



Áreas ardidadas e risco de erosão potencial em zonas de montanha do NE Portugal

Aline Cavalli

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

Orientado por:

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

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

Professora Doutora Juliana Bortoli Rodrigues Mees (UTFPR-MD)

Bragança

2017

**Áreas ardidadas e risco de erosão potencial em zonas de
montanha do NE Portugal**

Aline Cavalli

Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo

Felícia Maria da Silva Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

Bragança, fevereiro, 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me fortalece no dom da fé, me mostrando como seguir o caminho com força sem me deixar desanimar.

Agradeço as universidades que me acolheram e a todos os professores que de alguma forma me auxiliaram nessa busca de conhecimento e abriram portas para o meu futuro. Em especial a meu orientador Prof. Dr. Tomás D' Aquino Rosa de Figueiredo, pelo conhecimento transmitido, opiniões e críticas, pela colaboração em solucionar dúvidas e problemas que surgiram ao longo da realização do trabalho, além da amizade e palavras de incentivo. As minhas co-orientadoras Profa. Felícia Maria da Silva Fonseca, Profa. Dra. Juliana Bortoli R. Mees e também ao Eng. Arsénio Araújo pela ajuda e disponibilidade.

Agradeço a minha família pelo apoio, dedicação debruçada a meus objetivos, por sempre ficarem felizes com minhas conquistas, além de todo o suporte e amor. Tendo consciência da importância, dirijo um agradecimento especial a meus pais Marivanda e Jorge Cavalli, por serem modelos de coragem, deixando os medos de lado para poderem sempre me incentivar em minhas escolhas, pela paciência e compreensão, além de total ajuda na superação dos obstáculos que surgiram ao longo desta caminhada. Também ao meu irmão Cristian Cavalli e minha querida prima Roziane Tramontini, por sempre torcerem por mim e me ensinarem a ser uma pessoa melhor mesmo muitas vezes sem perceber.

Agradeço a família Fronza, por todo o carinho e ajuda desde o primeiro dia que me conheceram. Em especial ao Fábio Luiz Fronza, que sempre me apoiou e dedicou-se a me ajudar quando precisei, contribuindo não apenas em minha vida profissional mas também no meu crescimento pessoal.

Agradeço as minhas melhores amigas, Ana Luiza Peretti e Maluza Spaniol, por sempre estarem ao meu lado mesmo de longe, me aconselhando, consolando, alegrando, além de sempre torcerem pela minha felicidade.

Agradeço os meus amigos que conquistei durante minha caminhada pela universidade no Brasil, Juan Pablo Frota, Patrícia Marmentini, Flávia Miyamoto, Eduardo Ziglioli, Paula Remor, Leonardo C. Fürst e Mateus M. Pituco, pela colaboração na elaboração de trabalhos e no entendimento dos conteúdos das disciplinas, além de trazer alegria nos momentos de muita pressão e desespero. Em especial aos últimos três nomes, que além da amizade dedicada se tornaram um suporte familiar aqui em Portugal.

E por último mas não menos importante, agradeço também aos meus amigos adquiridos nessa fase maravilhosa de intercâmbio, Gabriella Ornelas, Fabiana Hoffmann, Grabiele Abellonio, Lucas Almeida, Luiz Miguel G. Lopes, Natália Fereguetti e Maria Clotilde C. Neta, pelos ótimos momentos proporcionados, apoio e amizade nesse período de tantas dificuldades.

A todos o meu muito obrigado.

RESUMO

A erosão do solo é um dos problemas ambientais mais sérios relacionados com a gestão da terra em todo o mundo. Trata-se de um processo natural acelerado por atividades antropogénicas como o desmatamento, práticas agrícolas, entre outras. Dentre os diversos tipos de erosão do solo a que apresenta maior importância e influência para a degradação do solo é a erosão hídrica, em particular no NE de Portugal. A região compreende extensas zonas de montanha especialmente sensíveis face às condições topográficas favoráveis e aos solos geralmente delgados e pedregosos, além de sofrer persistente ocorrência de incêndios florestais que ocasionam a remoção da cobertura vegetal protetora do solo, expondo-o ainda mais à ação das chuvas. Este trabalho, focado no Distrito de Bragança, baseou-se na informação sobre a ocorrência de incêndios disponível de 1990 a 2015 (ICNF) e na Carta dos solos e da aptidão da terra do NE de Portugal. O trabalho visou quantificar a distribuição dos solos, da aptidão da terra e das condições de erosão nas áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança, utilizando estimativas dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (USLE). No período analisado, o Distrito foi afetado por incêndios em 24% da sua área, queimando matos (70%) e floresta (20%). Os solos nestas áreas são maioritariamente delgados (Leptosolos, 90%), de aptidão nula ou marginal para usos agrícola (77% e 22%, respetivamente) e florestal (65% e 21%, respetivamente). A recorrência dos incêndios situa-se predominantemente aos 4 anos, seguindo-se o período de 7 e 9 anos, sendo que a maior extensão reardida ocorreu com um intervalo de recorrência de 6 anos. Na sua grande maioria, os resultados da avaliação da suscetibilidade do solo à erosão hídrica foram superiores a $10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, o que classifica esses ambientes em risco de erosão severa. Os incêndios afetam áreas marginais, em boa parte de solos já em risco de degradação, nas quais, deste modo, o processo de recuperação é a cada ocorrência interrompido e em seguida recomeçado com progressivamente mais limitações.

Palavras-chaves: Erosão do solo; Áreas Ardidas; Mudanças no uso da terra; NE de Portugal.

ABSTRACT

Soil erosion is one of the most serious environmental problems related to land management in the world. It is a natural process accelerated by anthropogenic activities such as deforestation, agricultural practices, among others. Between the several types of soil erosion that have the greatest importance and influence for soil degradation are water erosion, particularly in the NE of Portugal. The region comprises extensive mountain areas, which are particularly sensitive to favorable topographic conditions and to generally thin and stony soils, as well as to the persistent occurrence of forest fires that cause the removal of protective cover from the soil, further exposing it to rainfall. This work, focused on the District of Bragança, was based on information on the occurrence of fires available from 1990 to 2015 (ICNF) and on *Carta dos solos e da aptidão da terra do NE de Portugal*. The objective of this work was to quantify the soil distribution, soil suitability and erosion conditions in the areas burned in the last 26 years in the District of Bragança, using estimates of the factors of the Universal Soil Loss Equation (USLE). In the analyzed period, the district was affected by fire in 24% of its total area, grove (70%) and forest (20%). The soils in these areas are mainly of little thickness (Leptosols, 90%), null or marginal aptitude for agricultural use (77% and 22%, respectively) and forest (65% and 21% respectively). The recurrence of fires was dominant at 4 years, followed by the period of 7 and 9 years, and the largest extension that returned to the burn occurred with a recurrence interval of 6 years. For the most part, the results of assessing soil susceptibility to water erosion were greater than 10 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$, which classifies these environments as being at risk of severe erosion. Fires affect marginal areas, most of the soils already at risk of degradation, in which the recovery process is interrupted every time and then restarted with great limitations.

Keywords: Soil erosion; Burnt Areas; Changes in land use; NE of Portugal.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 SOLO	3
2.1.1 Composição e perfil do solo	3
2.1.2 Qualidade e propriedades do solo	5
2.2 DEGRADAÇÃO DO SOLO E SUSCETIBILIDADE DO TERRITÓRIO	6
2.3 EROSÃO E EROSÃO HÍDRICA DO SOLO: PROCESSOS E ESTIMATIVAS	7
2.4 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO EM ÁREAS ARDIDAS	9
2.5 PROTEÇÃO DO SOLO CONTRA A EROSÃO E TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO	11
2.6 MUDANÇAS NO USO DA TERRA, ÁREAS ARDIDAS E DEGRADAÇÃO DO SOLO NO NE DE PORTUGAL	13
3 METODOLOGIA	15
3.1 ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA METODOLOGIA	15
3.2 ÁREAS ARDIDAS	16
3.2.1 Fonte e períodos de análise	16
3.2.2 Critérios de tratamento dos dados	17
3.2.3 Análise estatística dos dados	18
3.3 ÁREAS REINCIDENTES A QUEIMADA.....	19
3.4 RECURSO PEDOLÓGICOS DAS ÁREAS ARDIDAS	19
3.5 ESTIMATIVA DO RISCO DE EROSÃO PARA AS ÁREAS ARDIDAS	20
3.5.1 Fator erosividade, índice de aridez e zonas climáticas.....	21
3.5.2 Fator Erodibilidade e unidades de solo dominante.....	23
3.5.3 Fator topográfico	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 ÁREAS ARDIDAS	29
4.1.1 Número de ocorrências e área total ardida	29
4.2 RECURSOS PEDOLÓGICOS NAS ÁREAS QUEIMADAS	33
4.2.1 Unidades solo principais	33
4.2.2 Características dos solos nas áreas ardidas e aptidão da terra	34
4.3 RECORRÊNCIA DE INCÊNDIOS E ÁREA ARDIDA	36

4.4 ESTIMATIVA DE PERDAS POTENCIAIS DE SOLO NAS ÁREAS ARDIDAS	39
4.4.1 Fator R.....	39
4.4.2 Fator K	40
4.4.3 Fator S	41
4.4.4 Produto RK e RKS	42
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Horizontes do solo.....	4
Figura 2 - Degradação do solo	7
Figura 3 - Erosão laminar (A). Erosão em sulco (B). Erosão em voçoroca ou ravina (C).....	8
Figura 4 - Distribuição da suscetibilidade à desertificação no NE Portugal (com base no Índice de Aridez - IA, 2000 – 2010).....	13
Figura 5 - Área de estudo: O Distrito de Bragança, Nordeste de Portugal e seus municípios	15
Figura 6 - Áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança	16
Figura 7 - Classificação Clima regional adotado	22
Figura 8 - Classificação das unidades pedológicas classificadas com predominancia das áreas atingidas	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Nº de ocorrências e área total ardida por classe de área, sublinhando o carácter residual dos registos de áreas ardidas com menos de 0,1 hectares	18
Gráfico 2 - Área total ardida e número de incêndios entre 1990 e 2015	29
Gráfico 3 - Distribuição ao longo do ano das áreas ardidas	30
Gráfico 4 - Uso da terra anterior ao incêndio	32
Gráfico 5 - Principais unidades de solo das regiões queimadas do NE Portugal	33
Gráfico 6 - Litologia do solo das áreas queimadas	34
Gráfico 7 - Características dos solos em áreas incendiadas: A. Espessura do solo; B. Carência de água no solo; C. Pedregosidade (% Elementos grosseiros); D. Declive dominante do terreno ..	35
Gráfico 8 - Classe de aptidão para o uso da terra em áreas ardidas no Nordeste de Portugal.....	36
Gráfico 9 - Número de recorrência de um incêndio e a área total reardida.....	37
Gráfico 10 - Percentagem da área total reardida relativamente aos intervalos de recorrências ..	38
Gráfico 11 - Áreas máximas e médias reardidas em cada intervalo de recorrência.....	38
Gráfico 12 - Percentagem de áreas queimadas por classe de classificação do valor de K e Keg	41
Gráfico 13 - Dispersão de RK por zonas climáticas e percentagem de área acumulada.....	44
Gráfico 14 - Dispersão de RKS global pela percentagem de área acumulada das áreas ardidas estudadas	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de estimativa da erosividade de acordo com a classe de precipitação	21
Tabela 2 - Classes de índice de aridez e zonas climáticas da carta de solos de NE Portuga.....	23
Tabela 3 - Classificação do fator de erodibilidade (Fator K)	25
Tabela 4 - Principais unidades de solos dominantes nas áreas ardidas por classe de Índice de Aridez.....	26
Tabela 5 - Classe dominante e suas declividades.....	27
Tabela 6 - Classe de declive das áreas estudadas.....	28
Tabela 7 - Zona climática, precipitação e fator R de acordo com o índice de aridez.....	39
Tabela 8 - Fator K na terra fina e corrigido com elementos grosseiros (EG) por classe de índice de aridez e unidade de solo	40
Tabela 9 - Fator S de acordo com o declive médio e índice de aridez	42
Tabela 10 - Fator RK e RKS de acordo com o índice de aridez e unidade de solo dominante...	43

1 INTRODUÇÃO

A erosão é uma das ameaças mais importantes ao recurso solo em Portugal, colocando em risco de degradação áreas consideráveis, o que é muito evidente no NE Transmontano, com extensas zonas de montanha particularmente sensíveis face às condições topográficas favoráveis (Figueiredo et al., 2013) e aos solos geralmente delgados e pedregosos, que espelham bem a ação persistente dos processos de erosão hídrica (Alexandre, 2015).

Além dessas características, as mudanças no uso da terra crescentes no país propiciam a reestruturação da vegetação, que muitas vezes pode não executar sua função apenas de uma forma positiva como a proteção eficaz do solo, mas servir como combustível potenciador na ocorrência de incêndios florestais, devido ao acúmulo de biomassa juntamente com o clima seco e quente da região.

Os incêndios florestais ocasionam um agravamento nos processos erosivos do solo, já que removem a cobertura vegetal protetora, além de ocasionar a perda de grande parte da matéria orgânica presente. Esse processo acaba reduzindo a capacidade do solo para armazenar água e nutrientes, acarretando uma redução da profundidade cultivável e fertilidade do solo, prejudicando a resistência e resiliência do solo, resultando em condições mais propensas à seca (Alexandre, 2015; Hudson, 1981; Morgan, 2005). Outro fator de agravamento das condições potenciais de degradação do solo pós-fogo diz respeito a algumas situações em que os resíduos gerados pela queima podem causar repelência do solo à água acentuando ainda mais o escoamento e a erosão (Neary et al., 2005).

Essa erosão pode ser estimada, utilizando alguns modelos de avaliação de perda de solo. Um modelo bastante comum é o que foi desenvolvido por Wischmeier & Smith (1978), denominado Universal Soil Loss Equation – USLE, em que calcula a perda de solo por unidade de área expressa de acordo com as características dos fatores integrantes da equação, retratado pelo peso do solo por unidade de área do local.

Deste modo, o trabalho tem como objetivo analisar as áreas aridas no Distrito de Bragança, NE Portugal, durante o período de 1990 a 2015, avaliando a ocorrência e magnitude dos incêndios florestais e suas recorrências, os recursos pedológicos e aptidão da terra, além de estimar as perdas potenciais de solo e suas consequências para a degradação do recurso solo na região.

Após este capítulo introdutório, em que são apresentados os objetivos do estudo, a proposta de dissertação desenvolve-se em quatro capítulos, iniciando por um referencial bibliográfico abrangendo os tópicos degradação do solo e mudanças no uso da terra. Em sequência apresentam-se a metodologia utilizada e, nesta fase, os resultados e sua discussão, seguindo da conclusão, finalizando com a lista de referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOLO

2.1.1 Composição e perfil do solo

O solo é composto por quantidades variáveis de partículas minerais, matéria orgânica, ar e água. As combinações e quantidade desses elementos produzem uma gama de propriedades físicas, químicas e biológicas. Contudo, essas propriedades não são aleatoriamente distribuídas, mas ocorrem em um arranjo ordenado de camadas horizontais, os horizontes, que formam o perfil do solo (Neary et al., 2005).

Um solo muito evoluído pode apresentar cinco tipos de horizonte. Esses são representados pelas letras: O, A, E, B e C, nesta sequência, do mais superficial ao mais profundo, como ilustrado na Figura 1. Caso o solo não apresente todos estes horizontes, principalmente o horizonte B, é considerado “pouco evoluído”, já que que o horizonte B é de grande importância na evolução do solo (Lepsch, 2010).

O horizonte O representa os compostos orgânicos resultantes de acumulações de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, depositados superficialmente. Em áreas encharcadas essa camada é denominada horizonte H (Santos et al., 2013).

No horizonte A podemos encontrar a camada mineral mais próxima da superfície, que consiste na acumulação de matéria orgânica parcialmente e totalmente humificada. Esta camada apresenta aparência escura devido a quantidade de húmus, elemento de grande importância para a formação de agregados que contribuem para a estrutura do solo favorecendo a formação dos poros que facilitam a movimentação de ar e água (Lepsch, 2010). A presença da matéria orgânica nessa camada também desempenha um papel central no ciclo e disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Neary et al., 2005).

