

SIMONE RODRIGUES DE MAGALHÃES

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM DIFERENTES PERÍODOS E  
CONFIGURAÇÕES DA PAISAGEM DA FREGUESIA DE DEILÃO – PORTUGAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M188a  
2011

Magalhães, Simone Rodrigues de, 1986-

Análise do comportamento do fogo em diferentes períodos e configurações da paisagem da freguesia de Deilão-Portugal / Simone Rodrigues de Magalhães. – Viçosa, MG, 2011. vii, 47f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 42-45.

1. Fogo e ecologia. 2. Ecologia das paisagens.  
3. Markov, Processos de. 4. Automato celular. 5. Paisagens fragmentadas. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

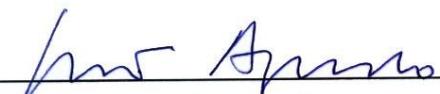
CDO adapt. CDD 634.943

SIMONE RODRIGUES DE MAGALHÃES

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM DIFERENTES PERÍODOS E  
CONFIGURAÇÕES DA PAISAGEM DA FREGUESIA DE DEILÃO – PORTUGAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa Pós-Graduação em Ciência Florestal,  
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 DE JULHO DE 2011



Prof. João Carlos Martins  
Azevedo



Prof. José Manuel Correia dos  
Santos de Castro



Prof. Guido Assunção Ribeiro



Prof. Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio e oportunidade de realizar este trabalho em Portugal.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e a todos os seus funcionários, os quais sempre estiveram prontos e dispostos para me auxiliar. Em especial à Marquione, à Jamile, à Ritinha, à “Ritinha da pós”, à Imaculada e ao Tadeu pela amizade durante estes seis anos em que estive em Viçosa.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Florestal pelos ensinamentos, pelo incentivo e pela amizade.

Ao professor Guido por me apresentar a área dos incêndios florestais e pelo auxílio nos trabalhos.

Aos pesquisadores da UTAD, Paulo Fernandes e Carlos Loureiro, pela disposição e atenção dedicadas à realização deste trabalho.

Aos professores João Azevedo e José Castro por me receberem e auxiliarem durante a minha estadia no Instituto Politécnico de Bragança em Portugal.

Ao meu orientador Charles pela credibilidade, incentivo, apoio, paciência e lições de vida das quais nunca me esquecerei.

Á minha família pelo apoio e amor incondicional.

Ao Senhor por tudo que sou e conquistei durante toda a minha vida.

“O SENHOR é a minha luz e a  
minha salvação; de quem terei  
temor? O SENHOR é o meu  
forte refúgio; de quem terei  
medo?”

Salmo 27:1

## **BIOGRAFIA**

SIMONE RODRIGUES DE MAGALHÃES, filha de Elias Antônio de Magalhães e Juliana de Lima Rodrigues de Magalhães, nasceu em 10 de março de 1986 em São Paulo, São Paulo.

Ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa em 2005, graduando-se em julho de 2009.

Em agosto de 2009 ingressou no curso de Mestrado em Ciências Florestais na Universidade Federal de Viçosa, submetendo a defesa de sua dissertação em 12 de julho de 2011.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo Geral .....	3
2.2. Objetivos Específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1. Alteração e ecologia da paisagem .....	4
3.2. Alteração da paisagem e comportamento dos incêndios .....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4.1. Área de Estudo .....	10
4.2. Cartas de Uso e Ocupação de Solo .....	12
4.3. Projeção da Paisagem Futura .....	12
4.4. Estrutura da paisagem .....	19
4.3.1. Estatísticas ao nível da paisagem .....	19
4.4.2. Estatísticas ao nível da classe .....	21
4.5. Análise do comportamento do fogo .....	22
5. RESULTADOS .....	28
5.1. Estrutura da paisagem .....	28
5.2. Comportamento do fogo .....	32
6. DISCUSSÃO .....	38
7. CONCLUSÃO .....	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
APÊNDICE A .....	46

## RESUMO

MAGALHÃES, Simone Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Análise do comportamento do fogo em diferentes períodos e configurações da paisagem da freguesia de Deilão – Portugal**. Orientador: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

Este trabalho teve como objetivo analisar a variação no comportamento do fogo conforme as alterações na paisagem da freguesia de Deilão, por meio da estrutura e configuração da paisagem no passado e sua projeção no futuro. As cartas de uso e ocupação do solo foram os inputs para projeção da paisagem futura e para a análise do comportamento do fogo. Para predição da distribuição espacial do uso e ocupação do solo utilizou-se o método CA\_Markov que combina os modelos Markov e Cellular Automata (CA), no software IDRISI versão Kilimanjaro. A estrutura da paisagem foi quantificada por meio de métricas da paisagem calculadas pelo software Fragstats versão 3.3. O modelo FlamMap versão 3 foi utilizado para analisar o comportamento do fogo nas paisagens dos anos de 1958, 1968, 1980, 1992, 2006, 2020, 2032, 2044 e 2054. Durante o período analisado a ocupação do solo por florestas aumentou expressivamente, ocupando a maior parte da freguesia na forma de grandes áreas contínuas. As áreas agrícolas e aquelas ocupadas por capoeiras tenderam a formar pequenos agrupamentos. Em geral, a diversidade da paisagem aumentou, porém a dominância das florestas no futuro ocasionou redução deste parâmetro. Os cenários observados em Deilão indicam uma tendência à simplificação da paisagem, o que pode facilitar a ocorrência de maiores e mais graves incêndios. A análise dos resultados obtidos indica uma tendência ao aumento do perigo de incêndios na região, possivelmente devido ao aumento do combustível pelas alterações sociais e falta de gestão florestal. Caso o sistema silvicultural não seja modificado, a intensidade do fogo e a atividade do fogo em copas podem aumentar, acarretando sérios prejuízos à região. Por outro lado, se forem tomadas medidas no sentido de diminuir a severidade do fogo o cenário poderá ser diferente.

## ABSTRACT

MAGALHÃES, Simone Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Analysis of fire behavior in different periods and settings of the landscape of the parish of Deilão - Portugal.** Adviser: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

This study aimed to analyze the variation in fire behavior with changes in the landscape of the parish of Deilão through the structure and configuration of the landscape in the past and its projection into the future. The cards of use and land cover were the inputs for the projection of future landscape and analyze of fire behaviour. To predict the spatial distribution of soil use and occupation, we used the method that combines CA\_Markov Markov models and Cellular Automata (CA), in the software IDRISI version Kilimanjaro. The landscape structure was quantified using landscape metrics calculated by software Fragstats version 3.3. The model FlamMap version 3 was used to analyze the behavior of fire in landscapes of the years 1958, 1968, 1980, 1992, 2006, 2020, 2032, 2044 and 2054. During the period analyzed the forest lands increased significantly, occupying most of the parish in the form of large contiguous areas. Agricultural areas and those occupied by shrubs tended to form small clusters. In general, the diversity of the landscape increased, but the dominance of forests in the future led to decrease in this parameter. The scenarios seen in Deilão indicate a tendency towards simplification of the landscape, which may facilitate the occurrence of larger and more serious fires. The analysis of results indicate a trend to increased fire danger in the region, possibly due to increased fuel by social changes and lack of forest management. If the management system is not modified, the intensity of fire and fire activity in the canopy may increase, causing serious damage to the region. On the other hand, if measures are taken to lessen the severity of the fires this scenario may be different.

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais geram diversos prejuízos econômicos e ambientais, sendo motivo de preocupação em nível mundial. Os incêndios contribuem com a poluição atmosférica, com as mudanças climáticas e constituem um dos eventos mais danosos aos ecossistemas. Apesar dos estudos científicos desenvolvidos e da ampla divulgação pela mídia, os efeitos causados pelo fogo vêm sendo ignorados. Segundo Dalcumene e Santos (2005), os incêndios têm sido um dos principais agentes de degradação florestal.

Nas últimas décadas, os incêndios florestais tornaram-se um dos maiores problemas ecológicos dos ecossistemas mediterrâneos, devido à elevada frequência e severidade com que têm ocorrido (BROOKS et al., 2004). Esta situação é favorecida pelas características climáticas da região, com alta precipitação no inverno e, com verão seco e longo (RAMOS e VENTURA, 1992). Dentre os países da Europa mediterrânea, Portugal é o país mais afetado pelos incêndios florestais, apresentando o maior valor de área queimada por superfície florestada (PEREIRA et al., 2006). Em termos espaciais, os incêndios florestais estão concentrados principalmente na região norte do país, acima do rio Tejo. Em relação à área queimada, o interior do país registra os maiores valores, devido a continuidade da paisagem e a razões demográficas (SILVA e CATRY, 2006).

A ocorrência de incêndios, de uma maneira geral, está associada tanto a agentes causadores, quanto às condições do ambiente. Sendo assim, é importante conhecer a forma como esses fatores influenciam na ocorrência e propagação do fogo (NUNES, 2005). Nesse sentido, a ciência que estuda o fogo em vegetação desenvolve estudos para caracterizar o comportamento do fogo, que varia tanto no espaço quanto no tempo.

O estudo do comportamento do fogo é importante para auxílio à tomada de decisão em atividades de manejo, tais como a execução de queimadas controladas e na proposição de estratégias de combate. Nestes estudos, desenvolvem-se modelos para simular a propagação do fogo na paisagem, os quais combinam informações acerca dos principais fatores diretamente relacionados com o comportamento do fogo (PYNE et al., 1996).

