A.M., 2009. Genetic engineering strategies for enhancing phytoremediation of heavy metals. *Afr. J. Biotechnol.* 8, 529–535.
- Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B., 2003. Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Guerra, M.B.B., Schaefer, C.E.G.R., de Freitas Rosa, P., Simas, F.N.B., Pereira, T.T.C. & Pereira-Filho, E.R. 2011. Heavy metal contamination in century-old manmade technosols of Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Water, Air and Soil Pollution*, 222: 91–102.
- Hartemink, A., 2015. The definition of soil since the early 1800's. *Adv. Agron.* 137, 73–126. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.001>.
- Hatch, D., Goulding, K., Murphy, D., 2002. Nitrogen. In: Haygarth, P.M., Jarvis, S.C. (Eds.), *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. CABI, Wallingford, New York, pp. 7–18.
- Haygarth, P.M., Ritz, K., 2009. The future of soils and land use in the UK: Soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land Use Policy* 26 (Suppl. 1), S187–S197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.016>.
- Hewitt, A., Dominati, E., Webb, T., Cuthill, T., 2015. Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. *Geoderma* 241, 107–114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.014>.
- Jarvis, S.C., 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use and Management* 2, 99–105.
- Jenny, H., 1941. *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York.
- Jenny, H., 1980. *The Soil Resource, Origin and Behaviour*. Springer-Verlag, New York.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Montanarella, L., Penizek, V., Tóth, G., Van Den Eeckhaut, M., Liedekerke, M.V., Verheijen, F., Yigini, Y., 2012. The State of Soil in Europe-A Contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report—SOER 2010. Publications Office of the European Union, Luxembourg <http://dx.doi.org/10.2788/77361>
- JRC (Stolte J., Tesfai M., Øygarden L., Kværnø S., Keizer J., Verheijen F., Panagos P., Ballabio C., Hessel R.), 2015. *Soil Threats in Europe – Status, Methods, Drivers and Effects on Ecosystem Services*. EU, Luxembourg. (206

pp).

- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S., 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma* 114, 145–156. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9).
- Keesstra, S., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leistra, M., van Schaik, L., 2012. Soil as a filter for groundwater quality. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 4, 507–516. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.007>.
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., et al., 2013. Soil security: solving the global soil crisis. *Glob Policy* 4, 434–441. <http://dx.doi.org/10.1111/1758-5899.12096>
- Koster EA. 2005. *The Physical Geography of Western Europe*. Oxford University Press, Oxford.
- Martin, J, T Henrichs, and Eea. 2015. *European Environment the European Environment: State and Outlook 2015: Synthesis*.
- Mateo-Sagasta, J., Burke, J., 2011. Agriculture and water quality interactions: a global overview. SOLAW Backgr. Themat. Rep. - TR08.
- McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213, 203–213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013>.
- McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., Vervoort, R.W., 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma* 109 (1–2), 41–73. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00139-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00139-8).
- MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press
- Meneses, B. M. (2013). Análise das alterações do uso e ocupação do solo no Vale do Varosa (Portugal) mediante imagens Landsat-TM e sua influência na conservação do solo. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (13_1), 270-290.
- Montanarella, L., et al., 2016. World's soils are under threat. *Soil* 2, 79–82. <http://dx.doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>.
- Nicholson, E., Mace, G. M., Armsworth, P. R., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T., Ewers, R. M., Fa, J. E., Gardner, T. a., Gibbons, J., Grenyer, R., Metcalfe, R., Mourato, S., Muûls, M., Osborn, D., Reuman, D. C., Watson, C., & Milner-Gulland, E. J. (2009). Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology*, 1139–1144.
- O'Mara, F., 2012. The role of grasslands in food security and climate change. *Ann. Bot.* 110 (6), 1263–1270.
- Panagos, Panos; Imeson, Anton; Meusburger, Katrin; Borrelli, Pasquale; Poesen, Jean; Alewell, Christine (2016). Soil Conservation in Europe: Wish or Reality? *Land Degradation & Development*, 27(6), 1547–1551.

doi:10.1002/ldr.2538

- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., van der Bijl, G., 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems* 65, 113–136.
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57, 1017–1023. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57, 1017–1023. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erj108>.
- Reyers, B., Polasky, S., Tallis, H., Mooney, H. A., & Larigauderie, A. (2012). Finding common ground for biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 62(5): 503–507.
- Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & O'hUallachain, D. (2014). Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture.
- Singh, K., Trivedi, P., Singh, G., Singh, B., Patra, D.D., 2016. Effect of different leaf litters on carbon, nitrogen and microbial activities of sodic soils. *L. Degrad. Dev.* 27, 1215–1226. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2313>.
- Smith, P., Cotrufo, M.F., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P.J., Elliott, J.A., McDowell, R., Griffiths, R.I., Asakawa, S., Bustamante, M., House, J.I., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P.C., Gerber, J.S., Clark, J.M., Adhya, T., Scholes, R.J., Scholes, M.C., 2015. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil* 1, 665–685. <http://dx.doi.org/10.5194/soil-1-665-2015>.
- Smolka, Susanne (2012): The European Union's New Regulation on biocides. PAN Germany (Pesticide Actions-Network e.V.), available online at http://www.pan-germany.org/download/biocides/new_european_regulation_on_biocides.pdf.
- Sparks, D.L., 2003. *Environmental Soil Chemistry*, second edition. Academic Press.
- van Beek, C.L., Tóth, G. (Eds.), 2012. *Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe*, JRC Scientific and Policy Reports EUR. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg <http://dx.doi.org/10.2788/47096>.
- Van Den Eeckhaut, Miet, and Javier Hervás 2012. "State of the Art of National Landslide Databases in Europe and Their Potential for Assessing Landslide Susceptibility, Hazard and Risk." *Geomorphology*.
- Van der Putten, W.H., Anderson, J.M., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Bignell, D.E., Brown, G.G., Brown, V.K., Brussaard, L., Hunt, H.W., Ineson, P., Jones, T.H., Lavelle, P., Paul, E.A., St John, M., Wardle, D.A., Wojtowicz, T. & Wall, D.H. 2004. The sustainable services provided by soil biota. In D.H. Wall, ed. *Sustaining biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments*, pp. 15-43. San Francisco, Island Press.

Wienhold, B.J., Andrews, S.S., Karlen, D.L., 2004. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environ. Geochem. Health* 26, 89–95.

Young, J., Udeigwe, T., Weindorf, D., Kandakji, T., Gautam, P., Mahmoud, M., 2015. Evaluating management-induced soil salinization in golf courses in semi-arid landscapes. *Solid Earth* 6, 393.

<https://eur-lex.europa.eu/browse/summaries.html>