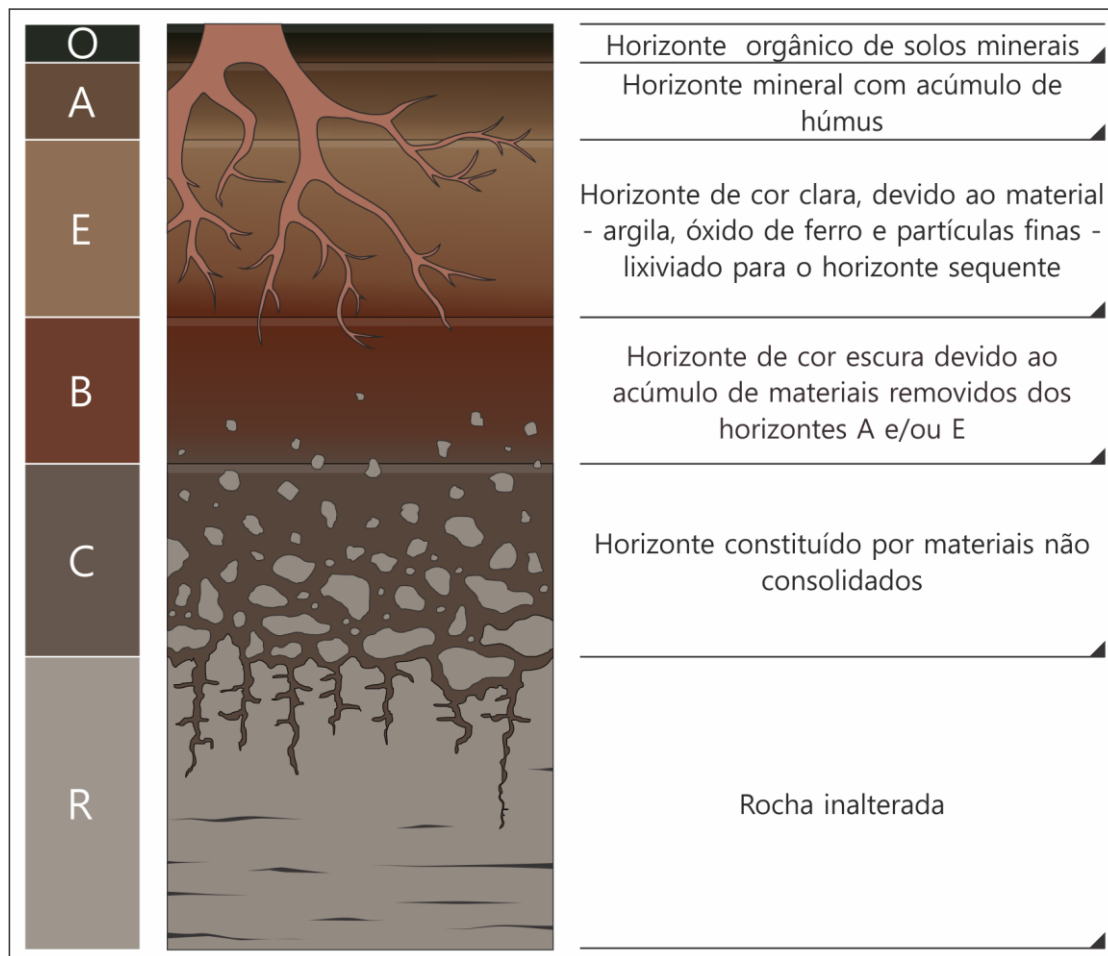


Figura 1 - Horizontes do solo
Fonte: Adaptado de Lepsch (2010)

O símbolo E representa a camada de solo mineral comumente subsuperficial, no qual a ocorrência da translocação de material coloidal mineral e orgânico para o horizonte B progrediu a tal ponto que a cor do horizonte é determinada principalmente pela cor das partículas primárias de areia e limo (Santos et al., 2013; Singer & Munns, 1945).

Caso não tenha sido exposto pela erosão do solo, abaixo do horizonte A e E, encontra-se o horizonte B. Conhecido por apresentar o máximo desenvolvimento de cor, devido a retenção dos nutrientes iluviados dos horizontes superiores (Lepsch, 2010).

Em seguida, acima da Rocha não alterada, quando exista (simbolizada pela letra R), podemos encontrar o horizonte C que corresponde ao material pouco modificado pelos processos de formação do solo, com características mais próximas do material litológico na origem da sua formação (Singer & Munns, 2002).

2.1.2 Qualidade e propriedades do solo

A qualidade do solo pode ser definida como o potencial do solo em sustentar a produtividade biológica, promover a saúde das plantas e animais, além de manter ou melhorar a qualidade do ar e da água dentro de um ecossistema, prevenindo a degradação do solo (Gardi et al., 2002). A qualidade do solo pode ser avaliada usando uma gama de parâmetros relacionados com as propriedades físicas, químicas e biológicas, dependendo da escala e do objetivo da avaliação (Wilson & Kordybach, 1997). Algumas propriedades físicas são de grande relevância para a avaliação da qualidade do solo. Uma delas é a textura, já que as dimensões das partículas fornecem informações sobre as características do solo (Reinert & Reichert, 2006), de mais argiloso, com partículas de menor dimensão e propriedades físico-químicas distintas do arenoso, com partículas de maior dimensão (Lopes, 1978).

A estrutura e estabilidade dos agregados também são relevantes para a qualidade do solo, já que estes parâmetros são responsáveis pela relação do agrupamento e organização das partículas do solo em agregados, bem como com a resistência à desagregação dessas partículas quando são submetidos a forças externas como as práticas agrícolas e impactos ocasionados pelas gotas das chuvas ou forças internas relacionadas com a compressão de ar, expansão/contração que tendem a desagregá-los (Reinert & Reichert, 2006; Wilson & Kordybach, 1997).

Outro fator é a porosidade do solo onde se desenvolvem os mecanismos de retenção e fluxo de água e ar. Dependendo a classe dos poros, a porosidade possui grande importância no crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo, taxa de infiltração e condutividade hidráulica (Reinert & Reichert, 2006; Wilson & Kordybach, 1997).

No que diz respeito aos atributos químicos úteis do solo, o pH, saturação de bases, disponibilidade de nutrientes, condutividade elétrica, elementos ou compostos potencialmente tóxicos são amplamente aceitos como importantes para avaliar a qualidade do mesmo. Pois, alterações no pH do solo, na saturação da base e na disponibilidade de nutrientes podem ocasionar a degradação do solo por acidificação e perda de nutrientes (Wilson & Kordybach, 1997).

Vários atributos biológicos do solo são sugeridos como indicadores de qualidade, como o quantidade e conteúdo de matéria orgânica, respiração do solo,

carbono de biomassa microbiana, nitrificação, entre outros. Contudo o que apresenta maior influência é o teor de matéria orgânica, uma vez que se relaciona fortemente com a perda de qualidade do solo, já que sua presença também atua nas qualidades físicas e químicas do solo, sendo um elemento de grande influência na proteção a degradação do solo (Wilson & Kordybach, 1997).

2.2 DEGRADAÇÃO DO SOLO E SUSCETIBILIDADE DO TERRITÓRIO

O solo é um recurso natural não renovável, que desempenha inúmeras funções para as atividades humanas e a sobrevivência dos ecossistemas. O recurso solo é um bem de interesse comum, que se não for protegido irá afetar a sustentabilidade a longo prazo das comunidades humanas (COM, 2006), já que quando ocorre a degradação do solo, a capacidade de sustentar a produção primária diminui, juntamente com a resiliência e a resistência dos ecossistemas a eventos extremos (Alexandre, 2015).

De acordo com a proposta da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu em 2006, nas últimas décadas verificou-se um aumento significativo nos processos de degradação do solo. Isso torna-se bastante preocupante uma vez que a degradação do solo pode ter implicações sobre todo o meio ambiente, como é o caso da contaminação de recursos hídricos subterrâneos e superficiais e da eutrofização de rios, lagos e açudes (Alexandre, 2015), além de efeitos sobre a saúde humana, sobre a proteção da natureza e da biodiversidade e sobre a segurança alimentar (COM, 2006).

Os processos de degradação do solo são os mecanismos responsáveis pelo declínio da sua qualidade (Blum, 1997), apresentando forte relação com a desertificação (Figura 2) (Alexandre, 2015).

Como se pode observar na Figura 2, a perda de matéria orgânica e a erosão tendem a reduzir a capacidade do solo para armazenar água e nutrientes, ocasionando uma redução da profundidade cultivável e fertilidade do solo, prejudicando a resistência e resiliência do solo, resultando em condições mais propensas à seca (Alexandre, 2015; Hudson, 1981; Morgan, 2005).



Figura 2 - Degradação do solo
Fonte: Alexandre (2015).

2.3 EROÇÃO E EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO: PROCESSOS E ESTIMATIVAS

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

Segundo Zachar (1982) podemos classificar a erosão do solo em glacial, eólica, gravitacional, da neve, orgânica e hídrica. Dentre estas, a que apresenta maior importância e influência para a degradação do solo é a erosão hídrica (Laflen & Roose, 1997; Morgan, 2005).

A erosão hídrica engloba a destruição da superfície terrestre por gotas de chuva e por águas fluviais e não fluviais, subterrâneas e pelas águas do mar (Zachar, 1982). A topografia do terreno também influencia no grau de erosão devido a implicação na

velocidade de escoamento (Panagos et al., 2015). A erosão causada pela chuva processa-se de duas formas distintas: primeiro ocorre a destruição dos agregados do solo quer pelo impacto das gotas da chuva, quer pela água de escoamento superficial, a qual em seguida promove o transporte dessas partículas destacadas (Lepsch, 2010).

Segundo Morgan (2005) existem três tipos de erosão hídrica mais conhecidos, que são:

- **Laminar:** Conhecida por ser um arrastamento superficial desenvolvido quando as partículas superficiais do solo, junto com os nutrientes e solutos, começam a ser removidos pela ação da água. Esta forma de erosão é de grande abrangência, porém de complicada visualização, devido ao fato de apenas ser removida uma camada fina da superfície do solo (Figura 3 – A) (Morgan, 2005; Blanco & Lal, 2008)
- **Sulcos:** Esse tipo de erosão inicia-se principalmente por irregularidades no terreno, como pequenos canais, que devido à concentração de chuvas, faz com que a água se concentra nessas fissuras ocasionando o arraste de material provocando a formação dos sulcos (Figura 3 – B) (Osman, 2014; Morgan, 2005).
- **Voçorocas (BR) ou Ravinas (PT):** Já a erosão por voçorocas, representa um estágio avançado da erosão em sulcos. Pois os canais apresentam-se relativamente grandes e de difícil recuperação (Figura 3 – C) (Blanco & Lal, 2008; Lepsch, 2010).



Figura 3 - Erosão laminar (A). Erosão em sulco (B). Erosão em voçoroca ou ravina (C)
Fonte: Adaptado de Osman (2014).

Existem alguns modelos de avaliação de perda de solo por erosão mais desenvolvidos como Revised Universal Soil Loss Equation 2 - RUSLE2; Water Erosion Prediction Project – WEPP e o European Soil Erosion Model – EUROSEM. Por serem modelos detalhados, em parte de base física, permitindo estimativas de perda de solo

por chuvada, requerem uma grande gama de informações (Morgan, 2005). Em contrapartida, um modelo empírico bastante utilizado, requerendo uma quantidade menor de informações sobre a área estudada é a Universal Soil Loss Equation – USLE, que foi desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978). Neste caso, a perda de solo é estimada para condições médias de longo prazo, obtendo-se a quantidade de solo erodido em média por ano. As estimativas de perda de solo são habitualmente expressas em toneladas por hectare (massa de solo por unidade de área).

2.4 EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO EM ÁREAS ARDIDAS

Nas zonas mediterrâneas existem dois fatores naturais que intensificam os incêndios, o clima e a vegetação. O clima nesses ambientes apresenta discordância sazonal e uma grande variabilidade entre os anos. A precipitação concentra-se principalmente no outono, muitas vezes em alguns episódios muito erosivos, e também na primavera. O verão é bastante seco deixando o clima, solo e vegetação com baixa humidade, tornando as áreas verdes altamente inflamáveis, intensificando a problemática dos incêndios florestais (Molina & Sanroque, 1996).

Os efeitos do fogo sobre os solos só podem ser avaliados quando se possui o entendimento da importância da matéria orgânica no funcionamento e sustentabilidade dos ecossistemas. Embora a matéria orgânica se concentre na superfície do solo, sua presença possui grande importância para o bom funcionamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio (Cerdeira & Robichaud, 2009). Segundo Cerdeira & Robichaud (2009), ecologicamente a matéria orgânica desempenha três papéis principais:

- Nas funções físicas onde atua na criação e estabilização de agregados do solo. Auxiliando na obtenção de um solo poroso e bem estruturado, essencial para o movimento de água, ar e nutrientes através dos solos.
- Quimicamente, em que regula o ciclo biogeoquímico de nutrientes, fornecendo um meio ativo para sustentar numerosas transformações químicas e biológicas. Desempenhando um papel fundamental na produtividade das plantas.
- Nas questões biológicas, no qual apresenta grande importância ao fornecer a principal fonte de energia para os microrganismos do solo.

Os microrganismos estão envolvidos em quase todos os processos responsáveis pela ciclagem e disponibilidade de nutrientes, tais como formas, mineralização e fixação de nitrogênio, ou azoto (N).

A transferência de calor no solo durante um incêndio acarreta o aumento da temperatura do solo afetando as propriedades físicas, químicas e biológicas do meio. A característica mais afetada em um incêndio é a possível destruição de componente da matéria orgânica (Moreira et. al., 2010).

O efeito do fogo na matéria orgânica dos solos tem consequências diferenciadas, mas resultados similares para os processos erosivos, de acordo com a textura do solo. Para os solos argilosos a perda de estrutura aumenta a densidade do solo e reduz a sua porosidade devido ao impacto direto das gotas de chuva, tornam-se duros, dificultando a penetração da água, resultando em escoamento e erosão pós-fogo muito maiores (Moreira et. al., 2010; Neary et al., 2005; Schumacher et. al, 2005). Já os solos arenosos se tornam extremamente quebradiços, perdendo o poder de retenção de água, o que os torna facilmente erodíveis pela água das chuvas (Schumacher et al., 2005).

Embora o calor seja transferido no solo por vários mecanismos, o seu movimento por vaporização e condensação é o mais importante. Quando as substâncias orgânicas são movidas para baixo no solo por vaporização e condensação podem causar uma condição de solo repelente à água que acentua ainda mais o escoamento e a erosão pós-fogo. A repelência à água acelera o escoamento pós-fogo, podendo criar extensas redes de erosão superficial (Neary et. al., 2005).

Além disso Neary et al.(2005) acrescentam que quando a matéria orgânica é queimada, os nutrientes armazenados são volatilizados ou se transformam em elementos mais simples que podem ser facilmente absorvidos por organismos microbianos e vegetação. Além disso, os nutrientes disponíveis não imobilizados são facilmente perdidos por lixiviação ou escoamento superficial, ocasionando o empobrecimento do solo.

2.5 PROTEÇÃO DO SOLO CONTRA A EROÇÃO E TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO

O uso indevido do solo pode agravar intensamente o nível de degradação do solo por erosão e por este motivo Lepsch (2010) refere a importância da utilização de práticas conservacionistas do solo a fim de manter um equilíbrio entre as atividades humanas e o meio ambiente.

De acordo com Osman (2014) o controle da erosão hídrica baseia-se em alguns princípios:

- Redução do impacto das gotas de chuva: Conseguído através da cobertura do solo, com o dossel denso das florestas, a presença de serapilheira nos solos desencapados, pode fornecer a proteção necessária de encontro ao impacto da gota de chuva.
- Estabilização de agregados de solos: que seriam os solos supridos com matéria orgânica suficiente. A agregação desses componentes melhora a porosidade e a infiltração, reduzindo o escoamento.
- Redução da velocidade de escoamento: Essa velocidade pode ser reduzida modificando o grau e o comprimento da inclinação através de terraços e valados. Pois quando a velocidade de escoamento é reduzida, a taxa de infiltração aumenta.
- Perturbação mínima do solo: O preparo do solo o deixa mais erodível. Desta forma, os sistemas de preparo conservacionistas, incluindo plantio direto, preparo mínimo são práticos eficientes de conservação.
- Prevenção da concentração de água de escoamento nos canais: Nivelamentos de cotas previamente desenvolvidas, manutenção de resíduos de culturas no campo impedem a concentração de água de escoamento.
- Manutenção regular das medidas de controlo da erosão. As práticas de controlo da erosão precisam ser mantidas regularmente para assegurar a sua funcionalidade e eficácia.

A tolerância à perda de solo é um conceito operacional central na proteção do Solo contra a erosão. Essa tolerância busca definir o limite até qual taxa de perda de

solo é aceitável, afim de manter a produtividade, sustentabilidade e impacto ambiental mínimo (Figueiredo & Fonseca, 2009).

Teoricamente, a erosão do solo deve ser mantida a uma taxa igual ou inferior à taxa natural em que o novo solo se forma (Morgan, 2005), a fim de garantir que o equilíbrio das partículas nunca seja negativo em um certo tempo. Reconhece a dificuldade de estimar as taxas de formação do solo visto que o tempo do processo é geralmente lento. O valor de tolerância é dependente de fatores como a profundidade, a textura, o uso e cobertura que determinam a taxa de solo removido por erosão (Figueiredo & Fonseca, 2009; Morgan, 2005).

Entre tanto, estima-se que a taxas de formação do solo variam de 0,01 a 7,7 mm de profundidade equivalente do solo por ano (Figueiredo & Fonseca, 2009; Morgan, 2005). Segundo Figueiredo & Fonseca (2009) um valor médio de formação do solo que pode ser assumido é 0.1 mm.y^{-1} , em que isso corresponde aproximadamente a $1 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{y}^{-1}$.

Na prática, a taxa máxima de perda de solo admissível que mantém a produtividade do solo no médio a longo prazo também depende da possibilidade de aumentar a profundidade do solo e manter a produtividade do solo em níveis aceitáveis através de práticas agrícolas (Figueiredo & Fonseca, 2009). Deste modo, é recomendado por Arnoldus (1977) e Morgan (2005) conceber como valores aceitáveis de perda de solo de $2 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{y}^{-1}$ e de $10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{y}^{-1}$ como valores críticos para solos com substrato não renovável e renovável, respetivamente.

Os dois limiares mencionados são utilizados para definir classes de risco de erosão real. Desta forma, considera-se que abaixo de $2 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{y}^{-1}$, todos os solos, tanto os mais delgados ou profundos, estão perdendo solo a uma taxa aceitável, o que significa que o risco de erosão é baixo. Contudo acima de $10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{y}^{-1}$, mesmo os solos mais profundos estão perdendo material a uma taxa superior ao aceitável, classificando o ambiente a um risco severo de erosão. Porém, entre os dois limites, o risco de erosão pode ser considerado moderado, pois para solos mais delgados o risco é alto, mas para os mais profundos é considerado baixo (Figueiredo & Fonseca, 2009).