O arranjo espacial dos componentes que formam a paisagem tem grande influência sobre o regime e comportamento do fogo. A homogeneização da paisagem favorece a propagação das chamas, o que pode resultar em incêndios de maiores dimensões. Geralmente áreas não ocupadas pelo homem ou intensamente antropizadas tendem a ser mais homogêneas. Por outro lado, paisagens que combinam a

heterogeneidade biofísica com a influência humana podem ser bastante complexas. Neste sentido, o abandono da agricultura em tais paisagens pode intensificar a ocorrência de incêndios devido ao acúmulo de carga combustível e à homogeneização da paisagem.

Os efeitos da alteração da paisagem sobre o comportamento do fogo têm sido tratados na literatura. Moreira et al. (2001) encontraram aumento do número de incêndios ao longo da mudança na estrutura da paisagem no Nordeste de Portugal. Índices de homogeneidade (Homogeneity e Angular Second Moment) foram positivamente correlacionados com a ocorrência de fogos em Valencia, Espanha (VEGA-GARCIA e CHUVIECO, 2006). Lloret et al. (2002) também encontraram similar tendência por meio de testes estatísticos com padrões da paisagem e dados de fogo na Catalunha, Espanha. Azevedo et al. (2011) relataram diminuição na heterogeneidade da paisagem e aumento nas condições favoráveis à ocorrência de incêndios maiores e mais graves ao longo do tempo na freguesia de França em Portugal. No entanto, estudos sobre estas questões em Portugal são escassos e, além desses, também são necessários estudos que permitam antecipar alterações futuras na paisagem e os correspondentes efeitos ecológicos e ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho visou analisar a variação no comportamento do fogo conforme as alterações na paisagem da freguesia de Deilão, em nível de sua estrutura e configuração, com base numa análise de dados do passado e sua projeção no futuro.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar as alterações da composição e configuração espacial (heterogeneidade) da paisagem de Deilão entre 1958 e o presente.
- Descrever as tendências futuras de alteração do uso do solo e de heterogeneidade da freguesia de Deilão com base nas alterações verificadas desde 1958.
- Analisar o efeito das alterações da paisagem de Deilão no comportamento do fogo, por meio de modelação e simulação.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Alteração e ecologia da paisagem**

Nos últimos anos, a estrutura dos usos do solo na Europa tem sido marcada por constantes alterações no contexto político, econômico, social e cultural das paisagens rurais. Dentre os principais fatores que influenciam tais mudanças destaca-se a Política Agrícola Comum (PAC), a qual se baseia em ajudas diretas à produção. Para a União Europeia, manter a diversidade das zonas rurais implica respeitar o princípio da subsidiariedade por parte da política de desenvolvimento rural (BERNARDES, 2005).

Com o tempo, a tradicional PAC mostrou-se insustentável, gerando diversos problemas tais como excesso de produção agrícola e aumento exponencial das despesas da União Europeia com a agricultura e na resolução de problemas ambientais. Tal situação levou a Comissão Europeia a reorientar suas bases e propor uma reforma gradual. Ao longo do processo de reforma da PAC, as medidas adotadas nas últimas décadas tiveram maior impacto em Portugal. Na Terra Fria Transmontana, unidade de paisagem do nordeste de Portugal, as mudanças na PAC e legislações posteriores que exerceram maior influência na configuração da paisagem foram: i) Agenda 2000: aumentou as compensações concedidas aos agricultores com vista a equilibrar a perda de rendimentos resultante do progressivo desaparecimento das restituições à exportação; ii) Regime de Pagamento Único: instituiu-se um sistema desligado de resultados produtivos que visa eliminar a produção de excedentes e equilibrar, desse modo, a oferta e a procura; iii) Princípio da condicionalidade, no qual os agricultores devem realizar uma série de tarefas para manter em boas condições agronômicas e ambientais; iv) Directiva 79/409 (Directiva Aves) e Directiva 92/43 (Directiva Habitats): documentos que estabelecem as bases para a proteção e conservação da fauna selvagem e dos habitats da Europa, apontando para a criação de uma rede ecologicamente coerente de áreas protegidas; v) Medidas Agro-Ambientais (MAA): medidas de apoio aos métodos de produção agrícola destinados a proteger o ambiente, manter o espaço natural e contribuir para a realização das políticas comunitárias de agricultura e de ambiente; vi) Indenizações Compensatórias: favorecem o cultivo das parcelas com menor risco de erosão e a manutenção das áreas com espécies de forrageiras, principalmente os lameiros (BERNARDES, 2005).

Certamente, as modificações na PAC e outras legislações que tratam do uso e ocupação do solo promoverão a alteração na organização do território. No entanto,

existem incertezas quanto às dinâmicas futuras do uso do solo, e se estas dinâmicas manterão a diversidade das zonas rurais tradicionais em equilíbrio com o meio.

Para o bom funcionamento desta proposta, a manutenção do equilíbrio ambiental é uma condição indispensável. Embora esta seja uma preocupação consolidada, ainda ocorrem catástrofes ambientais, tais como os incêndios florestais. A ocorrência recorrente dos incêndios pode indicar os efeitos reais da evolução do território, nas últimas décadas, sobre a natureza. Assim, as preocupações ambientais com o espaço rural devem exigir uma maior atenção aos desenvolvimentos da PAC, particularmente as medidas com consequências sobre a paisagem (BERNARDES, 2005).

A abordagem dos estudos sobre a paisagem, com notáveis preocupações no domínio do ordenamento do território, bem como na gestão e conservação dos recursos naturais tem a ecologia da paisagem como base científica (BERNARDES, 2005). A paisagem refere-se a uma área contendo um mosaico de manchas ou elementos que interagem e são relevantes para o fenómeno em estudo (FORMAN e GODRON, 1986). Segundo estes autores, a ecologia da paisagem envolve o estudo de padrões da paisagem, a interação entre as manchas no interior do mosaico da paisagem e a forma como padrões e interações mudam no tempo. Considera também o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos.

Os três objetos fundamentais da ecologia da paisagem são a estrutura, a função e a dinâmica (FORMAN e GODRON, 1986). A saber:

- Estrutura: trata-se da distribuição espacial dos elementos da paisagem, mais especificamente, a distribuição de energia, materiais, e espécies, em relação a tamanhos, formas e configurações dos ecossistemas.
- Função: corresponde as interações entre elementos espaciais, ou seja, as transferências de energia, materiais e espécies ao longo das componentes dos ecossistemas.
- Dinâmica: trata-se da alteração na estrutura e funcionamento do mosaico ecológico no tempo.

A ecologia da paisagem baseia-se na influência dos padrões espaciais da paisagem sobre os processos ecológicos. A capacidade da quantificação da estrutura da paisagem é um pré-requisito para o estudo do funcionamento e alteração da paisagem. Nesse sentido foram desenvolvidas métricas que descrevem o padrão espacial, as quais podem se dividir em três níveis: mancha (patch metrics), classe (class metrics) e paisagem (landscape metrics) (MCGARICAL e MARKS, 1995). A saber:

- Métricas ao nível da mancha (pach metrics): são definidas para manchas individuais e caracterizam a configuração espacial e o contexto das manchas. Em muitas aplicações, estas métricas da paisagem servem primeiramente como base computacional para outras métricas da paisagem. Algumas vezes as métricas de mancha podem ser importantes e informativas em investigações ao nível da paisagem.
- Métricas ao nível da classe (class metrics): são integradas em relação a todas as manchas de um dado tipo. Essas métricas podem ser obtidas por média simples ou média ponderada que tenha em conta a área da mancha. Existem propriedades adicionais em nível da classe que resulta da configuração única das manchas na paisagem. Em muitas aplicações, o interesse principal é a quantidade e distribuição de um tipo particular de mancha.
- Métricas ao nível da paisagem (landscape metrics): são integradas em relação a todos os tipos de manchas ou classes em toda a paisagem. Como as métricas de classe, estas métricas podem ser obtidas por média simples ou média ponderada ou podem refletir propriedades do padrão.

O programa Fragstats, foi desenvolvido por McGarical e Marks (1995), para o cálculo de índices quantitativos de composição e configuração, habitualmente usados em ecologia da paisagem. Trata-se de um software de domínio público que permite o cálculo de inúmeros índices ao nível da mancha, da classe e da paisagem, em formato raster ou vetorial (MOREIRA, 2008).

As métricas podem ser agrupadas em duas categorias conforme a ponderação dos atributos espaciais. As métricas de composição não consideram os atributos espaciais, enquanto que as que quantificam a configuração espacial do mapa requerem informação espacial para os seus cálculos. A composição refere-se às características associadas com a variedade e abundância de tipos de manchas no interior da paisagem, sendo definidas em nível da paisagem. A configuração espacial das propriedades do sistema é mais difícil de quantificar e tem como objetivo a descrição das características espaciais de manchas individuais ou as relações espaciais entre múltiplas manchas (MCGARIGAL e MARKS, 1995).

Segundo McGarical e Marks (1995), as diversas métricas também podem ser classificadas em: métricas de área, de fragmentos, de bordas, de forma, de área central (“core”), de vizinho mais próximo, de contágio e mistura e, de diversidade. A saber:

- Métricas de área: são, em geral, as bases do conhecimento da paisagem, sendo utilizadas por outras métricas. São métricas muito úteis para estudos ecológicos,

uma vez que a riqueza e abundância de certas espécies dependem das dimensões das manchas da paisagem para existir.