2.6 MUDANÇAS NO USO DA TERRA, ÁREAS ARDIDAS E DEGRADAÇÃO DO SOLO NO NE DE PORTUGAL

Para a maioria dos solos, a principal consequência in loco da escorrência e erosão do solo é a degradação geral da terra, em que esse risco se potencializa de acordo com o clima, as características do solo e as mudanças profundas no uso da terra e as más práticas de manejo de terras ocorridas no passado recente (Boardman & Poesen, 2006).

O Distrito de Bragança, na Região Norte de Portugal, é a divisão administrativa de maior representação de áreas suscetíveis à desertificação no Norte do país (Figura 4), situação esta que é exacerbada genericamente por mudanças no uso da terra, já que esta atividade acentua a ocorrência de incêndios florestais, devido ao crescimento de matos ocasionando a acumulação de biomassa (Boardman & Poesen, 2006), neste caso especificamente permitindo a progressão da degradação do solo por erosão, processo caracterizado como a principal ameaça ao recurso solo nesta região (Figueiredo et al., 2014).

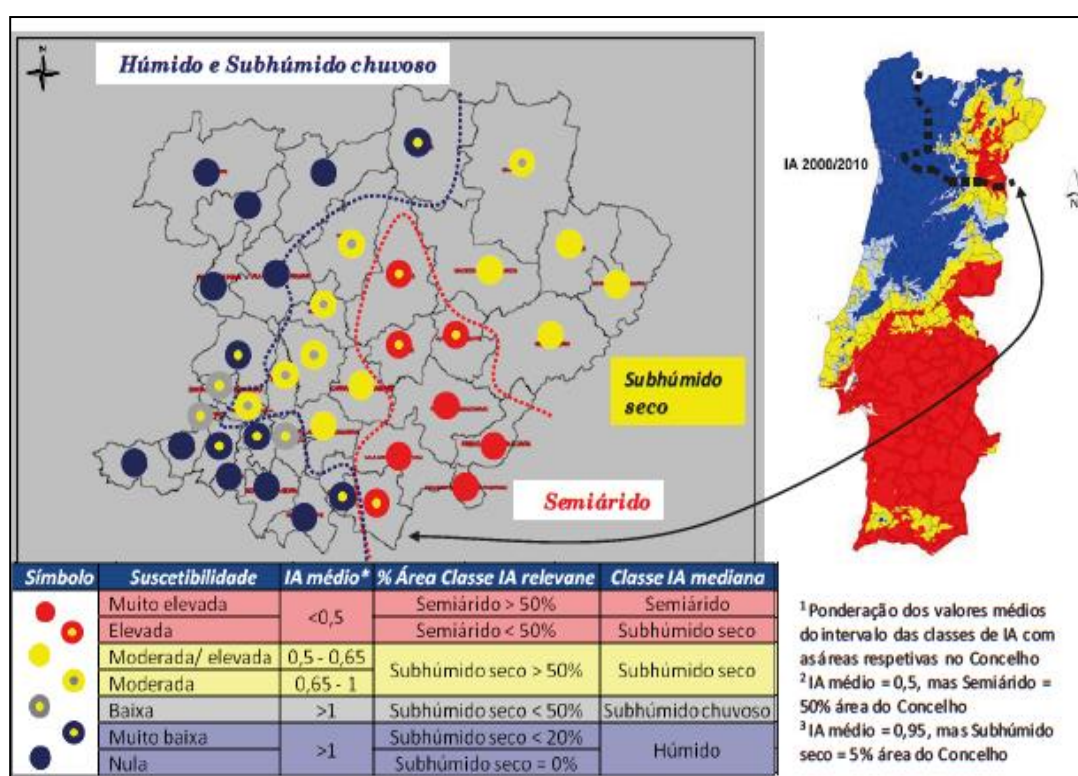


Figura 4 - Distribuição da suscetibilidade à desertificação no NE Portugal (com base no Índice de Aridez - IA, 2000 – 2010)

Fonte: Figueiredo, Fonseca & Nunes (2015b).

O NE Portugal apresentou no período de 1987 a 2007 um decréscimo de 16% nas áreas de uso agrícola e um acréscimo de 14% nas zonas de matos e 2% nas de floresta, mostrando que as tendências verificadas são positivas por via da redução significativa das áreas que apresentam um maior risco de degradação (Figueiredo et al., 2015a). Contudo, segundo os mesmos autores, esta região apresenta quase metade da sua área agrícola em sobre-exploração e cerca de 15% em sobre-exploração severa, assente em solos sem aptidão para esse tipo de uso. Além disso, a redução das áreas de uso agrícola representa um acréscimo expressivo das áreas de matos, o que possibilita outras perspetivas na interpretação dos resultados, já que a acumulação de biomassa pode ampliar os riscos de incêndio (Figueiredo et al., 2015a).

De acordo com (Nunes et al., 2013), os incêndios florestais fazem parte do ecossistema florestal mediterrâneo, mas também representam um dos principais fatores de degradação, já que a camada superficial do solo é frequentemente afetada por esse tipo de ocorrência. Nave & Lourenço (2007) afirmam que grande parte dos incêndios em Portugal, são agravados devido ao abandono de propriedades, onde muitas famílias migraram das zonas rurais para as urbanas, deixando as áreas florestais sob o controlo de uma população escassa e idosa. Desta forma, os campos agrícolas foram progressivamente ocupados por matos e florestas, sem o controle humano aumentando a biomassa dos locais. Essa biomassa acumulada serve de combustível para os incêndios, principalmente em climas de verões secos e quentes, possibilitando ainda mais esse tipo de acidente (Cerdà & Lasanta, 2005). As épocas de queimadas geralmente são seguidas de chuvas torrenciais, intensificando o processo de erosão aumentando o risco de desertificação do solo (Campo et al., 2006). Além disso, muitas das áreas ardidas recuperadas podem voltar a arder, favorecendo uma degradação progressiva do ecossistema, com modificações das condições estruturais e hidrológicas do solo (Campo et al., 2006; Fonseca & Figueiredo, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO E CONTESTUALIZAÇÃO DA METODOLOGIA

A área de estudo corresponde ao distrito de Bragança, localizado no NE Portugal, com extensão de aproximadamente 6600 km². O distrito de Bragança subdivide-se em 12 concelhos, sendo eles: Vinhais, Bragança, Vimioso, Miranda do Douro, Macedo de Cavaleiro, Mirandela, Alfândega da Fé, Mogadouro, Vila Flor, Carrazeda de Ansiães, Torre de Moncorvo e Freixo de Espada Cinta (Figura 5).

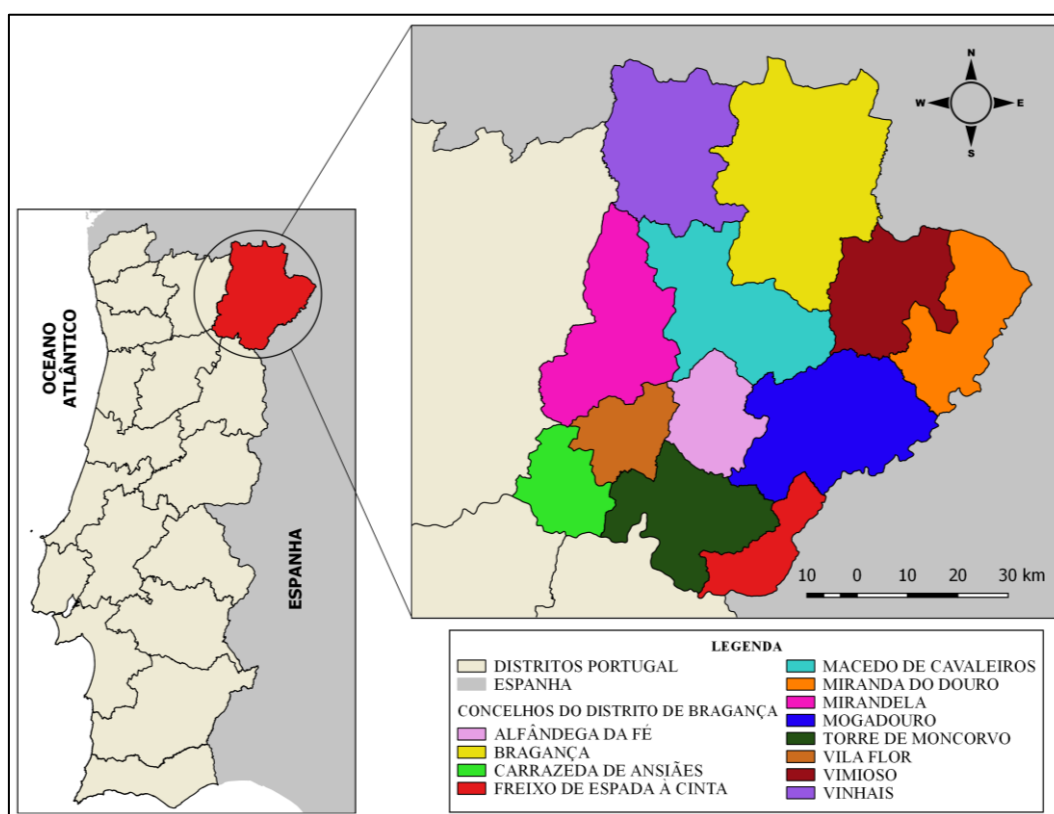


Figura 5 - Área de estudo: O Distrito de Bragança, NE Portugal e seus municípios

A metodologia se organizou em avaliar primeiro as áreas ardidas e as áreas que voltaram a queimar, a partir dos dados adquiridos pela plataforma online do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), realizando uma análise estatística dos dados afim de obter uma percepção global da problemática dos incêndios na região. Em seguida, para melhor conceção da problemática sobre a erosão, avançou-se as estatísticas para os recursos pedológicos das áreas atingidas, com os dados já obtidos e os demais retirados da Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e

Coba, 1991). Por fim, realizou-se a estimativa do risco de erosão para as áreas ardidas, utilizando parte da Universal Soil Loss Equation - USLE.

3.2 ÁREAS ARDIDAS

3.2.1 Fonte e períodos de análise

A pesquisa a respeito das áreas ardidas no NE Português, baseia-se em dados disponibilizados pela plataforma online do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). O período de análise corresponde aos anos de 1990 a 2015, no qual as áreas atingidas estendem-se por 1555 km², ou seja, 23,56% da área total do Distrito já ardeu como apresentado na Figura 6.

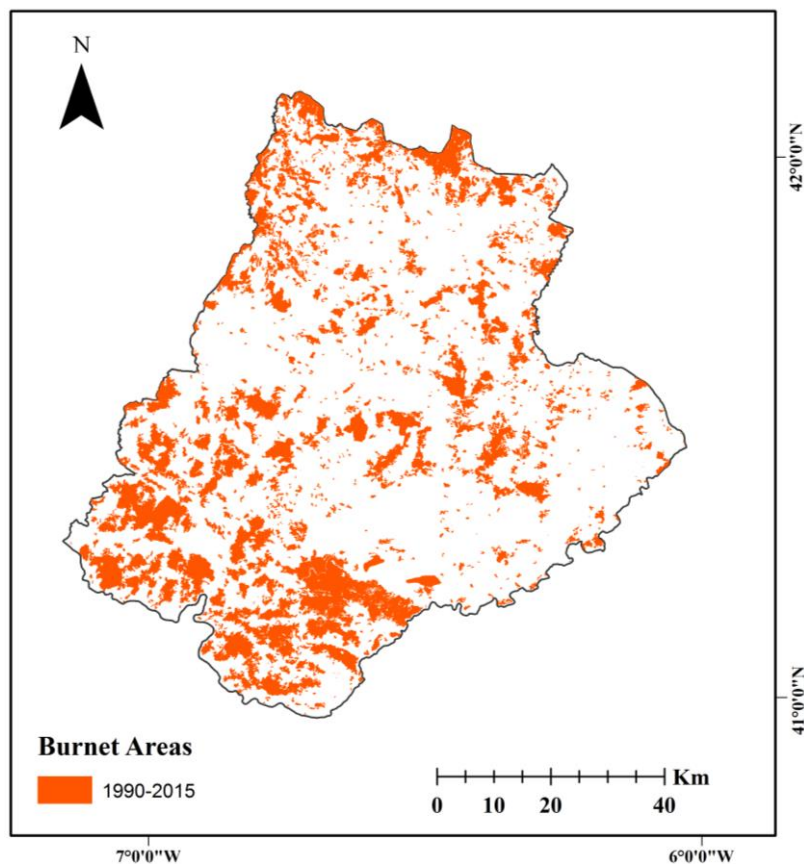


Figura 6 - Áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança
Fonte: Adaptado de Portal online ICNF (2017).

As informações tomadas são apresentadas em planilhas no Microsoft Excel. Onde foram gerados todos os gráficos e tabelas.

3.2.2 Critérios de tratamento dos dados

Os dados tomados para este estudo continham informações correspondentes a todo o território nacional, com isso filtrou-se somente os dados relativos à área de estudo.

As informações referentes aos anos de 1990 a 2000 apresentaram-se com um menor nível de detalhe em relação aos anos superiores a 2001. Com isso primeiramente, avaliou-se os dados do ano mais atual disponibilizado, que corresponde a 2015, a fim de verificar o nível de importância dos valores de áreas ardidas inferiores a 0,1 hectares de extensão.

Com esse fim, os valores foram segregados em classes correspondentes a “0 a 0,01 ha”, “0,01 a 0,1 ha” e “> ou = 0,1 ha”, sendo classificados valores tanto para o número de ocorrências de incêndios, como para total de áreas ardidas.

Avaliando os valores do número de ocorrência de incêndios e as áreas totais ardidas em hectares no ano de 2015 para as três classes, nota-se que mais de 70% das ocorrências de incêndios apresentaram-se na classe de > ou = a 0,1 hectares. No Gráfico 1 pode-se comparar os resultados para cada classe.

O número de ocorrências da classe “0,01 a <0,1” representa aproximadamente 20% do total de ocorrências e o total de área ardida não ultrapassa 1%, por esse motivo, todas as análises seguintes foram realizadas para a classe de “> ou = 0,1”, igualando as informações com os dados obtidos para o período de 1990 a 2000.

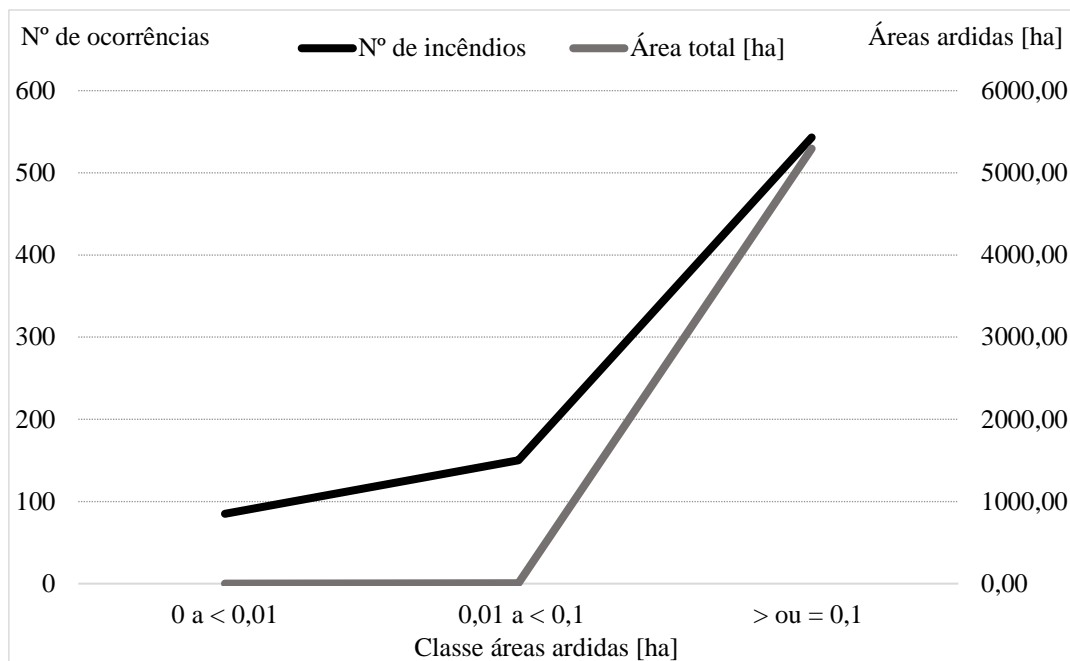


Gráfico 1 - Nº de ocorrências e área total ardida por classe de área, sublinhando o carácter residual dos registros de áreas ardidas com menos de 0,1 hectares

A análise estatística desta informação centrou-se no *número de ocorrências e na área total ardida, distribuição ao longo do ano e no uso da terra das áreas queimadas.*

3.2.3 Análise estatística dos dados

Os valores correspondentes às áreas totais ardidas e o número de ocorrências para cada ano foram somados. Em seguida criou-se uma tabela com os resultados referentes a cada ano, desenvolvendo um gráfico para melhor visualização dos valores.

A distribuição ao longo do ano, verifica em que mês do ano geralmente se obtém 50, 75, 90, 95 e 99% da área total ardida, deste modo realizou-se um gráfico com base nos percentis 50; 75; 90; 95 e 99 do valor acumulado em percentagem para cada ano. Deste modo utilizou-se a base de dados realizando a segregação da área total ardida de cada mês para cada ano e construiu-se uma tabela com os valores acumulados em percentagem dessas áreas. Em uma nova tabela, anotaram-se as contagens em que mês ocorria 50; 75; 90; 95 e 99% dos incêndios totais ao longo do ano, construindo em seguida o gráfico para melhor visualização.

Os usos da terra anterior aos incêndios foram tomados os dados de 2001 a 2015, devido ao fato de que os anos anteriores não caracterizavam especificamente o tipo de

uso da terra no local ardido. Desta forma, separam-se as classes de uso em “Floresta”, “Matos” e “Agrícola”, em seguida realizou a contagem do número de ocorrências de acordo com a presença de área ardida.

3.3 ÁREAS REINCIDENTES A QUEIMADA

A pesquisa a respeito das áreas reincidentes a queimada no NE Português, baseiam-se nas informações geográficas disponibilizadas pela plataforma online do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). O período de análise corresponde aos anos de 1990 a 2015. Os *shapefile* referente as áreas queimadas do Distrito de Bragança, foram tratadas no *software* QGIS 2.14.8 e as informações geradas foram extraídas para o Microsoft Excel a fim de gerar gráficos para melhor interpretação dos dados.

O tratamento dos dados cartográficos seguindo o critério de estudo para as áreas ardidas, em que as manchas de áreas queimadas inferiores a 0,1 hectare não foram analisadas.

Para a sobreposição das camadas vetoriais afim de selecionar as zonas que voltaram a queimar ao longo dos anos, utilizou-se a ferramenta intersecção do *software* QGIS. As intersecções foram feitas de ano em ano, iniciando por 1990 e 1991. Quando a intersecção da camada vetorial apresentava manchas sobrepostas, as mesmas eram classificadas sendo arquivadas apenas as informações das áreas superiores a 0,1 hectare.

Desta forma adquiriu-se tabelas de atributos com as informações das áreas que voltaram a queimar e seu intervalo de recorrência, sendo avaliado o número de recorrência e área total reardida, além da percentagem de recorrência ao longo do tempo.

3.4 RECURSO PEDOLÓGICOS DAS ÁREAS ARDIDAS

Para as análises da tipologia do solo, fatores de formação e aptidão do uso da terra das áreas queimadas, utilizou-se o *software* ArcGis para realizar a sobreposição da camada vetorial das áreas queimadas com a Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da

Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) a fim de obter informações pedológicas dessas zonas. Para realizar o tratamento dos dados estes foram extraídos para o Microsoft Excel.

3.5 ESTIMATIVA DO RISCO DE EROSÃO PARA AS ÁREAS ARDIDAS

A fim de avaliar a perda média de solo por erosão e a potencialidade de perda de solo em ambientes de ocorrência de incêndios ao longo dos anos, teve como base o modelo de estimativa da erosão definido como Equação Universal de Perda de Solo – USLE. Para obter resultados mais prováveis em um local particular os elementos caracterizadores das condições potenciais de erosão (clima, solo e topografia) deverão ser considerados (Lima, 2016).

A Equação Universal de Perda de Solo segundo Wischmeier & Smith (1978) está apresentado na Equação (1):

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

Em que segundo os autores:

A - Perda de solo calculada por unidade de área, expressa de acordo com as características dos fatores integrantes da equação, retratado pelo peso do solo por área do local.

R - Fator precipitação e escoamento, é o número de unidades de índice de erosão de chuvas, mais um fator de escoamento.

K - Fator de erodibilidade do solo, é a taxa de perda de solo por unidade de índice de erosão para um solo especificado.

L - Fator de comprimento de inclinação, é a relação entre a perda de solo do comprimento de inclinação do ambiente avaliado.

S - Fator de declividade, é a relação entre a perda de solo do gradiente de inclinação do terreno e a as condições de referência.

C - Fator de cobertura e manejo, é a relação entre a perda de solo nas condições locais de coberto vegetal e sua gestão ao longo do tempo e a da condição de referência.

P - Fator de prática conservacionista, é a relação de perda de solo com uma prática de conservação do solo, como terraceamento e curva de nível.

Para a estimativa de perdas potenciais de solo de áreas ardidadas as variáveis R, K e S são as que representem melhor essa condição, já que nessa altura as áreas atingidas pelo fogo apresentam-se de solo exposto e sem a aplicação de práticas conservacionistas.

No caso do Fator L, devido à grande diversidade no comprimento de inclinação nas áreas ardidadas e não tendo um critério de escolha para a obtenção de um único valor de comprimento de declive para ser utilizado, este foi considerado igual a 1.

3.5.1 Fator erosividade, índice de aridez e zonas climáticas

A estimativa da influência das precipitações na erosão do solo aplicável para o NE de Portugal, leva em consideração à escala da Zona climática na região, adotando-se um fator de estimativa variável de acordo com a classe de precipitação (Tabela 1), com forme a Equação (2) (Figueiredo, 2015):

$$R = P \cdot f \quad (2)$$

Onde:

R- Fator erosividade; ($MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$);

P – Precipitação (mm, valores médios anuais para a área em questão);

f – Fator de estimativa da Erosividade.

Tabela 1- Fator de estimativa da erosividade de acordo com a classe de precipitação

Classe de Precipitação Média Anual (P, mm)	Fator de Estimativa (f)
< 600	1,22
600-800	1,16
800-1000	1,11
1000-1200	1,08
1200-1400	1,05
> 1400	1,03

Fonte: Figueiredo (2015) em Lima (2016).

Como o índice de aridez é considerado um indicador de suscetibilidade à desertificação podendo ser associada também à degradação dos solos por via do impacto

dos incêndios, tomou-se este índice para efeitos da definição das condições climáticas para a estimativa de perdas potenciais de solo nas áreas atingidas pelo fogo.

Figueiredo et. al. (2015b) considerou três categorias para representar as condições climáticas típicas encontradas na Região NE de Portugal: Semiárido; Subhúmido Seco; Subhúmido Chuvoso e Húmido (Figura 4). Para tais condições climáticas foram feitas a correspondência com a classificação em zonas climáticas regionais adotadas pela Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991), baseada na temperatura e precipitação média anual Figura 7.

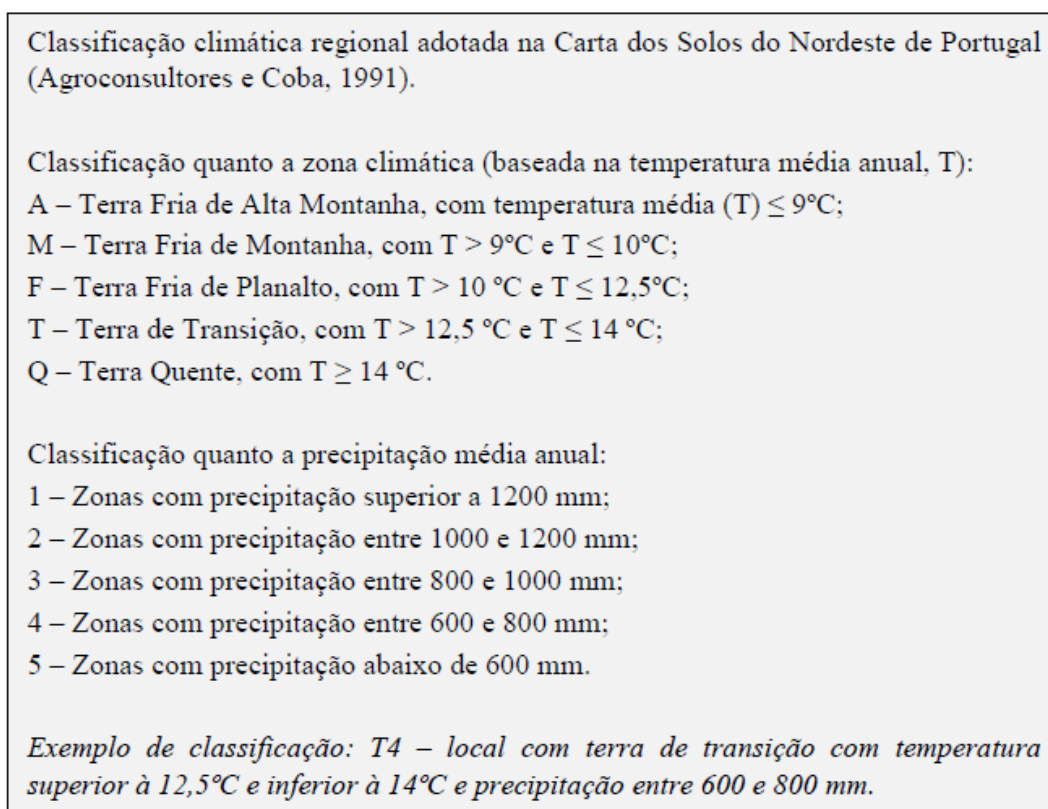


Figura 7 - Classificação Clima regional adotado
Fonte: Agroconsultores e Coba (1991) em Lima (2016).

A correspondência entre classes de índice de aridez e zonas climáticas da carta de solos do NE de Portugal para o Distrito de Bragança e o total das áreas ardidas no período estudado para cada zona pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de índice de aridez e zonas climáticas da carta de solos de NE Portugal

Classe de índice de Aridez	Área total ardida 1990-2015 (ha)	Associações de Zonas climáticas de solos (ZC)
Semiárido	49626,32	Q5, Q4 Q5, Q4 Q5 (Q3), Q4 Q5 T5, Q5 Q4 T4, Q5 T5, T5 Q5
Subúmido Seco	120002,94	F4, F4 F3, F4 F5, Q4, Q4 Q3, Q4 T4, T2 T3 Q2, T2 T3 T4, T3, T3 F3, T3 T2 Q2, T3 T4, T3 T4 Q4, T4, T4 F3, T4 Q4, T4 T5, T4 T5 Q3, T4 T5 Q4, T4 T5 T3, T5
Subúmido chuvoso e Húmido	69598,57	F1, F2, F2 F1 F3, F2 F3, F3, F3 F2, F3 T3, M1, M1 A1

3.5.2 Fator Erodibilidade e unidades de solo dominante

Neste trabalho o risco de erosão do solo foi aproximado pelo cálculo de erodibilidade do solo da equação Universal de perda do solo (URLS). Esse cálculo foi estimado de acordo com o procedimento original (Wischmeier & Smith, 1978), sendo considerados fração de matéria orgânica, o código de estrutura e permeabilidade do solo, de acordo com a Equações (3) e (4) (unidades originais; escala granulométrica USDA):

$$K = 2,1.10^{(-6)}. (M^{1,14}). (12 - a) + 0,0325. (b - 2) + 0,025. (c - 3). 0,1317 \quad (3)$$

$$M = (\% \text{ Limo} + \text{Areia Muito Fina}) (100 - \% \text{ Argila}) \quad (4)$$

Em que:

K – Fator de Erodibilidade [ton.ha⁻¹(MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)];

a - % Matéria Orgânica, adotando-se como valor máximo de 4% para teores superiores;

b – Código da Estrutura;

c - Código de Permeabilidade.

O código da estrutura segue a seguinte classificação Figueiredo (1989) adaptando o original de Wischmeier & Smith (1978):

- 1- Agregações granulosa e grumosa muito fina;
- 2- Agregações granulosa e grumosa fina;

- 3- Agregações granulosa e grumosa média e granulosa grosseira;
- 4- Agregações Laminiforme, prismiforme, anisiforme e granulosa muito grosseira.

Também de acordo com Wischmeier & Smith (1978), as codificações das classes de permeabilidade seguiram:

- 1- Rápida e muito rápida;
- 2- Moderadamente rápida;
- 3- Moderada;
- 4- Moderadamente Lenta;
- 5- Lenta;
- 6- Muito Lenta.

Devido a presença de elementos grosseiros no solo, fez-se necessário a correção nos valores do fator Erodibilidade (K) encontrados. Com isso, aplicou-se as Equação (5) de acordo com Wischmeier & Smith (1978) e Equação (6) melhorada por Figueiredo, (2001):

$$K_{eg} = K_{tf} \cdot e(-0,035 \% \cdot RC) \quad (5)$$

$$\%RC = 2,51 \cdot \%EG - 14,46 \quad (6)$$

Em que:

K_{eg} – Valor de K corrigido pela presença dos elementos grosseiros à superfície;

K_{tf} – Fator K (estimado apenas para a terra fina);

%EG – Percentagem de cobertura superficial do solo por elementos grosseiros.

%RC - Cobertura pedregosa (% área)

Foram utilizados os dados analíticos pertinentes da camada superficial dos perfis de unidade de solo da Região conforme Agroconsultores e Coba (1991). Calculado o Fator K para todos os perfis disponíveis, foram assumidos como perfis representativos das unidades de solo nas áreas ardidadas os correspondentes aos com valor mais próximo da média do Fator K obtida para o conjunto de cada unidade de solo.

A análise de erodibilidade do solo, seguiu-se a classificação do Fator K proposta por Figueiredo (1989), em que considera erodibilidade em baixo, medio e elevado. Conforme a (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação do fator de erodibilidade (Fator K)

Classe	Intervalo de valores	Fator K Designação
1	<0,017	
2	0,017 - 0,021	Baixo
3	0,021 - 0,024	
4	0,024 - 0,029	
5	0,029 - 0,035	
6	0,035 - 0,040	Médio
7	0,040 - 0,046	
8	0,046 - 0,053	
9	0,053 - 0,061	Elevado
10	0,061 - 0,069	
11	0,069 - 0,078	
12	$\geq 0,078$	

Fonte: Adaptado de Figueiredo (1989).

Para o cálculo do Fator K nas unidades solos dominante na unidade cartográfica, apresentava solos compostos como o Idox Idbx, deste modo a proporção equivalente é de 60% e 40% respetivamente. Já quando obtivermos três unidades dominantes a proporção corresponde a 50, 30 e 20% nomeadamente.

Para cada categoria de condições climáticas definidas de acordo com a classe de índice de aridez, identificou-se as unidades cartográficas dos solos, representado pelas unidades solo dominantes, definidas na Carta dos Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991). Selecionaram-se as unidades solo dominantes para a estimativa de perdas potenciais de solo nas áreas ardidadas, calculando a área ocupada por cada uma delas, tendo em conta a sua proporção nas unidades cartográficas e utilizando a base de dados SIG da Carta de Solos do NE de Portugal (Figueiredo et al., 2001). Foi selecionado as unidades de solo que estivessem representadas com áreas superiores a 5% do total em cada classe de índice aridez, afim de que as três categorias climáticas obtivessem mais de 50% de suas áreas avaliadas. Os solos classificados estão representados no Tabela 4.

As unidades de solo que apresentaram maiores extensões nas áreas ardidadas durante o período estudado podem ser observadas individualmente na Figura 8. Contudo as unidades apresentaram-se em sua maioria compostas.

Bdog	Cambissolos dístricos órticos de granitos e rochas afins.
Bdxx2	Cambissolos dístricos crômicos de depósitos de vertente em áreas de xistos e rochas afins, frequentemente com filões de rochas quartzíticas.
Boug	Cambissolos úmbricos órticos de granitos e rochas afins.
Buoq	Cambissolos úmbricos órticos de depósito de vertente em áreas de rochas.
Idbx	Leptossolo dítrico câmbicos de xisto e rochas afins.
Idog	Leptossolos dístricos órticos de granito e rochas afins.
Idox	Leptossolos dístricos órticos de xisto e rochas afins.
Ieob	Leptossolos êutricos órticos de rochas básicas.
Ieog	Leptossolos êutricos órticos de granito e rochas afins.
Ieou	Leptossolos êutricos órticos de rochas ultrabásicas.
Ieox	Leptossolos êutricos órticos de xisto e rochas afins.
Isg	Leptossolos líticos de granito e rochas afins.
Isx	Leptossolos líticos de xisto e rochas afins.
Iub	Leptossolos Úmbricos de rochas básicas.
Iug	Leptossolos Úmbricos de granito e rochas afins.
Iux	Leptossolos Úmbricos de xisto e rochas afins.

Figura 8 - Classificação das unidades pedológicas classificadas com predominância das áreas atingidas

Tabela 4 - Principais unidades solos dominantes nas áreas ardidadas por classe de Índice de Aridez

Classe de índice de Aridez	Perfil	Unidade cartográfica	Unidade Solo Dominante na unidade cartográfica	Área Ardida (ha)	Área na Classe IA (%)
Semiárido	464 Q	Idox 2.3	Idox, Isx	46709,1	9,4
	464 Q	Ieox 1.3	Ieox	72075,0	28,2
	443 F	Ieox 2.1	Ieox, Isx	139974,3	34,4
	152 Q	Isg 1.1	Isg, Iug	170575,3	14,5
	-	-	*	66929,48	13,49
Subúmido Seco	344 Q	Idog 4.5	Idog, Iug	72068,8	27,4
	464 Q	Idox 1.6	Idox	79136,2	16,0
	464 Q	Idox 12.1	Idox, Bdxx2, Iug	103829,9	8,7
	464 Q	Idox 4.2	Idox, Idbx	121085,4	10,1
	464 Q	Idox 2.2	Idox, Isx	192005,0	6,0
	138 E	Iug 8.2	Iug, Idog	328930,5	6,6
	-	-	*	302973,70	25,25
Subúmido chuvoso e Húmido	100C	Buxx2 4.1	Buxx2, Buoq2, Iuq	35020,4	5,1
	464 Q	Idox 1.1	Idox	35567,9	8,7
	464 Q	Idox 4.1	Idox, Idbx	60665,4	13,8
	138 E	Iug 2.1	Iug, Isg	96369,5	17,1
	53 Q	Iux 8.2	Iux, Buxx2	96503,9	5,0
	53 Q	Iux 2.1	Iux, Isx	118792,0	13,9
	-	-	*	253066,56	36,36

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

3.5.3 Fator topográfico

O processo erosivo influenciado pelo declive pode ser estimado pela Equação (7) de McCool et al., (1987):

$$S = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50 \quad (7)$$

Onde:

S – fator declive,

θ – Ângulo de inclinação da encosta (graus).