- Métricas de fragmentos ou manchas: são importantes por caracterizarem as manchas e permitirem seu ordenamento por aspectos tais como grau de fragmentação e heterogeneidade.
- Métricas de bordas: representam, de forma implícita, a configuração da paisagem. A informação sobre a quantidade de bordas é um importante aspecto considerado em estudos ecológicos.
- Métricas de forma: geralmente correspondem a um índice geral da complexidade da forma em vez de atribuir um valor para uma única forma. As medidas mais comuns da complexidade da forma estão baseadas na quantidade de perímetro por unidade de área, usualmente indexados em termos da razão perímetro/área. A interpretação varia de acordo com as várias métricas da forma, mas em geral, altos valores significam maior complexidade de forma.
- Métricas de área central (“core”): a área central é definida como a área dentro de um fragmento separada da borda por uma distância pré-definida (ou uma operação de buffer). Tem sido considerada uma medida muito mais forte (do ponto de vista de previsão) de qualidade de habitats por especialistas de áreas interiores, do que a área dos fragmentos.
- Métricas de vizinho mais próximo: a distância ao vizinho mais próximo corresponde à distância de uma mancha para outra pertencente à mesma classe. As métricas baseadas nesta distância quantificam o isolamento e a proximidade.
- Métricas de contágio e mistura: são métricas que visam à quantificação da configuração da paisagem como um todo, em relação à disposição das classes na paisagem. Estas métricas são compostas pelos índices de contágio e intercalação.
- Métricas de diversidade: são métricas de composição.

### **3.2. Alteração da paisagem e comportamento dos incêndios**

A paisagem constitui um sistema dinâmico, onde os diferentes fatores se influenciam uns com os outros e evoluem em conjunto ao longo do tempo, determinando e sendo determinados pela estrutura global (ROQUE, 2001). Neste processo, o fogo constitui-se em uma perturbação ecológica com grande impacto na modelação da paisagem, uma vez que modifica rapidamente os componentes estruturais dos ecossistemas.

Diferentes regimes de incêndios originam os diferentes padrões de paisagem (BOND e MIDGLEY, 2001). No entanto, diferentes padrões de paisagem dão origem a diferentes padrões de propagação do fogo, o que implica uma interação entre os dois processos. Tal situação não se limita apenas à propagação, uma vez que mudanças na paisagem modificam o comportamento do fogo de uma forma geral.

O comportamento do fogo é traduzido pelas características da frente de chamas (velocidade de propagação, dimensões, energia liberada), que são determinadas pelo piro-ambiente, ou seja, pelas influências individuais e interação do combustível, meteorologia e topografia. O comportamento do fogo pode ser abordado em termos qualitativos como a combustibilidade, a qual se refere apenas às características do combustível, ou perigo de incêndio em que se consideram as características de todo piro-ambiente. A combinação do perigo de incêndio com a probabilidade de ocorrência resulta no risco de incêndio (FERNANDES e REGO, 2010).

As propriedades dos combustíveis com maior influência sobre o comportamento do fogo são o tipo, o arranjo, a carga, a distribuição por classes de dimensão, a continuidade e o teor de umidade. Os combustíveis podem ser classificados em mortos ou vivos, segundo sua atividade fisiológica. Estes também são denominados subterrâneos, superficiais e aéreos de acordo com o estrato em que aparecem. A continuidade ou arranjo espacial reflete a propagação das chamas, por facilitar ou limitar este processo. A carga de combustível corresponde à sua quantidade por unidade de área e atua diretamente sobre o potencial de liberação de calor. A dimensão e o teor de umidade influenciam o potencial do combustível para queimar (BEUTLING, 2005; FERNANDES e REGO, 2010).

Em um incêndio, o fogo desenvolve-se ao longo dos estratos de combustíveis dependendo da sua continuidade horizontal e vertical (FERNANDES e REGO, 2010). Tais características dependem da heterogeneidade da paisagem, a qual tem sido estudada em experimentos com pequenas parcelas com depósito de uma cama de combustível. Nestes experimentos observou-se que, uma vez que a transferência de calor é reduzida pela descontinuidade do combustível a propagação do fogo é reduzida (PYNE et al., 1996). Em geral, a massa de combustível, acumulada pode ter menor importância que o seu arranjo espacial se existirem lacunas que dificultem a transferência de calor (ROTHERMEL, 1972; FRANSEN e ANDREWS 1979). A heterogeneidade no arranjo espacial dos combustíveis também altera o tipo de fogo, que pode ser contra ou a favor da direção predominante do vento, e a complexidade do padrão das áreas queimadas. Em locais onde a descontinuidade do combustível impede

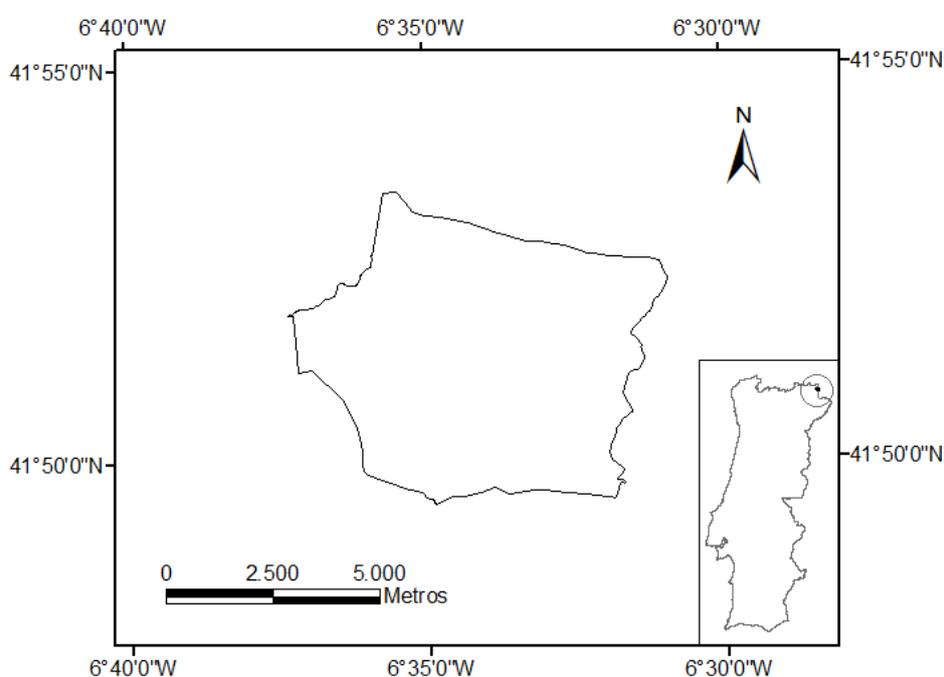
a queima de determinadas áreas ou se propaga por rotas menos diretas, as áreas atingidas podem tornar-se mais complexas (FINEY, 2001).

A tipologia vegetal é outro fator importante a ser considerado no estudo do comportamento dos incêndios florestais. Cada tipo vegetacional produz um material combustível característico com diferente estrutura, umidade e carga de combustível. Tais características tornam certos tipos vegetacionais mais susceptíveis que outros, o que reflete o padrão das áreas queimadas. Em Portugal, por exemplo, Nunes et al. (2005) observaram preferência dos fogos por matos (capoeiras) seguido de florestas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudo

A freguesia de Deilão localiza-se no nordeste de Portugal, no Concelho e Distrito de Bragança, sendo parte constituinte da unidade bioclimática da Terra Fria Transmontana. Possui uma área de 4.197 ha e apresenta elevada importância para a conservação da natureza, uma vez que integra o Parque Natural de Montesinho (PNM) e o Sítio PTCON0002 – Montesinho/ Nogueira da Rede Natura 2000. Em termos de ordenamento florestal, insere-se na área do Plano Regional de Ordenamento Florestal do Nordeste, integrando a sub-região Coroa-Montesinho (Figura 1) (PINHEIRO, 2009).



**Figura 1.** Localização da freguesia de Deilão – Portugal.

Os cursos de água, de regime torrencial, que percorrem a freguesia de Deilão são afluentes do Rio Sabor, o qual pertence à bacia hidrográfica do Rio Douro. O relevo é ondulado, variando em altitudes médias de 600-900 m, transitando entre planaltos e vales encaixados com declives acentuados. As cotas inferiores surgem no leito do Rio do Maçons, sendo 500 m a altitude mínima. A altitude máxima regista-se na cota 958 m, junto ao povoamento de Deilão (PINHEIRO, 2009).

O tipo climático verificado na área de estudo é de Terra Fria de Planalto, segundo a classificação bioclimática de Gonçalves (1991), adaptada por Agroconsultores e Coba (1991). No sistema de classificação de Rivas-Martínez (1987), os parâmetros bioclimáticos obtidos são apresentados na Tabela 1 (PINHEIRO, 2009).

Na região predominam os cambissolos úmbicos e dístricos, segundo a Carta de Solos do Nordeste de Portugal de Agroconsultores e Coba (1991). No fundo dos vales surgem pequenas unidades de solo de aluvião onde usualmente se estabelecem prados permanentes, os lameiros (PINHEIRO, 2009).