A Carta dos Solos do NE de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) apresenta uma definição de classes de declive associada as unidades cartográficas, em que representam as condições topográficas dominantes nessas unidades. Na Tabela 5 está a classificação da declividade apresentando as classes dominantes e seus respectivos intervalos de declive. Já as classes de declividade por unidades de solo estão indicadas na Tabela 6.

Tabela 5 - Classe dominante e suas declividades

Classe dominante	Declive (%)
1	Declive < 12-15%
2	12-15 a 25-30%
3	25-30 a 45-50%
4	Declive > 45-50%

Fonte: Adaptado de Agroconsultores e Coba, (1991).

Tabela 6 - Classe de declive das áreas estudadas

Classe de índice de Aridez	Unidade de solo Dominante na unidade cartográfica	Área na Classe IA (%)	Classe de declividade	Declive médio %
Semiárido	Idox, Isx	9,4	4	57.5
	Ieox	28,2	2	20.5
	Ieox, Isx	34,4	3	37.5
	Isg, Iug	14,5	4	57.5
	*	13,5	-	-
Subúmido Seco	Idog, Iug	27,4	3	37.5
	Idox	16,0	2	20.5
	Idox, Bdxx2, Iug	8,7	3	37.5
	Idox, Idbx	10,1	1	6.75
	Idox, Isx	6,0	4	57.5
	Iug, Idog	6,6	2	20.5
	*	25,3	-	-
Subhúmido chuvoso e Húmido	Buux2, Buoq2, Iuq	5,1	2	20.5
	Idox	8,7	2	20.5
	Idox, Idbx	13,8	1	6.75
	Iug, Isg	17,1	2	20.5
	Iux, Buux2	5,0	2	20.5
	Iux, Isx	13,9	3	37.5
	*	36,4	-	-

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÁREAS ARDIDAS

4.1.1 Número de ocorrências e área total ardida

De acordo com Coelho & Valente (2015), apesar do fogo ser um elemento crucial para o funcionamento dos ecossistemas Mediterrâneos, os incêndios vêm assumindo dimensões catastróficas nos últimos 30/40 anos. O Gráfico 2 apresenta o número de ocorrências e a extensão total de área ardida durante o período de 1990 a 2015, no Distrito de Bragança.

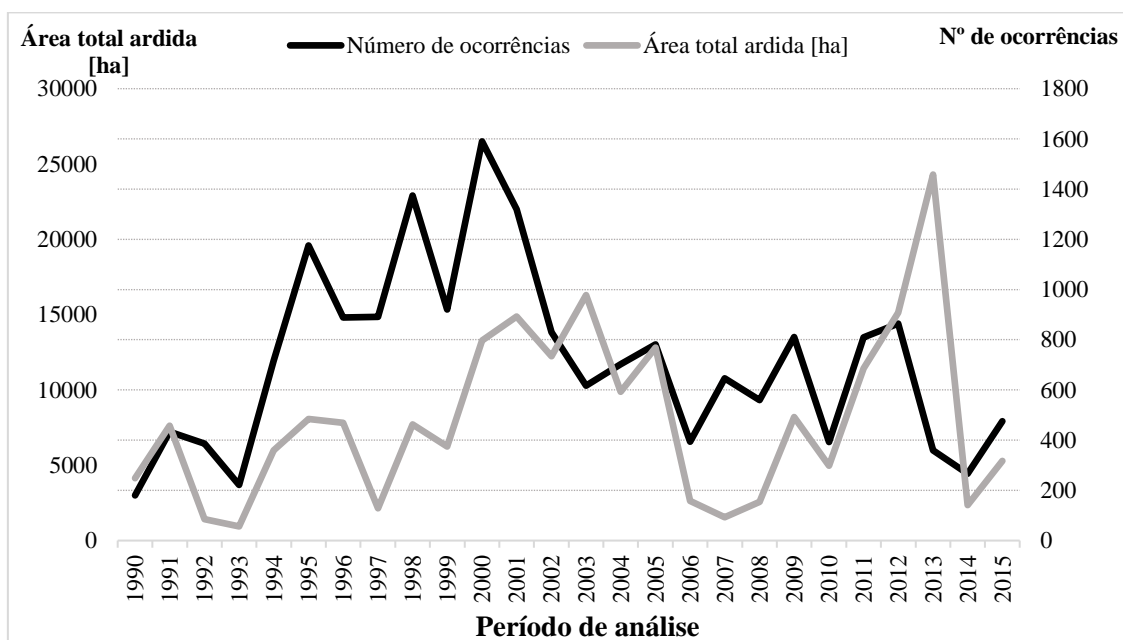


Gráfico 2 - Área total ardida e número de incêndios entre 1990 e 2015

De acordo com os dados, o ano que apresentou maior número de ocorrências de incêndios no Distrito de Bragança, foi o ano 2000 com aproximadamente 1600 casos, no entanto, o ano que teve maior extensão de área ardida corresponde a 2013. Segundo o Relatório Final de incêndios Florestais realizado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF (2013) um único incêndio resultou em 61% da área ardida no Distrito, onde consumiu cerca de 14136 hectares no período de 8 a 12 julho.

Mas essa catástrofe pode ser considerada uma eventualidade, já que o ano de maior extensão de área ardida, inferior à verificada no ano de 2013, é o ano de 2003 com área total ardida de aproximadamente 16000 hectares.

O gráfico também mostra uma redução da área ardida entre 2005 e 2010 quando comparado com os anos imediatamente anteriores, porém, após 2010 esse cenário inverte significativamente. Segundo Coelho & Valente (2015), para Portugal continental, esse aumento das áreas ardidas esteve associado a períodos de temperaturas muito elevadas e também à alta disponibilidade de biomassa, relacionada com o abandono da gestão do espaço florestal.

Em 2014 as áreas totais ardidas voltam a diminuir, seguindo-se um aumento em 2015. Desta forma, reforça-se a importância da implementação de medidas mitigadoras e a resolução deste problema a partir de medidas isoladas de prevenção ou de combate aos incêndios, adotando estratégias integradas pela comunidade (Coelho & Valente, 2015).

4.1.2 Distribuição ao longo do ano

No Gráfico 3 pode-se verificar a representação da distribuição ao longo do ano das áreas totais ardidas no período estudado.

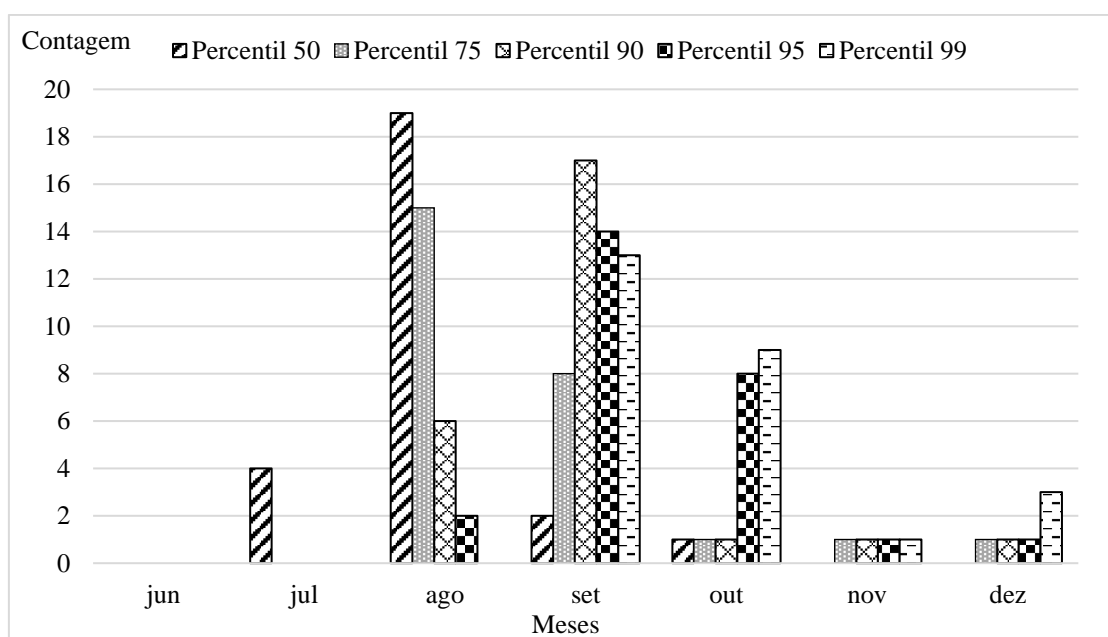


Gráfico 3 – Distribuição ao longo do ano das áreas ardidas

De acordo com a análise realizada, entre os anos de 1990 e 2015, 50% das áreas ardidadas ocorreu maioritariamente em agosto, já que este mês apresentou esse resultado em 19 anos dos 26 estudados. Todavia em 4 anos dos 26 estudados, 50% da área queimada ocorreu no mês de julho, registrando-se também em 3 anos que esse limiar foi atingido em setembro ou outubro.

A quase totalidade da área ardida em cada ano (99%) registou-se em setembro (15 anos dos 26 estudados), atingindo em outubro frequências mais baixas (9 anos dos 26 estudados) e em novembro e dezembro ainda menores (4 anos dos 26 estudados). O limiar do 75% de área ardida, em cada ano, apresenta uma distribuição temporal com uma frequência mais elevada também no mês de agosto como se pode ver no Gráfico 3.

A grande concentração das ocorrências de incêndio e da extensão das áreas ardidadas corresponde aos meses de verão. No entanto, não se pode deixar de considerar o outono e o início do inverno, na medida em que o fogo também pode se manifestar nestas estações. Bernardino et al., (2013) afirma que as condições meteorológicas não são as únicas causas dos incêndios, os quais também dependem dos fatores topográficos, combustível, fonte de ignição, ou seja, dependem da vulnerabilidade associada a cada ambiente.

Com base nestes resultados, os cuidados devem ser superiores nos meses de agosto, setembro e outubro, mas não podem ser descartados no restante do ano, pois segundo estudo realizado por Nogueira et al., (2015), até mesmo quando a severidade do fogo é baixa já acarreta alterações nas propriedades do solo.

4.1.3 Uso da terra anterior ao incêndio

A comparação anual entre as áreas de uso agrícola, floresta e matos afetadas por incêndios é apresentada no Gráfico 4.

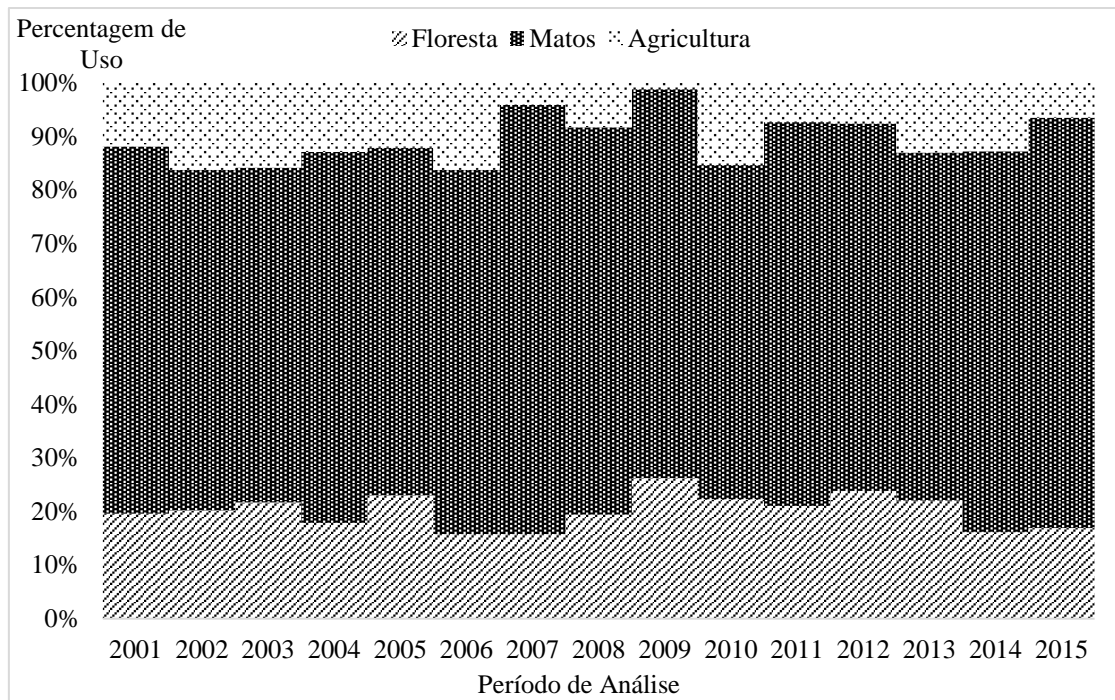


Gráfico 4 - Uso da terra anterior ao incêndio

É visível a incidência de incêndios em ambientes com vegetação de matos no NE Portugal, correspondendo a cerca de 70% da extensão ardida ao longo dos últimos anos. Esse fato pode ser explicado pelo grande armazenamento de biomassa, conjuntamente com as características ambientais que possibilitam a ignição e facilitam a propagação dos incêndios. A área florestal ardida representa cerca de 20% e em ambientes agrícolas essa percentagem atinge um valor de aproximadamente 10%.

As extensas áreas de matos no Distrito de Bragança tem representação inferior a 70% indicando que essas áreas estão menos sujeitas a restrições quanto a ignição e propagação do fogo. Para além da massa combustível acumulada e sua continuidade, podem concorrer para explicar a elevada proporção de áreas de matos ardidadas, a sua localização mais remota relativamente aos núcleos populacionais onde o controlo social tem condições mais limitadas de realização, tanto mais quanto se associa a baixa densidade da população rural.

Essas alterações no uso da terra podem resultar num desequilíbrio na adequação do uso à aptidão da terra como evidenciado por Figueiredo et al. (2015b) no NE Portugal. As tendências na evolução recente do uso da terra podem contribuir para um aumento do potencial de degradação do recurso solo, ainda mais pela distribuição preferencial dos matos em áreas marginais declivosas (Figueiredo et al., 2015b).

4.2 RECURSOS PEDOLÓGICOS NAS ÁREAS QUEIMADAS

4.2.1 Unidades solo principais

De acordo com Figueiredo (2013), a região NE Portugal apresenta como principais unidades solo Leptossolos (71,6%), Cambissolos (13,4%) e Antrossolos (6,9%). No Gráfico 5 pode-se observar os tipos de solo associados às áreas queimadas da região.

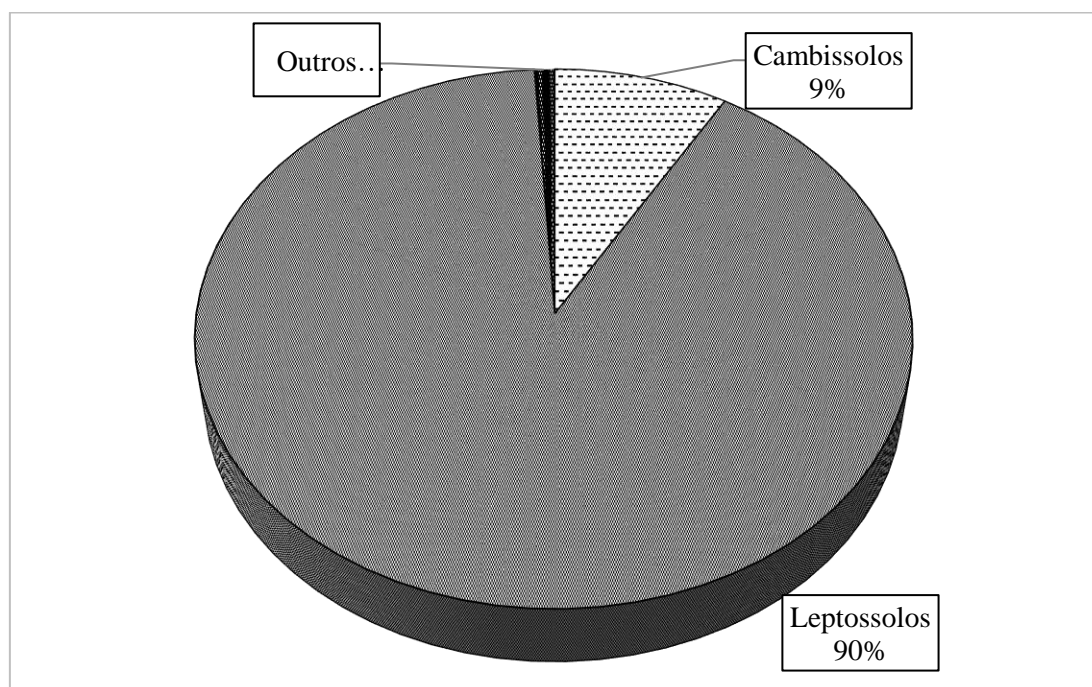


Gráfico 5 - Principais unidades de solo das regiões queimadas do NE Portugal

Os Leptossolos representam 90% das áreas ardidas e constituem o solo dominante na região. São solos incipientes, delgados, com elevada pedregosidade (Figueiredo, 2013), tendo menos de 20 % de terra fina (Agroconsultores e Coba, 1991), preferencialmente ocupados por matos e floresta (Monteiro et al., 2005). Os Cambissolos representam 9% das áreas queimadas e caracterizam-se por serem moderadamente evoluídos, formados a partir da alteração do material originário in situ, ou a partir de depósitos de sedimentos.

A litologia das áreas ardidas está largamente representada pelos xistos (49%) (Gráfico 6), correspondendo a solos de textura franco, franco arenoso e limoso, em geral com horizonte C constituído por rocha desagregada com ou sem terra fina.

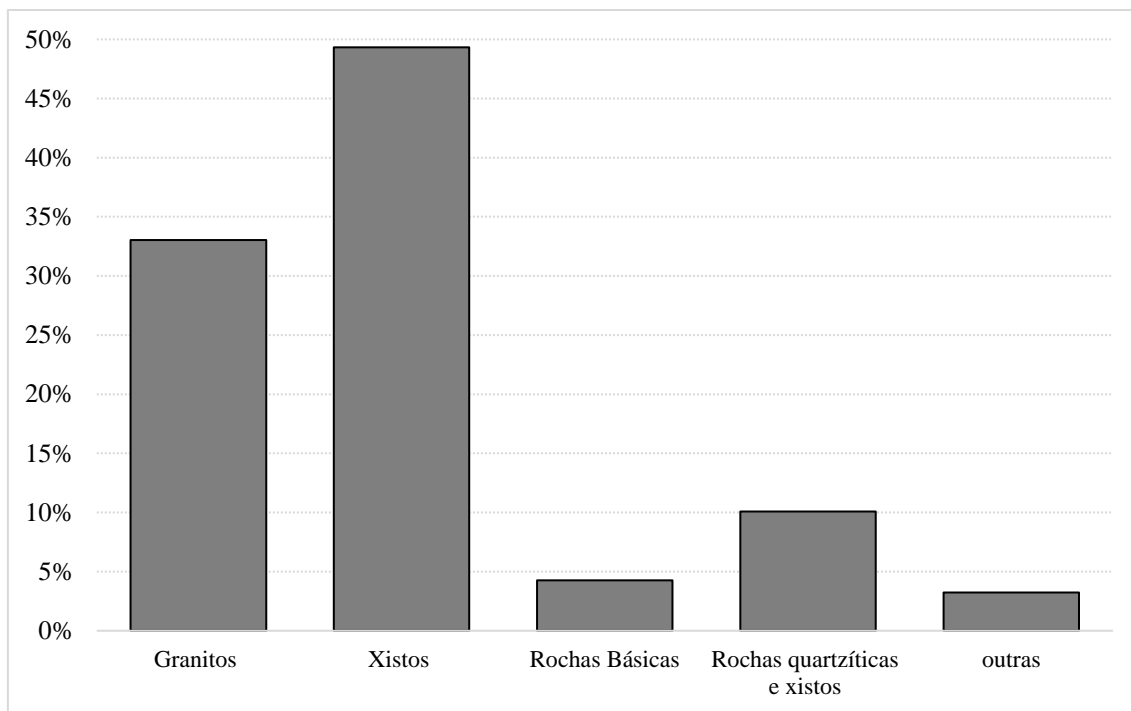


Gráfico 6 - Litologia do solo das áreas ardidas

As rochas graníticas também estão bastante presentes, correspondendo a 33% das áreas atingidas pelos incêndios, em solos com horizonte A franco-arenoso ou arenoso-franco, em geral saibrento ou cascalhento (Agroconsultores e Coba, 1991).

Estas rochas são bastante características de solos como Leptosolos e Cambissolos (Agroconsultores e Coba, 1991), estando todavia representadas também litologias básicas e quartzíticas.

4.2.2 Características dos solos nas áreas ardidas e aptidão da terra

O conhecimento dos solos num território é de grande importância para a identificação das potencialidades, limitações e riscos que podem estar associados ao uso da terra. No Gráfico 7 pode-se visualizar algumas características dos solos das áreas queimadas no NE Portugal.

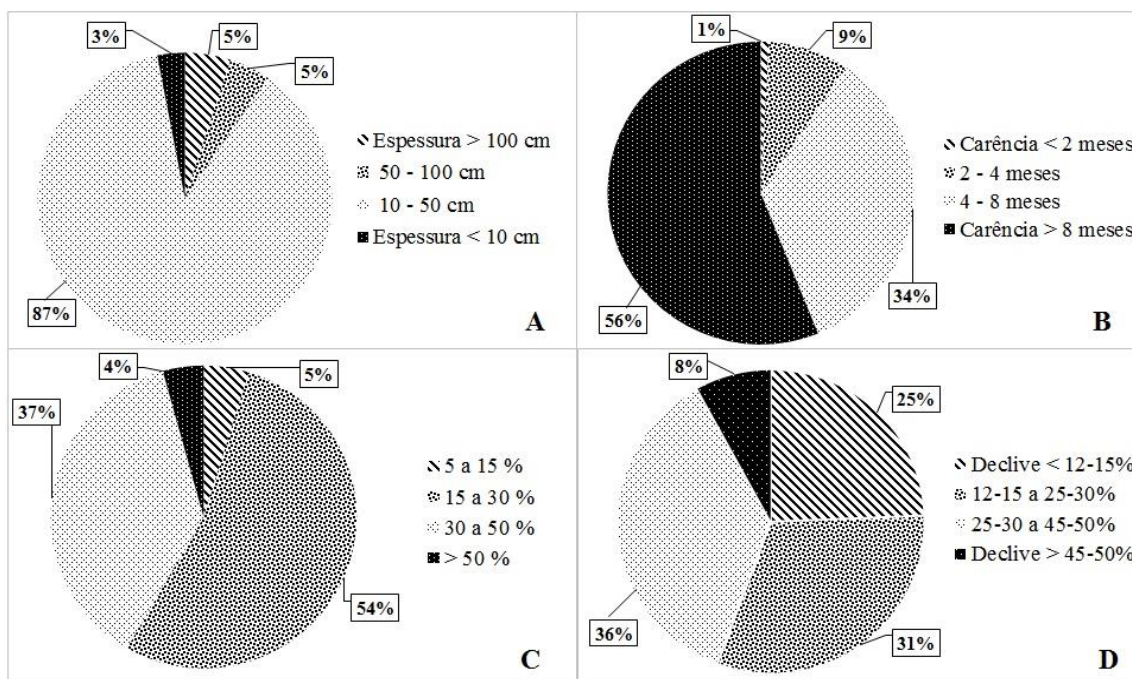


Gráfico 7 - Características dos solos nas áreas ardidas: A. Espessura do solo; B. Carência de água no solo; C. Pedregosidade (% Elementos grosseiros); D. Declive dominante do terreno

A espessura do solo é de grande importância para o desenvolvimento das plantas, já que as condições de enraizamento são determinadas pela espessura útil do solo e pela facilidade de penetração radicular (Agroconsultores e Coba, 1991). Nas áreas queimadas no NE Portugal apenas 5% dos solos apresentam espessura superior a 100 cm, ou seja, uma pequena fração dos solos atingidos apresentam condições favoráveis para o uso agrícola. A maioria das áreas atingidas está representada por solos com espessura entre 10 e 50 cm, considerados solos pouco desenvolvidos e de textura grosseira.

Em relação à água no solo, as áreas apresentam condições de carência severa e muito severa em 90% dos casos, o que significa que existe baixo teor de água disponível para as plantas nestes locais. A capacidade de água disponível integra vários fatores, como a precipitação e sua distribuição ao longo do ano, a evapotranspiração, a quantidade de água que se infiltra no terreno, entre outros (Agroconsultores e Coba, 1991).

Em 41% das áreas estudadas, estima-se que os solos apresentam mais de 30% de elementos grosseiros em volume, sendo solos pedregosos que ao possuírem essa característica dificulta a realização de práticas agrícolas convencionais nestes ambientes.

O declive também é uma característica importante a ter em consideração na instalação de culturas e execução das respetivas práticas culturais, além de exercer grande influência na erosão do solo. Figueiredo (2013) refere, que segundo as boas práticas agrícolas, as áreas com declive acima de 12 – 15% não são favoráveis à execução de operações mecanizadas, o que neste caso correspondem a 75% das áreas atingidas.

Desta forma não impressiona que a aptidão da terra para os três usos seja na sua maioria nula, como mostra o Gráfico 8. Faz-se notar que nas áreas atingidas, cerca de 14% dos solos apresentam aptidão elevada para o uso florestal.

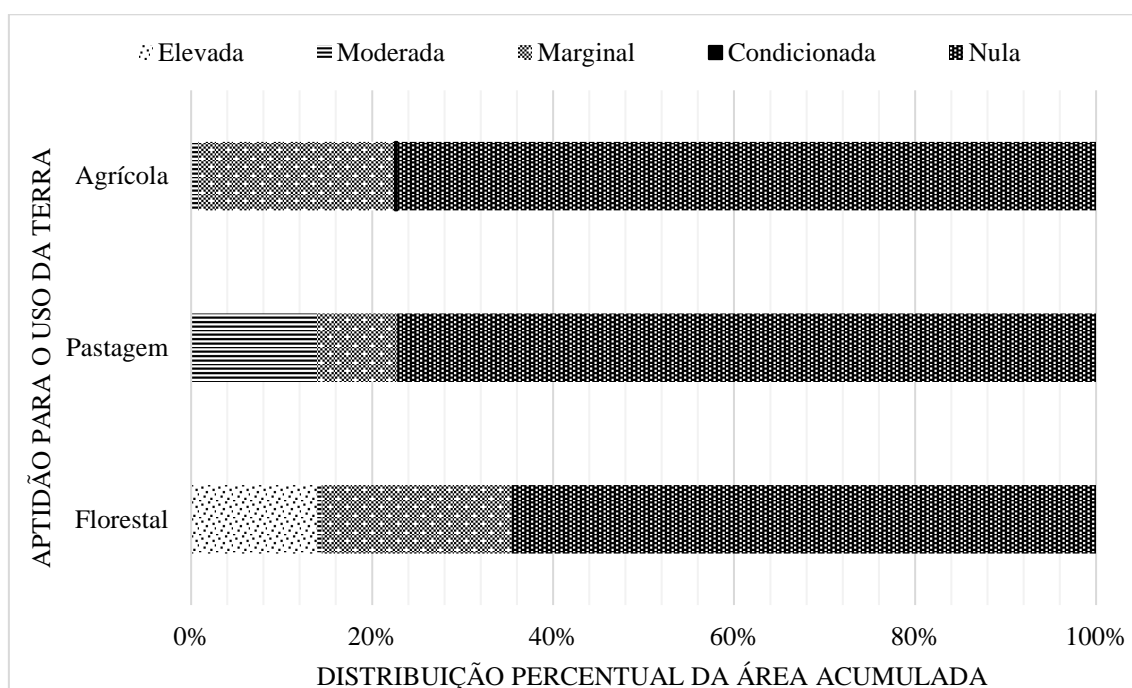


Gráfico 8 - Classe de aptidão para o uso da terra em áreas ardidas no Nordeste de Portugal

4.3 RECORRÊNCIA DE INCÊNDIOS E ÁREA ARDIDA

De acordo com o Gráfico 9 o maior número de recorrências de incêndios ocorreu em intervalos de 4 anos com aproximadamente 270 ocorrências. Nos intervalos 7 e 9 anos os números de ocorrências também são elevados registando-se 230 casos, aproximadamente.

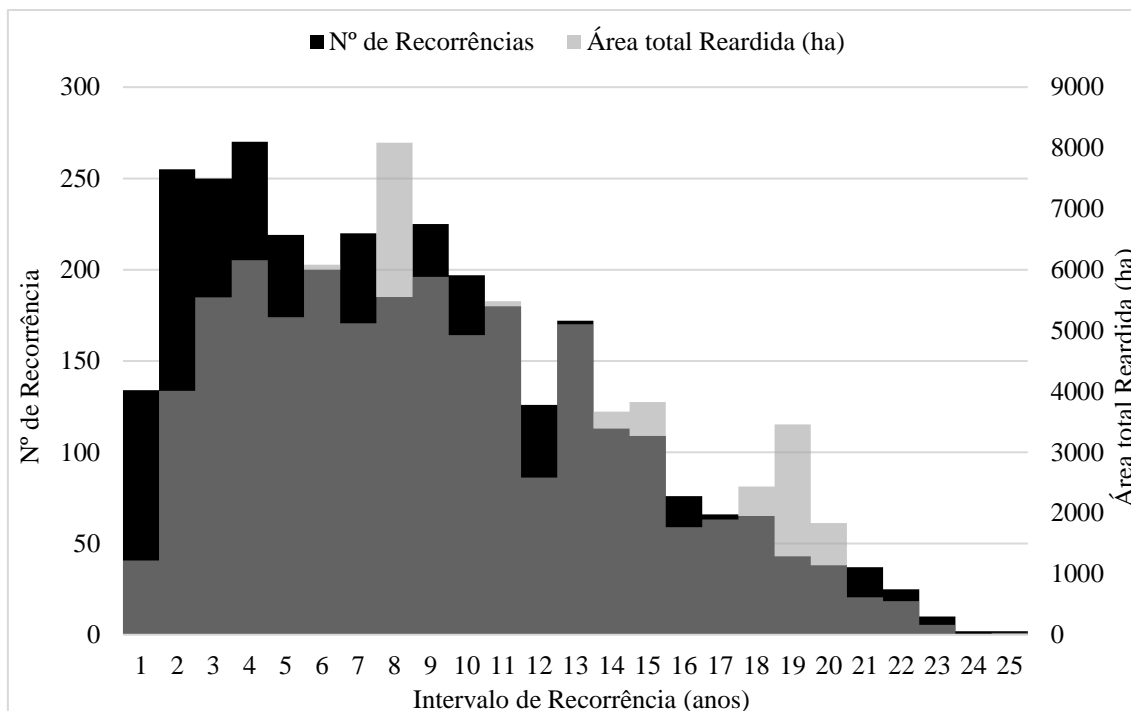


Gráfico 9 - Número de recorrência de um incêndio e a área total reardida

Apesar do número de recorrências ser maior no intervalo de 4 anos, é em intervalos de 8 anos que a extensão de área reardida é mais vasta, com aproximadamente 8000 hectares, podendo supor-se que nessa altura as áreas já estavam mais recuperadas e conseqüentemente com maior quantidade de biomassa servindo de combustível para os incêndios.

O decréscimo apresentado nos últimos intervalos de ocorrência, tanto para as áreas que voltaram a arder como para o número de ocorrências, pode ser explicado pelo facto de o número de intersecções irem diminuindo conforme aumenta os intervalos anuais.

Para uma melhor visualização dos resultados, o Gráfico 10 apresenta a percentagem da área total reardida acumulada ao longo do tempo.

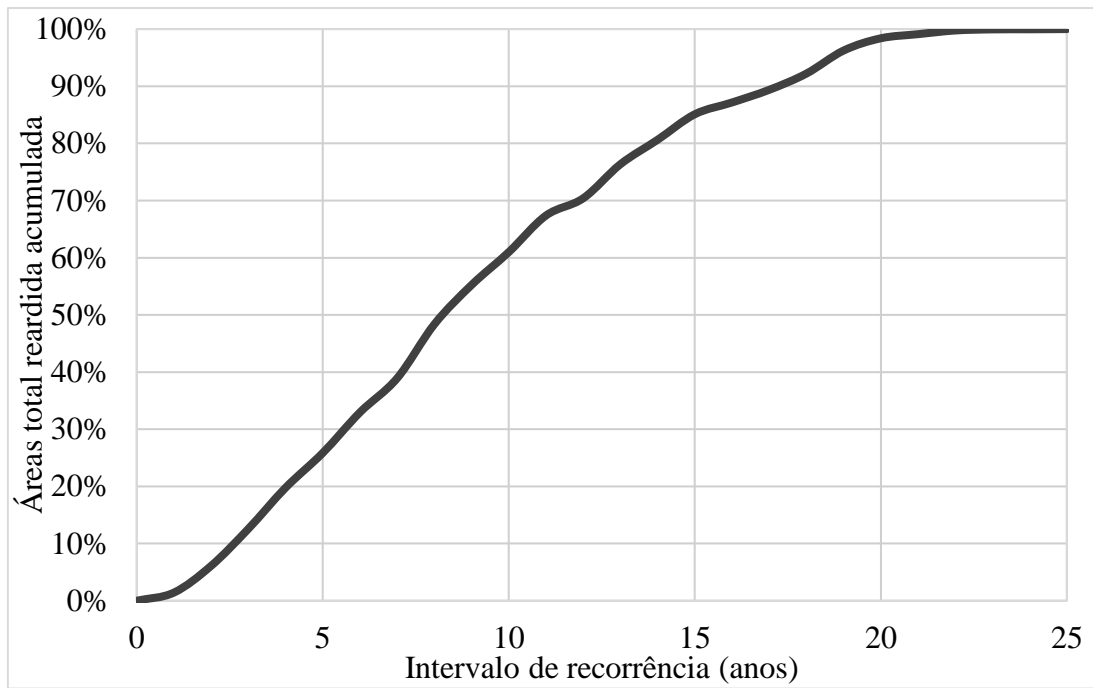


Gráfico 10 - Percentagem da área total reardida relativamente aos intervalos de recorrências

Desta forma, é visível verificar que 50% das áreas que voltaram a queimar ocorreram no intervalo inferior a 9 anos, sendo que 25% já havia reardido no intervalo de 5 anos.

No Gráfico 11 se pode observar as áreas máximas reardidas e as médias das áreas que voltaram a arder por intervalo de recorrência.