A freguesia de Deilão apresenta uma grande diversidade e fragmentação da paisagem. A ocupação do solo distribui-se em partes sensivelmente iguais de áreas agrícolas, florestais, e capoeiras. A área remanescente é ocupada pelos aglomerados urbanos e massas de água (PINHEIRO, 2009).

**Tabela 1.** Parâmetros bioclimáticos da freguesia de Deilão segundo a classificação de Rivas-Martínez (1987).

T	12,2 °C
Mi	7,5 °C
mi	1,3 °C
Tp	1458,0 °C
P	732,0 mm
Ic	17,0
It	209,0
Itc	209,0
Io	5,0
Ios2	0,5

T - temperatura média anual; Mi- média da temperatura máxima no mês mais frio, mi - média da temperatura mínima no mês mais frio, Tp - soma das temperaturas mensais superiores a 0°C; P – precipitação anual; Ic – índice de continentalidade; It – índice de termicidade; Itc - índice de termicidade compensado; Io – índice ombrotérmico; Ios2 - índice ombrotérmico estival compensável (Aguiar, 2001 cit. IPB/ICN, 2007). Fonte: Pinheiro (2009).

As áreas agrícolas constituem-se principalmente das culturas de sequeiros, as quais se destinam essencialmente à produção cerealífera. Em torno das áreas urbanas, a paisagem agrícola torna-se mais heterogênea, com a cultura de hortas e pomares.

Quanto ao estrato florestal, destacam-se as espécies resinosas, dentre as quais o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) é a principal. Os povoamentos desta espécie podem estar associados com *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus sylvestris* e *Pinus nigra* ssp. *larício*.

As matas de azinheira (*Quercus rotundifolia*), localmente conhecidas por sardoais ou carrascais, ocupam áreas consideráveis e ocorrem normalmente nas vertentes com maior declive. Nas margens dos cursos de água, surgem as espécies ripícolas como o choupo negro (*Populus nigra*), o choupo branco (*Populus alba*), o amieiro (*Alnus glutinosa*), salgueiros (*Salix* sp.) e por vezes o ulmeiro (*Ulmus minor*).

Nas áreas onde predominam os matos ou capoeiras, destacam-se os estevais e os urzais. Os estevais são compostos essencialmente por *Cistus ladanifer*, estando associados aos solos mais esqueléticos e delgados das zonas mais termófilas, dos quais são característicos. Os urzais, representados principalmente por *Erica australis* spp

*aragonensis*, aparecem associados à carqueja (*Pterospartum tridentatum* spp.*lasianthum*) e ao sargaço (*Halimium alyssoides*) que surgem nas zonas mais amenas.

Os giestais (*Cytisus multiflorus*) também estão presentes nestas áreas, porém em áreas menores. Surgem essencialmente como comunidades pioneiras colonizadoras das áreas agrícolas abandonadas. Quando acontecem em cotas mais baixas são enriquecidos com arçã (*Lavandula* sp.).

Na região, os prados permanentes são designados lameiros. Ocupam as zonas úmidas dos vales e encostas junto às linhas de água. Em geral, são regados por gravidade num sistema tradicional através de agueiras (canais em terra batida) que pode cessar nos períodos de maior seca.

A freguesia de Deilão está inserida em uma área com grande diversidade faunística. Dentre as espécies encontradas, pode-se mencionar a toupeira-de-água (*Galemys pyrenaicus*), o lobo (*Canis lupus*), a lontra (*Lutra lutra*), o veado (*Cervus elaphus*), o corço (*Capreolus capreolus*), a águia-real (*Aquila chrysaetus*), o açor (*Accipiter gentilis*), o tartaranhão-azulado (*Circus cyaneus*), o falcão-peregrino (*Falco peregrinus*), o bufo-real (*Bubo bubo*), a víbora-cornuda (*Vipera latastei*), entre outras (ROSA, 2006).

#### **4.2. Cartas de Uso e Ocupação de Solo**

As cartas de uso e ocupação do solo foram os inputs para projeção da paisagem futura e para o mapeamento de perigo de incêndios. Estas cartas foram elaboradas por Pinheiro (2009) a partir de ortofotomapas de 1958, 1968, 1980, 1992 e 2006, segundo a metodologia descrita pelo Instituto Geográfico Português (IGP), Manual da COS'2005 (CAETANO et al., 2006). A classificação utilizada atende a uma hierarquia, a qual representa o uso e ocupação do solo em diferentes níveis de detalhe temático. Para análise do comportamento do fogo utilizou-se o nível mais detalhado, no qual foram identificadas 27 classes de uso/ocupação do solo, posteriormente reagrupadas. Para análise da alteração da estrutura da paisagem utilizou-se o nível de menor detalhe, no qual foram identificadas 4 classes de uso e ocupação do solo.

#### **4.3. Projeção da Paisagem Futura**

As tendências para alteração do uso do solo resultam da interação do espaço e do tempo com os aspectos biofísicos, no qual o homem é o principal agente modificador.

Para realizar a projeção da paisagem futura é necessário selecionar um modelo de alteração de uso do solo. Estes modelos são ferramentas para compreender e explicar as causas e as consequências da dinâmica da alteração da paisagem. A escolha do modelo a ser utilizado deve considerar as escalas temporal e espacial, bem como a forma com que serão incorporadas as influências de multicritérios nos mais diversos domínios. Além destes aspectos, é importante considerar o formato dos dados de origem, a robustez e a transparência do modelo a ser aplicado (AGARWAL et al., 2002).

Os modelos Cellular Automata (CA) e Markov têm grandes vantagens no estudo de mudanças de uso da terra, no entanto ambos possuem desvantagens. O modelo de Markov tem sido amplamente utilizado em análises de mudanças de uso do solo, porém com modelo de Markov tradicional é difícil prever o padrão espacial de tais mudanças. O modelo de CA pode ser usado para simular a variação espacial do sistema de forma eficaz, porém este é afetado pelas incertezas decorrentes da interação entre elementos do modelo (PETERSON et al. (2009); (BATTY e XIE, 1999). Desta forma, a combinação de ambos os modelos, originando o modelo de CA-Markov, traz compensações para as desvantagens dos mesmos.

O CA-Markov é uma abordagem robusta na modelagem da dinâmica espacial e temporal das mudanças de uso do solo, uma vez que os sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto podem ser eficientemente incorporados (KOCABAS e DRAGICEVIC, 2006). O modelo de CA-Markov agrega os benefícios da série temporal e espacial das previsões Markov e teoria CA, adequando às mudanças de uso do solo aos efeitos de fatores naturais, sociais e econômicos (SANG, et al. 2010).

Para predição da distribuição espacial do uso e ocupação do solo utilizou-se o método CA-Markov e uma coleção de imagens no formato raster com resolução espacial de 25 m no software IDRISI versão Kilimanjaro. No entanto, este método exige que a coleção de imagens dos diferentes anos (1958, 1968, 1992, 2006) possua as mesmas classes de uso e ocupação do solo, incluindo a ordem em que aparecem. Assim, as classes foram reagrupadas de forma que em todas as cinco imagens utilizadas fosse identificada a mesma ordem de classes. A classe área queimada foi identificada apenas nas imagens de 1992 e 2006. Não sendo possível o seu agrupamento com outra classe, esta foi redistribuída em classes diferentes por meio da ferramenta Assign do software IDRISI. Neste processo, os pixels desta classe foram reagrupados em outras classes de uso e ocupação do solo. A dissolução da classe área queimada considerou as classes vizinhas e o uso do solo no ano de 2010 por meio da observação de imagens obtidas pelo satélite SPOT5, sensor HRG com resolução espacial de 2,5m.

Para projetar mudanças futuras, a análise de Markov descreve as mudanças no uso do solo de um período para outro a partir de um par de imagens. A análise de Markov fornece uma matriz de probabilidade de transição para uma data futura, a qual corresponde ao intervalo entre as duas imagens utilizadas, ou seja, se forem utilizadas imagens de 1980 e 2000, a matriz de probabilidade a ser gerada aplica-se ao ano de 2020. Estas matrizes foram obtidas por meio da ferramenta Markov do software IDRISI versão Kilimanjaro (APÊNDICE A). A imagem de 2006 foi utilizada como referência para comparar com aquelas obtidas nos anos de 1992, 1980, 1968 e 1958 (Tabela 2). Neste processo, atribuiu-se um erro proporcional de 0,15, pois é típico que os mapas de uso do solo apresentem precisão de 85%.

**Tabela 2.** Imagens comparadas e projeções obtidas na área de Deilão.

1ª Capa	2ª Capa	Futuro
1992	2006	2020
1980	2006	2032
1968	2006	2044
1958	2006	2054

No entanto, o modelo de Markov não possui referência geográfica, apenas fornece probabilidades de transição entre classes de uso do solo (APÊNDICE A). Para adicionar o caráter espacial ao modelo, utilizou-se o modelo Cellular Automata (CA), que desenvolve um filtro de contiguidade. Na essência, o filtro CA desenvolve um fator de ponderação espacialmente explícito que é aplicado a cada classe, considerando assim a dependência espacial entre os dados. O filtro de contiguidade é aplicado a uma série de mapas de aptidão, os quais fornecem a informação da maior ou menor aptidão do território para cada uma das classes de uso e ocupação do solo. Estes mapas foram elaborados com base nos fatores de influência, os quais foram analisados segundo a metodologia adaptada de Bernardes (2005). No presente trabalho foram adicionados outros fatores de influência além daqueles considerados por Bernardes (2005) e, a presença de baldios não foi abordada. Consideraram-se os seguintes fatores de influência:

- Declividade: este fator limita fortemente o cultivo de terras aráveis, não apenas por uma questão tecnológica, mas principalmente pelo cumprimento das boas práticas agrícolas, induzido pelo Índice de Qualificação Fisiográfica da Parcela (IQFP). O IQFP é um indicador que traduz a relação entre a morfologia da parcela e o seu risco de erosão. Na região, a declividade não favorece o surgimento do castanheiro/souto, do olival, e do lameiro; em contrapartida, contribui para o surgimento das capoeiras.