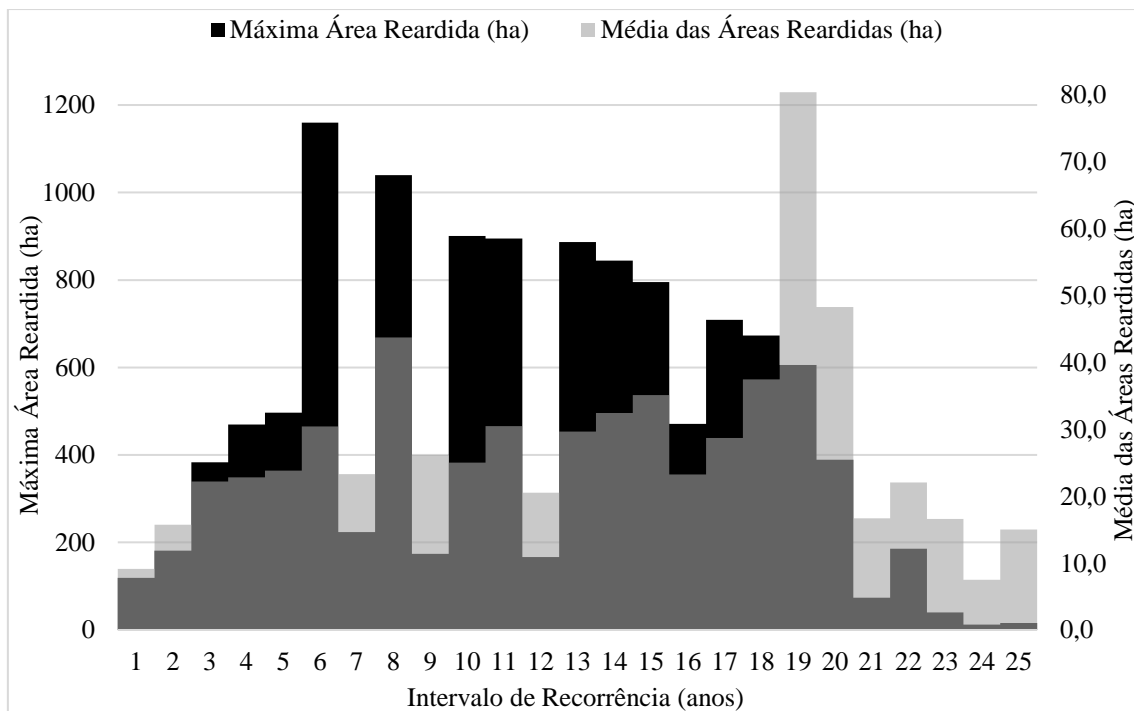


Gráfico 11 - Áreas máximas e médias reardidas em cada intervalo de recorrência

Os intervalos que obtiveram as máximas extensões ardidadas foram os de 6 e 8 anos com aproximadamente 1100 e 1040 hectares, respetivamente. Ao comparar estes valores com a média das áreas reardidas por intervalo de recorrência, a que apresenta maior média é o intervalo de 19 anos (80,3 hectares), o que pode ser explicado pela grande extensão reardida, aproximadamente 3500 hectares, por um baixo número de recorrências (menos de 50 casos), podendo ser visualizado no Gráfico 9. Maioritariamente, as médias apresentadas tendem a permanecer por volta de 30 hectares em cada intervalo de recorrência.

4.4 ESTIMATIVA DE PERDAS POTENCIAIS DE SOLO NAS ÁREAS ARDIDAS

4.4.1 Fator R

Foram obtidos os valores de R (fator erosividade) para todas as unidades solo avaliadas, os valores resultam da precipitação média anual considerada para cada zona climática dessas categorias. O Fator erosividade varia de 671 a 1493,5 MJ.ha⁻¹. mm.h⁻¹ como observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Zona climática (ZC), precipitação (P) e fator R de acordo com o índice de aridez

Classe de índice de Aridez	Unidade Solo Dominante na unidade cartográfica	ZC Representativa	P Média (mm)	Fator de Estimativa da erosividade	R (MJ.ha ⁻¹ . mm.h ⁻¹)
Semiárido	Idox, Isx	Q4 Q5 T5	600	1,16	696
	Ieox	Q5	550	1,22	671
	Ieox, Isx	Q5	550	1,22	671
	Isg, Iug	Q4 Q5 (Q3)	715	1,16	829,4
	*	-	-	-	-
Subúmido Seco	Idog, Iug	T4 T5 Q4	650	1,16	754
	Idox	T4 T5 Q4	650	1,16	754
	Idox, Bdxx2, Iug	T4 F3	800	1,11	888
	Idox, Idbx	F4	700	1,16	812
	Idox, Isx	T4 T5 Q3	715	1,16	829,4
	Iug, Idog	T3 T2 Q2	1150	1,08	1242
	*	-	-	-	-
Subúmido chuvoso e Húmido	Buxx2, Buoq2, Iuq	F3 T3	900	1,11	999
	Idox	F2 F3	1000	1,08	1080
	Idox, Idbx	F2 F3	1000	1,08	1080
	Iug, Isg	M1 A1	1450	1,03	1493,5
	Iux, Buxx2	F3 F2	1000	1,08	1080
	Iux, Isx	F2	1100	1,08	1188
*	-	-	-	-	

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

4.4.2 Fator K

Através das características das unidades solo, o maior valor calculado para o Fator K (fator erodibilidade) na terra fina foi o da unidade solo Ieox, com um fator erodibilidade de 0,071 ton.ha⁻¹.R. Já o menor valor para as unidades solo foi o Isg e Iug com 0,034 ton.ha⁻¹.R. Contudo, após a correção devido à presença dos elementos grosseiros no solo (Keg), o maior valor calculado para a erodibilidade foi o dos solos Iug e Idog com 0,033 ton.ha⁻¹.R e o conjunto de solos Buxx2, Buoq2, Iuq apresentaram a menor susceptibilidade à erosão, com 0,007 ton.ha⁻¹.R (Tabela 8).

Tabela 8 - Fator K na terra fina e corrigido para os elementos grosseiros (EG) por classe de índice de aridez (IA) e unidade de solo

Classe de índice de Aridez	Unidade de solo Dominante	%EG	Pedregosidade	K (ton.ha-1.R)	Keg (ton.ha-1.R)
Semiárido	Idox Isx	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.056	0.013
	Ieox	18.2	Moderado (15 - 30%)	0.071	0.024
	Ieox Isx	18.2	Moderado (15 - 30%)	0.062	0.017
	Isg Iug	14.9	Baixa (5 - 15%)	0.034	0.024
	*	-	-	-	-
Subúmido Seco	Idog Iug	12.6	Moderado (15 - 30%)	0.040	0.029
	Idox	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.061	0.016
	Idox Bdx2 Iug	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.061	0.019
	Idox Idbx	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.054	0.013
	Idox Isx	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.056	0.013
	Iug Idog	12.6	Moderado (15 - 30%)	0.040	0.033
	*	-	-	-	-
Subhúmido chuvoso e Húmido	Buxx2 Buoq2 Iuq	27.9	Elevado (30 - 50%)	0.055	0.007
	Idox	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.061	0.016
	Idox Idbx	20.7	Moderado (15 - 30%)	0.054	0.013
	Iug Isg	12.6	Moderado (15 - 30%)	0.036	0.030
	Iux Buxx2	24.1	Moderado (15 - 30%)	0.052	0.009
	Iux Isx	24.1	Moderado (15 - 30%)	0.051	0.009
	*	-	-	-	-

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

Após os cálculos da erodibilidade do solo, foi possível classificar as áreas afetadas por incêndios em baixa, média e elevada susceptibilidade à erosão (Gráfico 12).

Cerca de 46% dos solos apresentam susceptibilidade à erosão elevada quando se considera o Fator K (sem correção devido a pedregosidade presente no terreno), nesta mesma avaliação pode-se verificar que 29% das áreas apresentam erodibilidade média.

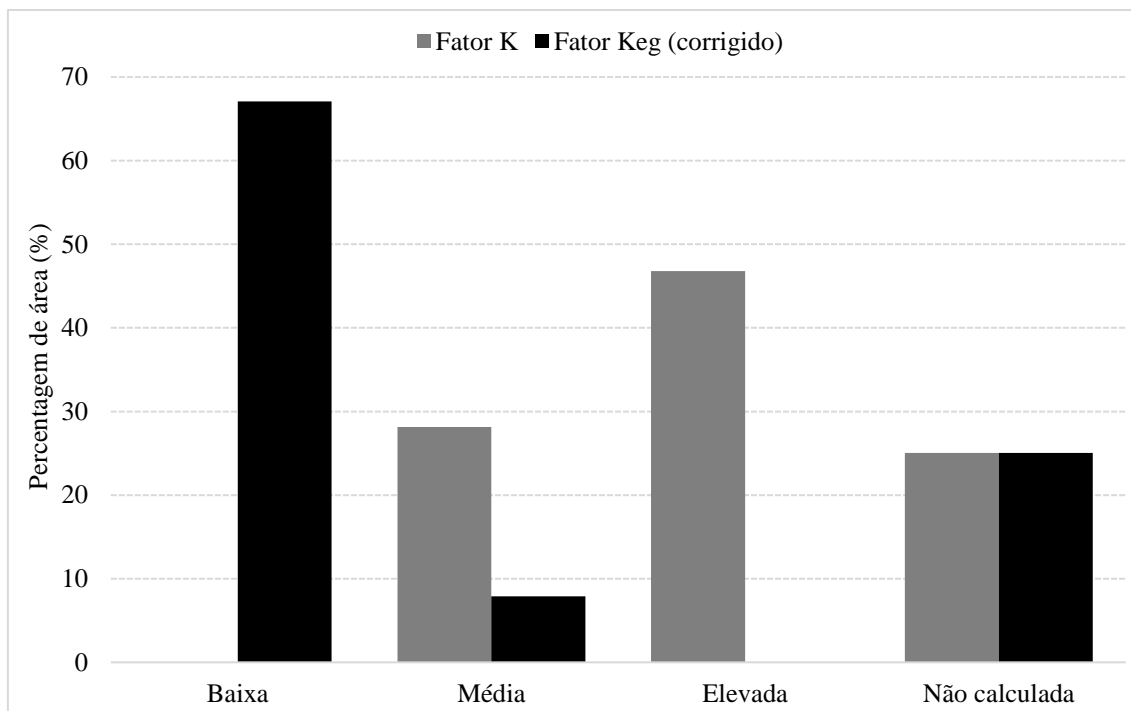


Gráfico 12 - Percentagem de áreas ardidas por classe de classificação do valor de K e Keg

Com a correção para os elementos grosseiros (Keg), a suscetibilidade à erosão baixou, e cerca de 78% das áreas atingidas possuem baixa erodibilidade, o que pode ser explicado com base na presença de elementos grosseiros no solo, especialmente à superfície. Os elementos grosseiros têm um papel importante na proteção do solo contra o impacto da água da chuva, e reduzem a velocidade do escoamento superficial criando zonas de deposição de sedimentos (Figueiredo, 1989). Ainda alguns solos apresentaram-se com classe média de erodibilidade somando cerca de 7% das áreas atingidas pelos incêndios.

4.4.3 Fator S

Quanto ao fator S, o valor mais alto foi obtido para as unidades solo Idox, Isx e Isg, Iug que estão incluídas na classe 4 de declividade, obtendo-se um valor S igual a 7,87, nos ambientes Semiárido e Subúmido Seco. Contudo, a classe de declive 2 é a mais frequente nas unidades solo consideradas, com um declive médio de 20,5% e Fator S igual a 2,87 (Tabela 9).

Tabela 9 - Fator S de acordo com o declive médio e índice de aridez

Classe de índice de Aridez	Unidade Solo Dominante na unidade cartográfica	Declive médio %	θ (graus)	S
Semiárido	Idox, Isx	57,5	26,56	7,87
	Ieox	20,5	11,59	2,87
	Ieox, Isx	37,5	20,56	5,4
	Isg, Iug	57,5	26,56	7,87
	*	-	-	-
Subúmido Seco	Idog, Iug	37,5	20,56	5,4
	Idox	20,5	11,59	2,87
	Idox, Bdxx2, Iug	37,5	20,56	5,4
	Idox, Idbx	6,75	3,86	0,63
	Idox, Isx	57,5	26,56	7,87
	Iug, Idog	20,5	11,59	2,87
	*	-	-	-
Subhúmido chuvoso e Húmido	Buxx2, Buoq2, Iuq	20,5	11,59	2,87
	Idox	20,5	11,59	2,87
	Idox, Idbx	6,75	3,86	0,63
	Iug, Isg	20,5	11,59	2,87
	Iux, Buxx2	20,5	11,59	2,87
	Iux, Isx	37,5	20,56	5,4
	*	-	-	-

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

Os valores de S seguem um padrão que reflete a classe de declive, pois o cálculo do Fator S é realizado em função do grau de inclinação da encosta, assim, quanto maior o grau de declive do terreno, maior será esse fator.

4.4.4 Produto RK e RKS

O produto RK representa o potencial de perda de solo de uma área, determinado apenas pelos fatores de erosão básicos como clima e solo, sem interferências da topografia local e intervenções humanas.

Quando se analisa o produto entre os fatores R e K, é possível observar que os valores superiores pertencem às unidades solo Iug, Isg e Iug, Idog, para os índices de aridez Subhúmido Chuvoso e Húmido e Subhúmido seco, com valores de 44,15 e 40,84 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, respetivamente. Os menores valores verificam-se nas unidades solo Buxx2, Buoq2, Iuq e Idox, Isx, para os índices de aridez Subhúmido Chuvoso e Húmido e Semiárido, com valores de 7,12 e 8,76 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, respetivamente (Tabela 10).

Tabela 10 - Fator RK e RKS de acordo com o índice de aridez e unidade solo dominante

Classe de índice de Aridez	Unidade Solo Dominante na unidade cartográfica	Área na Classe IA (%)	KR (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	RKS (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Semiárido	Idox, Isx	9,4	8,76	68,94
	Ieox, Isx	28,2	11,38	61,46
	Ieox	34,4	15,90	45,64
	Isg, Iug	14,5	20,02	157,56
	*	13,5	-	-
Subúmido Seco	Idox, Isx	27,4	10,44	82,16
	Idox, Idbx	16,0	10,59	6,67
	Idox	8,6	12,37	35,49
	Idox, Bdxx2, Iug	10,1	16,43	88,71
	Idog, Iug	6,0	21,96	118,56
	Iug, Idog	6,6	40,84	117,20
	*	25,25	-	-
Subhúmido chuvoso e Húmido	Buxx2, Buoq2, Iuq	5,1	7,12	20,44
	Iux, Buxx2	8,7	9,94	28,52
	Iux, Isx	13,8	10,67	57,62
	Idox, Idbx	17,1	14,08	8,87
	Idox	5,0	17,71	50,83
	Iug, Isg	13,9	44,15	126,70
	*	36,36	-	-

* Restantes solos com extensão de área menor que 5% da área total.

Em geral, 75% das áreas ardidadas foram estudadas. Os restantes 25% não foram avaliados devido à baixa representatividade dos solos em alguns ambientes, por esse motivo apenas as que apresentassem 5% ou mais de extensão ardidada em relação ao total ardidado foram considerados.

O produto das variáveis RKS representa as condições potenciais de erosão na região considerando também o efeito da topografia, ou seja, valores de RKS apresenta diferentes valores de acordo com o declive, unidade solo e índice de aridez.

Visualizando o resultado do produto dos fatores R, K e S, pode-se verificar que a maior potencialidade de perda de solo encontra-se no Semiárido e Subhúmido Chuvoso e Húmido para as unidades solo Isg, Iug (157,56 ton.ha⁻¹.ano⁻¹) e Iug, Isg (126,7 ton.ha⁻¹.ano⁻¹). Esses ambientes apresentam alta declividade o que contribui para a perda de solo. As unidades solo com menor potencial de perda de solo são Idox, Idbx, localizadas nas zonas climáticas Subhúmido Seco e Subhúmido Chuvoso e Húmido, com potencialidade de perda de solo de 6,67 e 8,87 (ton.ha⁻¹.ano⁻¹), respetivamente.

A partir dos gráficos 13 e 14, que representam a dispersão do RK e RKS, pode-se obter uma visão global das áreas estudadas.