- Altitude: na região onde se insere a freguesia de Deilão, quanto menor é a altitude mais ameno é o clima e, por consequência, maior é a variedade de culturas agrícolas possíveis. Assim as ocupações prioritárias do ponto de vista do agricultor ganham prioridade sobre as demais.
- Distância da aldeia: em locais próximos às cidades as terras tendem a ser cultivadas, principalmente por tipos agrícolas, o que desfavorece a ocupação por capoeiras e lameiros.
- Distância dos cursos de água: os lameiros são particularmente afetados por este fator, uma vez que este tipo vegetacional está intimamente associado à água. As culturas agrícolas também são diretamente afetadas, visto a necessidade de irrigação.
- Dimensão da parcela: reflete a produtividade, tanto agrícola quanto florestal. Quanto menor a parcela mais fácil tornam-se os tratos culturais; assim, maior é a produtividade.
- Frequência de incêndios: o fogo favorece a colonização das áreas queimadas por capoeiras, tendo um impacto negativo em maior ou menor grau nas demais ocupações.
- Índice de resistência: a persistência na ocupação de um espaço por um uso pode indicar a probabilidade da sua continuidade no futuro. Para este se traduzir em fator, criou-se o índice de resistência à mudança.

A declividade e a altitude foram obtidas a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDE) no software ArcGIS 9.3.1. A distância à aldeia e aos corpos d'água referem-se à distância euclidiana, sendo calculadas no software ArcGIS 9.3.1. A dimensão da parcela refere-se ao tamanho da propriedade espacialmente representada, extraída do mapa das propriedades. A frequência de incêndios corresponde ao número de incêndios ocorridos na área, sendo determinada, no software IDRISI versão Kilimanjaro, a partir da sobreposição de feições raster referentes à área queimada. O índice de resistência refere-se ao número de vezes que o pixel pertenceu a determinada classe, ou seja, este índice reflete a resistência à mudança de classe do pixel. O índice de resistência fornece a probabilidade do pixel ter determinada ocupação e, ao contrário da análise de Markov, refere-se ao pixel e não à classe. O índice de resistência foi obtido de forma semelhante à frequência de incêndios; no entanto, é necessário separar cada classe de uso e ocupação do solo em uma imagem diferente e em seguida utilizar a função Count do IDRISI. Esta ferramenta calcula a percentagem de vezes que o pixel foi ocupado pela classe em relação à quantidade de imagens sobrepostas.

Para obtenção dos mapas de aptidão do terreno é necessário executar uma série de procedimentos multicritério, denominado Multi Criteria Evaluation (MCE) ou agregação por critérios múltiplos. No presente trabalho, o processo de MCE utilizado foi o Weighted Linear Combination (WLC) ou Combinação Linear Ponderada, implementada no programa IDRISI. Para executar o WLC é necessário padronizar os valores dos fatores de influência pela ferramenta Fuzzy. Nesta etapa atribuíram-se valores entre 0 e 255, por meio de funções lineares e sigmoidais crescentes ou decrescentes, conforme a classe e fator associado. Neste processo, selecionou-se o tipo de função e interação entre a classe de uso do solo e o fator de influência. Posteriormente, identificaram-se os pontos de controle das funções, os quais correspondem aos valores máximo e mínimo de cada fator, segundo a classe de uso e ocupação do solo analisada (Tabela 3).

O WLC tem como vantagem a possibilidade de atribuir diferentes pesos aos fatores, os quais indicam a sua importância relativa. Por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), desenvolvido por Saaty em 1970, atribuiu-se a importância relativa de cada fator. A principal característica deste processo é a capacidade de analisar um problema de tomada de decisão através da construção de níveis hierárquicos (CHEN et al., 2002). A escala de referência utilizada na avaliação, compreende os valores entre 1 e 9, que significam: 1 - igual importância, 3 - pequena importância, 5 - importância grande, 7 - importância muito grande, 9 - importância absoluta. Estes pesos são atribuídos em uma comparação paritária de fatores, elaborando-se assim, uma matriz ( $n \times n$ ) em que a diagonal principal recebe valor um. Este procedimento foi realizado para todas as classes de uso e ocupação do solo. A relação entre o índice de consistência (IC) e o índice aleatório ou randômico (IR) é chamada de razão de consistência, a qual deve ser menor 0,10 que (10%) (SAATY, 1980). Esta razão permite avaliar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos dos atores. O procedimento AHP foi realizado no software Expert Choice versão 11.

Para executar o WLC, cada fator padronizado foi multiplicado pelo seu peso correspondente, tendo como resultado as imagens de aptidão de uso do solo para cada classe de acordo com cada fator. A última etapa do procedimento de projeção da paisagem futura foi a execução do CA-Markov, em que foi utilizada a imagem de 2006 como imagem de referência, bem como a matriz de transição de áreas das imagens comparadas e a coleção de mapas de aptidão do uso e ocupação do solo como adequação de transição.

**Tabela 3.** Pesos atribuídos a cada fator de influência, funções correspondentes e respectivos pontos de inflexão segundo a classe de uso e ocupação do solo da freguesia de Deilão – Portugal.

Classe de uso do solo	Código	Fatores de Influência						
		Declividade	Altitude	Distância à aldeia	Distância às linhas de água	Dimensão da parcela	Frequência de incêndios	Índice de resistência
Aglomerado urbano/ Instalações agrícolas/ Áreas em construção	1	p= 0,079 sigmoidal decrecente a=5; b=40%	p=0,048 linear decrecente a=800; b=900m	p=0,225 linear decrecente a=500; b=3000m	p=0,117 sigmoidal crescente a=50; b=540m	p=0,049 linear decrecente a=0; b=29,1	p=0,023 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,459 linear crescente a=0; b=1
Culturas anuais de sequeiro	2	p=0,082 sigmoidal decrecente a=5; b=15%	p=0,039 linear decrecente a= 600; b=800m	p=0,114 linear decrecente a= 500;b= 500m	p=0,039 sigmoidal decrecente a= 50; b=500m	p=0,39 sigmoidal decrecente a= 0; b=15ha	p=0,141 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,208 linear crescente a=0; b=1
Vinha/Pomar /Olivais	3	p=0,033 sigmoidal decrecente a=5; b=40%	p=0,073 sigmoidal decrecente a= 600; b=800m	p=0,150 linear decrecente a=200; b=1000m	p=0,053 sigmoidal crescente a=50; b=400m	p=0,107 sigmoidal decrecente a= 0; b=1ha	p=0,213 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,371 linear crescente a=0; b=1
Lameiros	4	p=0,036 sigmoidal crescente a=40; b=80%	p=0,025 simoidal crescente a=580; b=900m	p=0,067 linear decrecente a=50; b=1000m	p=0,484 sigmoidal decrecente a= 50; b=100m	p=0,042 sigmoidal decrecente a= 0; b= 5ha	p=0,203 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,142 linear crescente a=0; b=1
Sistemas culturais e parcelares complexos	5	p=0,068 sigmoidal decrecente a=5; b=15%	p=0,042 linear decrecente a= 600; b=800m	p=0,142 linear decrecente a= 500; b= 500m	p=0,098 sigmoidal decrecente a= 50; b=100m	p=0,200 linear decrecente a= 0; b=0,5ha	p=0,026 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,424 linear crescente a=0; b=1
Agricultura com espaços naturais/SAF de castanheiro/ SAF de castanheiro com resinosas	6	p=0,104 sigmoidal decrecente a=5, b=15%	p=0,032 linear decrecente a= 600; b=800m	p=0,039 sigmoidal crescente a= 500; b=1500m	p=0,049 sigmoidal decrecente a= 50; b=500m	p=0,218 sigmoidal decrecente a= 0; b=20ha	p=0,191 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,367 linear crescente a=0; b=1

Fatores de Influência								
Classe de uso do solo	Código	Declividade	Altitude	Distância à aldeia	Distância às linhas de água	Dimensão da parcela	Frequência de incêndios	Índice de resistência
Florestas de azinheira/Florestas abertas de azinheira	7	p=0,098 sigmoidal crescente a=0 d=86%	p=0,044 sigmoidal decrecente a= 600; b=800m	p=0,065 sigmoidal decrecente a=200; b=4881m	p=0,033 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,104 linear crescente a=0,03; b=29,1	p=0,193 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,462 linear crescente a=0; b=1
Florestas de pinheiro bravo/ Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/ Vegetação esparsa	8	p=0,108 sigmoidal crescente a=0 d=86%	p=0,032 sigmoidal decrecente a= 600; b=800m	p=0,084 sigmoidal decrecente a= 500; b=2000m	p=0,053 sigmoidal decrecente a=50; b=500m	p=0,163 sigmoidal decrecente a=0; b=25ha	p=0,185 linear decrecente a=0; b=0,2857	p=0,375 linear crescente a=0; b=1
Estevais densos	9	p=0,026 sigmoidal decrecente a=5; b=70%	p=0,026 sigmoidal decrecente a=600; b=800m	p=0,144 linear crescente a=1000; b=4881m	p=0,027 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,158 linear crescente a=0,03; b=29,1	p=0,370 linear crescente a=0; b=0,2857	p=0,248 linear crescente a=0; b=1
Estevais pouco densos	10	p=0,027 sigmoidal decrecente a=5; b=70%	p=0,027 linear decrecente a=600; b=800m	p=0,130 linear crescente a=500; b=4881m	p=0,026 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,145 linear crescente a=0,03; b=29,1	p=0,376 linear crescente a=0; b=0,2857	p=0,268 linear crescente a=0; b=1
Giestais densos/Giestais pouco densos	11	p=0,034 sigmoidal decrecente a=5; b=70%	p=0,028 sigmoidal decrecente a=600; b=800m	p=0,107 linear crescente a=1000; b=4881m	p=0,024 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,174 linear crescente a=0,03; b=29,1	p=0,391 linear crescente a=0; b=0,2857	p=0,241 linear crescente a=0; b=1
Urzais densos	12	p=0,035 sigmoidal decrecente a=5; b=70%	p=0,028 sigmoidal decrecente a=600; b=900m	p=0,101 linear crescente a=1000; b=4881m	p=0,025 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,175 linear crescente a=0,03; b=29,1	p=0,393 linear crescente a=0; b=0,2857	p=0,243 linear crescente a=0; b=1
Urzais pouco densos	13	p=0,038 sigmoidal decrecente a=5; b=70%	p=0,030 linear decrecente a=600; b=900m	p=0,106 linear crescente a=500; b=4881m	p=0,027 linear decrecente a=50; b=540m	p=0,156 linear crescente a=0,03;b=29,1	p=0,399 linear crescente a=0; b=0,2857	p=0,244 linear crescente a=0; b=1

p= peso do fator de influência.

a= valor máximo do fator de influência

b= valor mínimo do fator de influência

#### 4.4. Estrutura da paisagem

A estrutura da paisagem foi quantificada por meio de métricas da paisagem calculadas pelo software Fragstats versão 3.3. Neste foram utilizadas imagens raster de uso e ocupação do solo no nível 1 de detalhamento da COS'2005, nas quais foram identificadas quatro classes (Tabela 4). Utilizaram-se como input arquivos no formato rdc importados do software IDRISI para representar a paisagem. Para cálculo das métricas optou-se pela distância entre manchas de 8 células e background com valor de 999.

**Tabela 4.** Classes de uso e ocupação do solo identificadas na freguesia de Deilão e agrupadas em nível de menor detalhe.

Classe de uso do solo	Código	Classes agrupadas
Territórios artificializados	1	Agglomerado urbano/Instalações agrícolas/Áreas em construção
Áreas agrícolas	2	Culturas anuais de sequeiro/Vinha/Pomar/Olivais/Lameiros/Sistemas culturais e parcelares complexos/Agricultura com espaços naturais/SAF de castanheiro/SAF de castanheiro com resinosas
Florestas	3	Florestas de azinheira/Florestas abertas de azinheira/Florestas de pinheiro bravo/Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/Vegetação esparça
Capoeiras	4	Estevais densos/ Estevais pouco densos/ Giestais densos/Giestais pouco densos/ Urzais densos/ Urzais pouco densos

##### 4.3.1. Estatísticas ao nível da paisagem

Como métricas ao nível da paisagem (Landscape metrics) calcularam-se: SHDI - Índice de Diversidade de Shannon (Shannon's Diversity Index), SIDI - Índice de Diversidade de Simpson (Simpson's Diversity Index), SHEI - Índice de Equitabilidade de Shannon (Shannon's Evenness Index), SIEI - Índice de Equitabilidade de Simpson (Simpson's Evenness Index).

Índice de Diversidade de Shannon (SHDI) é igual ao negativo da soma da abundância proporcional de cada tipo de mancha, multiplicada pelo logaritmo neperiano desta proporção.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$$

Onde:

P<sub>i</sub> = Proporção da paisagem ocupada pela classe i.

m = Número de classes totais da paisagem.

Este índice é uma medida popular de diversidade em ecologia de comunidades, sendo um pouco mais sensível a tipos raros de manchas que o índice de diversidade de Simpson (McGARIGAL e MARKS,1995).

O índice de diversidade de Simpson (SIDI) é definido pela seguinte fórmula:

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m (P_i)^2$$

Onde:

P<sub>i</sub> = Proporção da paisagem ocupada pela classe i.

m = Número de classes totais da paisagem.

Este índice assume valores entre 0 e ∞. Será igual a 0 quando uma categoria ocupar todo o espaço e, aumentará à medida que aumente a riqueza de classes e a sua equitabilidade (O'NEILL et al., 1986).

O índice de Equitabilidade de Shannon (SHEI) é igual ao SHDI dividido pelo logaritmo neperiano do número de classes totais da paisagem.

$$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$$

Onde:

P<sub>i</sub> = Proporção da paisagem ocupada pela classe i.

m = Número de classes totais da paisagem.

Este índice permite avaliar a perspectiva de fragmentação e de heterogeneidade da paisagem. Quanto maior for a equitabilidade da paisagem, mais se aproxima de um o valor de SHEI e mais diversa e fragmentada será a paisagem. SHEI será igual a zero quando uma categoria ocupe todo o espaço e, igual a um quando todas as classes se encontram na mesma proporção na paisagem (MCGARIGAL e MARKS, 1995).

O Índice de Equitabilidade de Simpson (SIEI) é o índice de diversidade de Simpson dividido pelo índice de diversidade de Simpson máximo.

$$SIEI = \frac{1 - \sum_{i=1}^n (P_i)^2}{1 - \left(\frac{1}{n}\right)}$$

Onde:

n = Número total de tipos de manchas.

P<sub>i</sub> = Proporção da paisagem ocupada por uma mancha do tipo i.

Este índice varia entre zero e um. O índice será igual a zero quando a paisagem possuir apenas uma mancha (paisagem homogênea) e aproxima-se de um, quando a

distribuição das superfícies entre os diferentes tipos de ocupação e uso for sendo cada vez mais equitativa (paisagem heterogênea) (MCGARIGAL e MARKS,1995).

#### 4.4.2. Estatísticas ao nível da classe

As métricas ao nível da classe (Patch metrics) calculadas foram: NP - Número de Manchas (Number of Patches), ED - Densidade de Borda (Edge Density) (m/ha), LSI - Índice de Forma da Paisagem (Landscape Shape Index), LPI - Índice da Maior Mancha (Largest Patch Index) (%), ENN-MN - Distância Euclidiana Média ao Vizinho Mais Próximo (m), COHESION (Patch Cohesion Index) - índice de Coesão.

O número de manchas (NP) e a densidade de borda (ED) são métricas de fragmentos e borda, respectivamente. O número de manchas (NP) refere-se ao número total de manchas pertencentes à determinada classe na área. A densidade de borda (ED) corresponde à soma total de bordas de todas as manchas pertencentes à determinada classe dividida pela área total da paisagem.

O índice de forma da paisagem (LSI) é uma métrica de forma. Este índice é igual ao comprimento total de borda (ou perímetro) da classe em questão, dada em número de pixels, dividido pelo comprimento mínimo de borda (ou perímetro) possível para uma classe agregada ao máximo, dado também em número de pixels, o que é conseguido quando a classe se acumula em uma mancha compacta. O LSI mede a relação perímetro-área para a paisagem como um todo, sendo o valor mínimo do LSI sempre igual a um quando uma classe é maximamente compacta (no nível de classe) ou a paisagem é constituída por uma única mancha (no nível da paisagem) (MCGARIGAL e MARKS,1995). Assim, maiores valores de LSI implicam maior desagregação da classe com conseqüente aumento da heterogeneidade da paisagem.

$$LSI = \frac{E}{E_{min}}$$

Onde:

E = comprimento total de borda na paisagem em termos de número de pixels; inclui todos os limites da paisagem e dos segmentos de borda do fundo.

$E_{min}$  = comprimento total mínimo de borda na paisagem em termos de número de pixels.

O Índice da maior mancha (LPI) é uma métrica de área, a qual corresponde à percentagem da paisagem composta pela maior mancha. Este índice possibilita uma quantificação da continuidade da paisagem uma vez que expressa percentualmente a maior mancha contínua na área total da paisagem.

A distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN) é definida, utilizando a geometria euclidiana simples, como a distância de linha reta, em metros, entre o centro de uma mancha e seu vizinho mais próximo da mesma classe.

O índice de coesão (COHESION) mede a conexão física entre as manchas da classe correspondente. Este índice é adimensional, variando entre zero, quando existe apenas uma mancha, e 100. A coesão aumenta quando as manchas se tornam mais agregadas em sua distribuição, portanto, mais conectadas fisicamente.

$$\text{COHESION} = \left[ 1 - \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{a_{ij}} \cdot p_{ij}} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1} \cdot (100)$$

Onde:

$p_{ij}$  = perímetro da mancha  $ij$  em termos do número de pixels  
 $a_{ij}$  = área da mancha  $ij$  em termos do número de pixels  
 $A$  = número total de pixels na paisagem

#### 4.5. Análise do comportamento do fogo

FlamMap é um modelo utilizado para mapear e analisar a variabilidade espacial do comportamento do fogo, segundo condições potenciais. Neste modelo são combinados dados tais como combustíveis, velocidade do vento, tempo, umidade do combustível, dossel, declividade, elevação e orientação das encostas, para prever o comportamento potencial do fogo. Os outputs gerados, tais como taxa de propagação, comprimento da chama e intensidade do fogo, podem ser usados para avaliar áreas de maior preocupação quanto ao comportamento extremo do fogo bem como o risco de incêndio de uma paisagem.