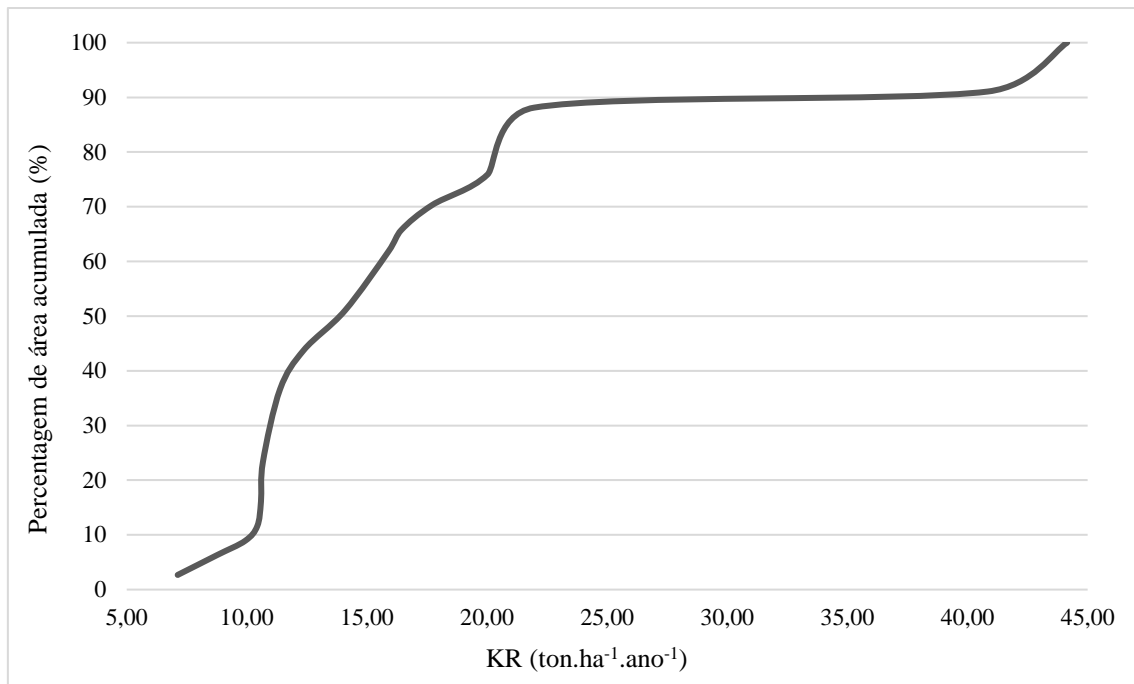


Gráfico 13 - Dispersão de RK por zonas climáticas e percentagem de área acumulada

O Gráfico 13 mostra que cerca de 90% das áreas avaliadas possuem um potencial de perda de solo abaixo das 25 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. As percentagens acumuladas de área entre 10% e 25% não variaram muito, apresentando uma perda de solo para as zonas climáticas em torno de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Além disso, 75% das áreas ardidadas nos três ambientes climáticos obtiveram uma perda de solo de aproximadamente 18 ton.ha⁻¹. Morgan (2005) refere que acima de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ o risco de erosão é severo, mesmo nos solos mais profundos ocorre perda de material a uma taxa superior ao tolerável, pelo que as áreas ardidadas são classificadas como tendo um risco severo de erosão.

Quando se considera a topografia do terreno, a erosão do solo tende a aumentar com o declive, devido à grande influência que exerce no escoamento. No Gráfico 14 se pode visualizar esse aumento na perda de solo comparativamente ao Gráfico 13. Porém na Tabela 10 é possível visualizar que no caso do solo Idox, Idbx a perda de solo diminuiu de 10,59 para 6,67 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em clima Subhúmido seco e de 14,08 para 8,87 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em ambiente subhúmido chuvoso e húmido, já que a inclinação do terreno é baixa.

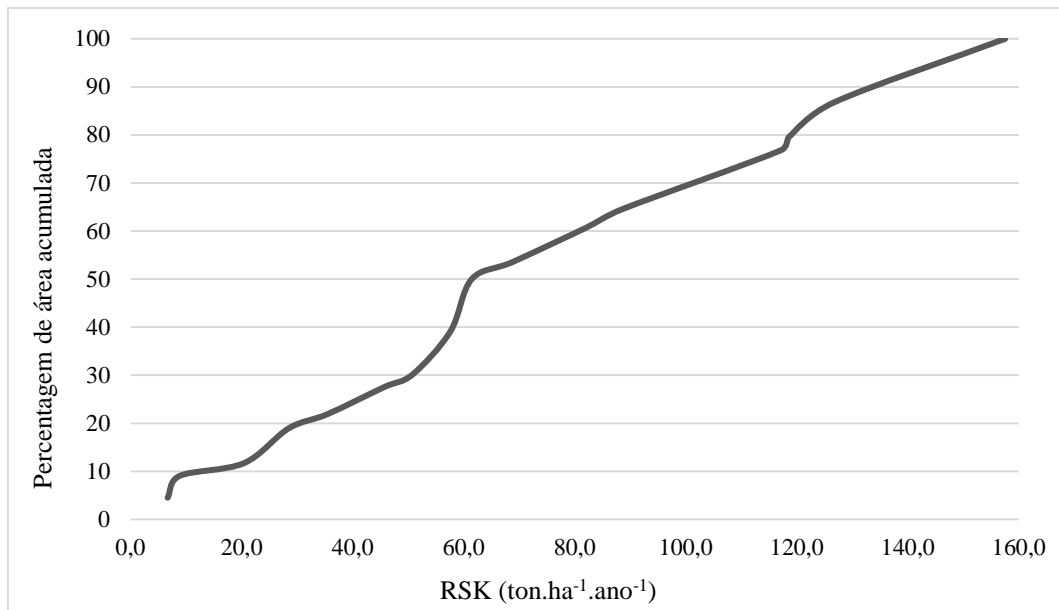


Gráfico 14 - Dispersão de RKS global pela percentagem de área acumulada das áreas ardidadas estudadas

Em média 50% das áreas estudadas apresentaram perda de solo abaixo de 65 ton.ha⁻¹. Menos de 10% das áreas estudadas se encontram abaixo de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, logo, os demais ambientes apresentam risco severo de erosão do solo.

Tendo em consideração que os Leptosolos são solos incipientes e delgados, agrava a preocupação com essas áreas, pois esses solos são jovens e pouco desenvolvidos o que acaba propiciando ainda mais o processo de desertificação.

5 CONCLUSÃO

Com este trabalho pode-se constatar a existência de uma elevada ocorrência de incêndios na região NE Portugal, já que o número médio por ano de ocorrências corresponde a cerca de 715 e as áreas atingidas estendem-se por 1555 km² do território.

Os incêndios em ambientes de matos correspondem a 70% do total das áreas queimadas, sendo que ambientes de floresta correspondem a 20% e agrícola a 10%. A muito expressiva importância dos matos enquanto áreas afetadas por incêndios sugere causas relacionadas com o combustível acumulado em extensões tendencialmente maiores, face à rarefação da população rural e ao abandono da terra e, por outro lado, sugere ainda que à baixa densidade populacional estará associado menor controlo social sobre essas áreas, deste modo, sendo menos vigiadas e fiscalizadas.

A grande maioria das áreas ardidas correspondem a solos sem aptidão para os usos agrícola, pastagem e floresta. A recorrência dos incêndios geralmente ocorre em períodos de 4 anos e em períodos de 7 e 9 anos, sendo que a maior extensão reardida ocorreu em um intervalo de 6 anos, em que 1100 hectares voltaram a queimar.

Na estimativa de perdas potenciais de solo das áreas ardidas, realizou-se a avaliação de 75% das áreas queimadas. Estas apresentaram Fator erosividade entre 671 a 1493,5 MJ.ha⁻¹ e Fator erosividade após a correção devido à presença de elementos grosseiros baixo (78%). O Fator declividade apresentou valor de 0,63 para declives mais baixos e 7,87 para a classe mais alta de declividade.

A partir do produto RK verifica-se que a perda de solo foi mais elevada para as unidades solo Iug, Isg em ambiente Subúmido Chuvoso, com valores superiores a 44 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Já para os resultados do produto entre os fatores R, K e S, pode-se verificar que a maior perda de solo (157,56 ton.ha⁻¹.ano⁻¹) encontra-se no ambiente Semiárido nas unidades solo Isg, Iug.

A grande maioria dos resultados tanto para os RK como para os RKS foram superiores a 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, ou seja, estes ambientes apresentam-se com risco de erosão severa, sem contar que esses solos são classificados como Leptosolos, deste modo são solos incipientes, delgados, ou seja, solos jovens de pouca profundidade, agravando ainda mais o nível da degradação.

Os resultados encontrados possibilitam efetuar trabalhos posteriores, comparando os valores estimados para perda de solo das áreas queimadas com a Carta

de perda de solo por erosão hídrica da Europa (JRC), a fim de propor melhorias e levantar interesse sobre possíveis subestimações de valores de perda de solo nos ambientes de áreas aridas.

Com isso, o trabalho apresentou uma contribuição para a investigação pedológica e agronômica nas áreas aridas, permitindo um conhecimento mais amplo sobre este território do Distrito de Bragança no NE Portugal, no que respeita à ocorrência, magnitude e distribuição de processos de erosão hídrica, a partir da análise das estatísticas dos incêndios ocorridos no Distrito entre 1990 e 2015. Ao estimar as perdas potenciais de solo nas áreas aridas e suas consequências para a degradação do recurso solo na região, contribuiu para recomendar que as atividades a serem realizadas devem ser as mais adequadas de acordo com suas características, buscando o não comprometimento do valioso recurso solo.

REFERÊNCIAS

- Alexandre, C. (2015). Funções, usos e degradação do solo. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, & L. Nunes (Eds.), *Proteção do Solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (pp. 1–14). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- Agroconsultores e Coba. (1991). *Carta dos solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. (UTAD/PDRITM, Ed.). Vila Real.
- Arnoulds, H.M.J. An approach to the assessment of erosion forms and erosion risk on agricultural land in the northern Paris Basin, France. In: Bordman J, Foster DL, Dearing JA (eds). *Soil erosion on agricultural land*. Wiley, Chischester, p. 383-400.
- Bernardino, Sofia; Lourenço, Luciano e Gonçalves, Joana (2013). Incêndios Florestais e Risco de Ignição nos Distritos de Coimbra e Castelo Branco, entre 1981 e 2010. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*, p. 45 - 61.
- Blanco, H., & Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer.
- Blum, W. H. (1997), Basic Concepts: Degradation, Resilience, and Rehabilitation. In R. Lal; W. H. Blum; C. Valentine & Stewart B. A. (Eds.) *Methods for Assesment of Soil Degradation*. (pp. 31 – 55). Advnces in Soil Science, Boca Raton, Fla.
- Boardman, J., & Poesen, J. (2006). *Soil Erosion in Europe Editors*. (L. John Wiley & Sons, Ed.), *John Wiley and Sons*. England.
- Campo, J., Andreu, V., Gimeno-García, E., González, O., & Rubio, J. L. (2006). Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology*, 82(3–4), 376–387.
- Cerdà, A., & Lasanta, T. (2005). Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees: 1. Water and sediment yield. *Catena*, 60(1), 59–80.
- Cerda, A., & Robichaud, P. R. (2009). *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*. (M. J. HAIGH, Ed.) (Vol. 5). Oxford, UK: Science Publishers.
- Coelho, C., & Valente, S. (2015). Envolvimento dos agentes locais na identificação de soluções para o combate à desertificação e degradação do solo. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, & L. Nunes (Eds.), *Proteção do solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (pp. 37–46). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- COM. (2006). Proposta de Directiva do parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro para a protecção do solo e altera a Directiva 2004/35/CE. Bruxelas: Commission of European Communities. 31 p.b
- Cunha, L. (2003). A montanha do centro português: espaço de refúgio , território marginal e recurso para o desenvolvimento local. *Territórios, Ambiente E*

Trajectórias de Desenvolvimento, Ed. Caetano, Lucília (Coord.), (175–191), 175–191.

- Diyabalanage, S., Samarakoon, K. K., Adikari, S. B., & Hewawasam, T. (2017). Impact of soil and water conservation measures on soil erosion rate and sediment yields in a tropical watershed in the Central Highlands of Sri Lanka. *Applied Geography*, 79, 103–114.
- Figueiredo, Tomás de (1989). Estimativa de Erodibilidade em alguns perfis de Unidades de Solo representativas de Trás-os-montes: 1 primeira aproximação. Instituto Politécnico de Bragança Eds. 16 p.
- Figueiredo, Tomás de (2001). Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: Contributo para a interpretação de registos em vinhais ao alto na Região do Douro. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real.
- Figueiredo, T. (2015). *Protecção do Solo em Viticultura de Montanha: Manual Técnico para a Região do Douro*. ADVID Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense, Peso da Régua. (autor e editor). Disponível em: <http://www.advid.pt/noticias?codNoticia=317>. Acesso em: 20 de jun. 2017.
- Figueiredo, T. (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano* (Instituto), p. 47.
- Figueiredo, T. de, & Fonseca, F. (2009). Soil conservation Measures: classification and description. In N. Evelpidou & T. de Figueiredo (Eds.), *Soil Protection in Sloping Mediterranean Agri-Environments Lectures and exercises* (pp. 77–85). Bragança - PT: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- Figueiredo, Tomás de; Araújo, J. e Castro, J.P.M. de (2000). A Carta dos Solos do Nordeste de Poertugal em SIG. ESAB, Bragança.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Hernández, Z. (2015a). Uso da terra e riscos de degradação do solo no Nordeste de Protugal: mudanças nas últimas décadas. In M. do C. Horta & C. Alexandre (Eds.), *Proteger as funções do solo Assegurar a vida da Terra* (pp. 63–69).
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Nunes, L. (2015b). Os solos a suscetibilidade à desertificação no NEde Portugal. In T. de Figueiredo, F. Fonseca & L. Nunes (Eds.), *Protecção do solo e Combate a desertificação* (pp. 87–100). Bragança - PT: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Pinheiro, H. (2014). Fire hazard and susceptibility to desertification: a territorial approach in NE Potugal. In P. e S. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos (Ed.), *RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança* (pp. 117–121). Guimarães.
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Queirós, A. (2013). Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: Resultads de um ano de ensaios no Parque Natural de Montesinho. In A. Bento-Gonçalves & A. Vieira (Eds.), *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos* (pp. 267–277).

- Gardi, C., Tomaselli, M., Parisi, V., Petraglia, A., & Santini, C. (2002). Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology*, 38(1), 103–110.
- Hudson, N. W. (Norman Webster) (1981). Soil conservation (2nd ed). Cornell University Press, Ithaca, N.Y
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I. P., & Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, P. e de P. Fl. (2013). Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental 2013.
- Lafren, M. J. & Roose J. E. (1997), Methodologies for Assessment of soil Degradation Due to Water Erosion. In R. Lal; W. H. Blum; C. Valentine & Stewart B. A. (Eds.), *Methods for Assesment of Soil Degradation*. (pp. 31 – 55). Advnces in Soil Science, Boca Raton, Fla.
- Lepsch, I. F. (2010). *Formação e conservação dos solos* (2 ed). São Paulo.
- Lima, E. C. De. (2016). *Comparação da eficácia de tecnologias para o controlo da perda de solo em áreas ardidas no Nordeste de Portugal aplicando modelo de erosão*. Instituto Politécnico de Bagança - IPB.
- Lopes, A., S. 1978. *Manual do Solo*. São Paulo. Potafos.
- McCool, D.K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., Meyer, L.D. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 30:1387-1396.
- Molina, M. J., & Sanroque, P. (1996). Impact of fires on desertification processes: a review in relation to soil erodibility. In J. L. Rubio & A. Calvo (Eds.), *Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Enviroments* (pp. 143-163). Geoforma Ediciones, Logroño.
- Monteiro, A., Ferreira, C., Madureira, H., Quenol, H., Maciel, Â., Pinto, A., ... Guerner, J. (2005). ATLAS AGROCLIMATOLÓGICO DO ENTRE DOURO E MINHO.
- Moreira, F., Catry, F. X., Silva, J. S., & Rego, F. (2010). *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*. ISAPress. ISA Press.
- Morgan, R. P. C. (2005). Soil erosion and cnservation. (BLACKWELL PUBLISHING, Ed.) (3 ed.). Australia.
- Nave, A., & Lourenço, L. (2007). Grandes incêndios florestais registados na área situada entre as superfícies culminantes das serras do Açor e da Estrela. *Riscos Ambientais E Formação de Professores (Actas Das VI Jornadas Nacionais Do Prosepe)*, 95–121.
- Neary, D. G. ., Ryan, K. C. ., & DeBano, L. F. (2005). *Wildland Fire in Ecosystems, effects of fire on soil and water* (USDA-Uni, Vol. 4). Ogden.
- Nogueira, Clotilde; Fonseca, Felícia e Figueiredo, Tomás (2015). Avaliação temporal do efeito do fogo controlado em propriedades químicas do solo, em áreas de montanha com matos. In M. do C. Horta & C. Alexandre (Eds.), p. 31-38.
- Nunes, A., Lourenço, L., Bento-Gonçalves, A., & Vieira, A. (2013). Abstract : Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais

- fatores responsáveis. In *Cadernos de Geografia* (NICIF, Vol. 32, pp. 133–143). Coimbra.
- Osman, K. T. (2014). *Soil degradation, conservation and remediation*. (Springer, Ed.), *Soil Degradation, Conservation and Remediation*.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., ... Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447.
- Reinert, J. R., & Reichert, J. M. (2006). Propriedades física do solo. In *Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais* (p. 18).
- Santos, H. G. dos, Almeida, J. A., Oliveira, J. B. de, Lumbreras, J. F., Anjos, L. H. C. dos, Coelho, M. R., ... Oliveira, V. Á. de. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de Solos*. (Embrapa, Ed.) (3ª Edição).
- Schumacher, M. V., Brun, E. J., & Calil, F. N. (2005). *CFL 506 - Proteção Florestal*. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Singer, M. J. & Munns, D. N. 1931- (2002). *Soil: an introduction*. (5th ed) Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Wilson, M. J., & Maliszewska-Kordybach, B. (1997). *Soil Quality, Sustainable Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe* (Springer-S). Pulawy, Polonia.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook No. 537*, (537), 285–291.
- Zachar, D. (1982). *Soil Erosion. Developments in Soil Science 10*. Bratislava: Veda, Publishing of house of the Slovak Academy of Sciences.
- Xanthakis, M., Pavlopoulos, A. (2009). Soil erosion. In: Evelpidou, N.; Figueiredo, T. *Soil protection in sloping mediterranean agri-environments: Lectures and exercises*. (p. 45-52). Bragança: Instituto Politécnico de Bragança (IPB).