O modelo FlamMap versão 3 foi utilizado para analisar o comportamento do fogo nas paisagens dos anos de 1958, 1968, 1980, 1992, 2006, 2020, 2032, 2044 e 2054. Criou-se inicialmente uma paisagem com as características do terreno da área de estudo, dos combustíveis, da cobertura de copas e dos ventos na região.

As características do terreno utilizadas foram declividade, altitude e orientação das encostas obtidas a partir do modelo digital de elevação por meio do software ArcGIS 9.3.1.

O modelo de combustíveis seguiu a classificação do USDA Forest Service (ANDERSON, 1982) com adaptações (Tabela 5). Para a classe territórios artificializados (cidades e construções) foi atribuído o modelo 99, que indica ausência de fogo (Tabela 6). Para classe de uso e ocupação do solo 8 (Tabela 3) foram estabelecidos diferentes modelos ao longo do tempo, uma vez que esta classe refere-se a

formações muito distintas. A atribuição de modelos de combustível considerou o contexto social e as políticas florestais da época, uma vez que tais considerações estão intimamente relacionadas com a distribuição e o volume de combustíveis. Para os anos 1958 e 1968 foi utilizado o modelo 9, uma vez que as florestas são jovens e não possuem um sub-bosque denso, o que se deve às políticas recentes de reflorestamento, ao uso da biomassa pela população e à maior atividade dos Serviços Florestais. Para os anos 1980, 1992 e 2006, o cenário será diferente e deve refletir os grandes incêndios florestais que ocorreram em tal época. Assim, para estas três paisagens, foi utilizado o modelo 4, que caracteriza um acúmulo de combustível. Para as paisagens futuras foram realizadas duas simulações, uma com o modelo 4 e outra com o modelo 6, uma vez que o modelo que melhor se adéqua à situação futura dependerá das condições de manejo da floresta. Para as demais classes foram atribuídos modelos que melhor explicariam o comportamento do fogo na classe (Tabela 6).

**Tabela 5.** Modelo de combustíveis, descrição e respectiva aplicação adaptado de Anderson (1982).

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicação</b>
1	Pasto seco e curto, com altura abaixo do joelho. Os estratos arbustivos e arbóreos cobrem menos de 1/3 da superfície. Fogo muito rápido, de intensidade reduzida a moderada.	Montado. Pastagens anuais ou perenes. Restolhos.
2	Pasto curto, seco ou a secar, com matos ou árvores em 1/3 a 2/3da superfície. Fogo rápido e moderadamente intenso. Acumulações pontuais de combustível podem originar a combustão de árvores.	Matrizes mato/herbáceas resultantes de fogo freqüente (e.g. giestal). Formações lenhosas diversas (e.g. pinhais zimbrais, montado). Plantações florestais em fase de instalação e nascedio.
3	Vegetação herbácea alta (de cerca de 1 m). 1/3 ou mais está seco. Fogo extremamente rápido e muito intenso.	Campos cerealíferos (antes da ceifa). Pastagens altas. Feteiras. Juncais.
4	Mato alto (1,8 m e mais), estreme ou sob coberto arbóreo. Fogo muito rápido de intensidade extrema. A possibilidade de propagação pode ser condicionada pela umidade do combustível vivo e velocidade do vento. Em formações florestais o fogo transmite-se às copas.	Qualquer formação que inclua um estrato arbustivo alto e contínuo (horizontal e verticalmente), especialmente com % elevadas de combustível morto: carrascal, tojal, urzal, esteval, acacial. Formações arbóreas jovens e densas (fase de novedio) e não caducifólias.
5	Mato baixo jovem ou “verde”, com ou sem coberto arbóreo. Fogo rápido de intensidade moderada. Em situações não arborizadas a possibilidade de propagação pode ser condicionada pela umidade do combustível vivo e velocidade do vento. Numa formação florestal a possibilidade de fogo de copas estará muito dependente da sua estrutura.	Qualquer formação arbustiva jovem ou com pouco combustível morto. Sub bosque florestal dominado por silvas, fetos ou outra vegetação sub-lenhosa verde. Eucaliptal (>4 anos de idade) com sub-bosque arbustivo baixo e disperso, cobrindo entre 1/3 e 1/2 da superfície.
6	Mato de porte variável (mais vulgarmente até 1,2 m), com presença expressiva de combustível morto, com ou sem coberto arbóreo. Fogo rápido de intensidade moderada a elevada. Em situações não arborizadas a possibilidade de propagação pode ser condicionada pela velocidade do vento. Numa formação florestal a possibilidade de fogo de copas estará dependente da sua estrutura	Situações de dominância arbustiva não enquadráveis nos modelos 4 e 5. Regeneração de <i>Quercus pyrenaica</i> (antes da queda da folha).
8	Folhada compacta, de coníferas de agulha curta, ou de	Formações florestais ou pré-florestais sem

Modelo	Descrição	Aplicação
	folhosas de folha plana não muito grande. Fogo bastante lento e de muito reduzida intensidade. Não há possibilidade de transmissão do fogo ao estrato arbóreo.	sub-bosque: <i>Quercus</i> mediterrânicos, carvalhais ( <i>Q. pyrenaica</i> , <i>Q. robur</i> , <i>Q. rubra</i> ) e castanheiro no Verão, medronhal, vidoal, folhosas ripícolas, choupal, eucaliptal jovem, <i>Pinus sylvestris</i> , cupressal e restantes resinosas de agulha curta.
9	Folhada pouco compacta, de coníferas de agulha média a comprida ou folhosas de folha grande e ondulada. Fogo lento e pouco intenso. O fogo de copas é possível em pinhais sem descontinuidade vertical suficiente.	Formações florestais sem sub-bosque: pinhais ( <i>Pinus pinaster</i> , <i>P. pinea</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. radiata</i> , <i>P. halepensis</i> ), carvalhais ( <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Q. robur</i> , <i>Q. rubra</i> ) e castanheiro no Inverno, eucaliptal (> 4 anos de idade).
11	Carga reduzida, constituída por resíduos recentes e espaçados, formando um estrato pouco compacto e baixo (à volta de 0,3 m). Fogo lento de intensidade moderada, mas com potencial de transmissão vertical ao copado, produção de focos secundários e reacendimento.	Formações florestais sujeitas a operações de desramação e desbaste, seleção de toiças (eucaliptal), ou a cortes parciais ligeiros.
12	Carga moderada, constituída por resíduos de exploração que formam um estrato contínuo até 0,6 m de altura. Fogo moderadamente rápido e de intensidade elevada. O potencial de produção de focos secundários e de reacendimento é elevado.	Formações florestais sujeitas a desbaste ou corte parcial intensos, ou a corte raso.

**Tabela 6.** Modelos de combustível atribuídos as classes de uso e ocupação do solo na freguesia de Deilão.

Modelo de combustível	Classe de uso e ocupação do solo
99	Aglomerado urbano/ Instalações agrícolas/ Áreas em construção
1	Vinha/ Pomar/ Olivais; Sistemas culturais e parcelares complexos
2	Lameiros; Agricultura com espaços naturais/SAF de castanheiro/ SAF de castanheiro com resinosas
3	Culturas anuais de sequeiro
4	Estevais densos; Urzais densos; Florestas de pinheiro bravo/ Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/ Vegetação esparsa <sup>(1)</sup>
6	Florestas de azinheira/ Florestas abertas de azinheira; Estevais pouco densos; Giestais densos/ Giestais pouco densos; Urzais pouco densos; Florestas de pinheiro bravo/ Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/ Vegetação esparsa <sup>(2)</sup>
9	Florestas de pinheiro bravo/ Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/ Vegetação esparsa <sup>(3)</sup>

(1) Modelo de combustível 4 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8 nos anos 1980, 1992, 2006, 2020, 2032, 2044 e 2054;

(2) Modelo de combustível 6 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8 nos anos 2020, 2032, 2044 e 2054;

(3) Modelo de combustível 9 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8 nos anos 1958 e 1968.

O grau de cobertura percentual de copas (Canopy cover) foi estabelecido segundo as características da vegetação. Foram também utilizadas informações referentes ao estrato florestal, sendo determinada a altura total das árvores (Stand height), a altura da copa (Canopy base height) e a densidade da copa (Canopy bulk

density) segundo o tipo florestal presente nas classes de uso e ocupação do solo (P. A. M. Fernandes, com. pess., 2010) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Cobertura de copas (Canopy cover), altura das árvores (Stand height), altura das copas (Canopy base height) e densidade das copas (Canopy bulk density) associadas à classe de uso e ocupação do solo.

Classe de uso do solo	Código	Canopy cover (%)	Stand height (m)	Canopy base height (m)	Canopy bulk density (kg/m <sup>3</sup> )
Florestas de azinheira/Florestas abertas de azinheira	7	60	7	1	17
Florestas de pinheiro bravo/Folhosas/Florestas abertas de pinheiro bravo/Novas plantações/Vegetação esparsa	8	45	8	2	10

Em relação aos ventos foram criados arquivos referentes à velocidade e à direção, conforme a variação na topografia, por meio do software WindNinja versão 2.0.3. Para simular os ventos na região, o software requer a direção predominante, a altura e a velocidade dos ventos. Estabeleceu-se a direção predominante Leste, uma vez que estes ventos caracterizam-se como quentes e secos estando, portanto, associados às condições extremas para ocorrência de incêndios na região. A altura utilizada foi de 10 m e a velocidade de 20 km/h, o que caracteriza ventos fortes para região.

O conteúdo de umidade do combustível é a quantidade de água contida no combustível em relação ao seu peso seco. Nas simulações no FlamMap é necessário estabelecer um valor de umidade para todas as classes de uso e ocupação do solo. A umidade dos combustíveis mortos foi atribuída segundo o diâmetro do material, a qual se relaciona com o tempo de ignição (Tabela 8). Neste trabalho, foram utilizados valores padrão de umidade em combustível vivo e morto para condições sinópticas extremas (P. A. M. Fernandes, com. pess., 2010).

**Tabela 8.** Umidade dos combustíveis mortos e vivos em relação ao percentual de peso seco para condições sinópticas extremas.

Combustível	Diâmetro	Umidade (% Peso seco)
1h	< 6mm	4
10h	6-25mm	5
100h	25-75mm	6
Herbáceas	-	70
Capoeiras	-	70

Os parâmetros obtidos no FlamMap e analisados nestes trabalho foram a intensidade da linha ou frente de fogo (Fireline Intensity), a velocidade de propagação (Rate of Spread) e a atividade do fogo em copas (Crown Fire Activity).

A intensidade da frente de fogo é a libertação de energia por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo (em kW/m). Esta resulta do produto

entre a velocidade de propagação do fogo (m/s), o peso do material combustível por unidade de área (kg/m<sup>2</sup>) e seu respectivo calor de combustão (kJ/kg) (BRYAM, 1959). A análise deste parâmetro foi realizada por meio de classes (Tabela 9).

**Tabela 9.** Distribuição dos valores de intensidade da frente de fogo em classes. Adaptado de Andrews et al. (1982) e Alexander e Lanoville (1989).

Classe	Intensidade da frente de fogo (kW/m)
1	0
2	0 – 500
3	500 – 2000
4	2000 – 4000
5	4000 – 10.000
6	> 10.000

A velocidade de propagação refere-se ao deslocamento linear do fogo, sendo utilizada a unidade metros por minuto. Assim como a intensidade da frente de fogo, este parâmetro foi analisado em termos de classes (Tabela 10).

**Tabela 10.** Distribuição da velocidade de propagação em classes. Adaptado de Andrews et al. (1982) e Alexander e Lanoville (1989).

Classe	Velocidade de propagação (m/min)
1	0
2	0 – 2
3	2 – 5
4	5 – 15
5	15 – 30
6	> 30

A atividade do fogo em copas refere-se ao incêndio no estrato arbóreo. O fogo de superfície consome apenas a manta morta e a vegetação do sub-bosque, enquanto o fogo de copas avança através do estrato arbóreo, quase sempre em conjunção com o fogo de superfície. O fogo de copas pode ser passivo ou ativo. O fogo de copas passivo ou intermitente depende da propagação do fogo de superfície, e está associado a uma floresta aberta. O fogo de copas ativo ultrapassa a altura das copas das árvores, avançando como uma parede de chamas a partir do solo, ocorrendo em florestas densas (FERNANDES e REGO, 2010). Para analisar a atividade do fogo em copas foram estabelecidas quatro classes, em que o fogo ausente indica a não existência de fogo, tanto de superfície quanto de copas (Tabela 11).

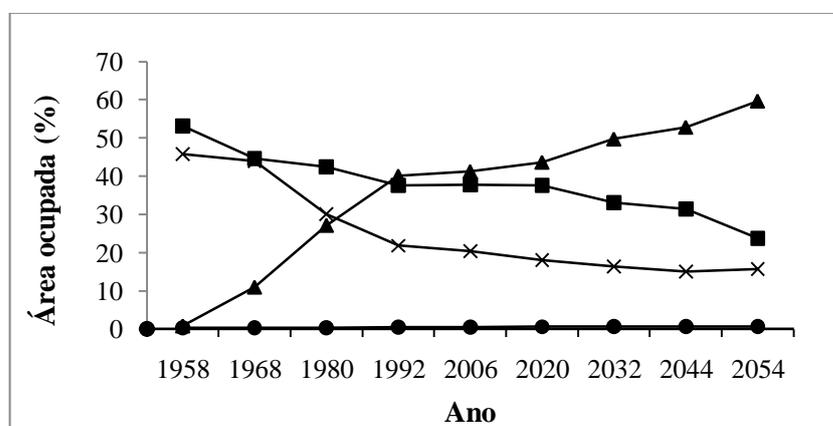
**Tabela 11.** Classificação da atividade do fogo em copas.

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
1	Fogo ausente
2	Fogo de superfície
3	Fogo passivo
4	Fogo ativo

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Estrutura da paisagem

Durante o período de estudo (1958 – 2006) a paisagem de Deilão sofreu alterações relevantes, especialmente quanto às áreas de florestas. Considerando as principais classes de uso e ocupação do solo, as áreas florestais tiveram aumento expressivo. No ano de 1958 as florestas tinham uma ocupação inexpressiva de cerca de 1% (33 ha), chegando em 2006 a um valor de 41% (1.729 ha). No entanto, as florestas já tinham ocupado um percentual maior no território da freguesia, mas devido a um grande incêndio no ano de 2005 este valor foi reduzido (PINHEIRO, 2009). Em contrapartida, as áreas agrícolas reduziram-se em torno de 15%, passando de aproximadamente 53% (2.229 ha) em 1958 para cerca de 37% (1.585 ha) em 2006. Da mesma forma, o percentual de ocupação da área por capoeiras passou de aproximadamente 45% (1.919 ha) para cerca de 20% (855 ha). Por outro lado, os territórios artificializados, representados pelas cidades e construções, tiveram um crescimento pouco expressivo, ocupando em torno de 0,33% (14 ha) em 1958 e cerca de 0,55% (24 ha) em 2006 (Figura 2).



**Figura 2.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupada por territórios artificializados (círculo), áreas agrícolas (■), florestas (▲) e capoeiras (×).

Nas paisagens futuras, as florestas poderão ocupar quase 60% (2.504 ha) da área da freguesia no ano de 2054, de acordo com a projeção realizada com base nas probabilidades de transição, considerando-se o período entre 1958 e 2006. Da mesma forma, as áreas agrícolas continuaram a decrescer chegando a ocupar aproximadamente 24% (998 ha), o que representa menos da metade da cobertura original de 1958 (53%). Quanto as capoeiras, o percentual variou pouco em relação àquele observado no ano de

2006, ocupando cerca de 15% (661ha) da área em 2054. Da mesma forma, os territórios artificializados passaram a ocupar 0,72% (30 ha) da área em 2054.

Quanto à composição da paisagem tanto as métricas de diversidade quanto as de equitabilidade calculadas aumentaram até o ano de 1980, indicando incremento da diversidade (Tabela 12). A partir do ano de 1992 os valores de diversidade e equitabilidade começam a diminuir, gradualmente, porém permanecem maiores que aqueles observados no ano de 1958.

**Tabela 52.** Índice de Diversidade de Shannon (SHDI), Índice de Diversidade de Simpson (SIDI), Índice de Equitabilidade de Shannon (SHEI) e Índice de Equitabilidade de Simpson (SIEI) da paisagem de Deilão.

Ano	SHDI	SIDI	SHEI	SIEI
1958	0,7511	0,5084	0,5418	0,6778
1968	0,9844	0,5949	0,7101	0,7932
1980	1,1020	0,6563	0,7949	0,8751
1992	1,0929	0,6504	0,7884	0,8671
2006	1,0862	0,6453	0,7835	0,8605
2020	1,0695	0,6348	0,7715	0,8463
2032	1,0460	0,6159	0,7545	0,8212
2044	1,0208	0,5995	0,7364	0,7993
2054	0,9763	0,5619	0,7043	0,7492

O número de manchas correspondente a classe territórios artificializados aumentou continuamente até o ano de 2044 (Tabela 13). No ano de 2054 observou-se um número menor de manchas em relação àquele obtido na imagem anterior (2044). No ano de 2044 observou-se também a maior densidade de borda e do índice de forma da paisagem. A maior mancha foi observada no ano de 2054, o que indica conexão entre os fragmentos, com conseqüente diminuição do número de manchas e da densidade de borda. A distância euclidiana média entre os vizinhos mais próximos diminuiu continuamente até o ano de 2032. O índice de coesão variou pouco, atingindo o máximo valor no ano de 2054.

**Tabela 13.** Número de manchas (NP), densidade de borda (ED), índice de forma da paisagem (LSI), índice da maior mancha (LPI), distância euclidiana média ao vizinho mais próximo (ENN-MN) e índice de coesão (COHESION) referentes à classe “áreas artificializadas” da freguesia de Deilão.

Ano	NP	ED (m/ha)	LSI	LPI (%)	ENN-MN (m)	COHESION
1958	4	1,0128	2,8333	0,1609	1694,4355	88,9394
1968	4	1,1201	2,9375	0,1743	1692,8184	89,5072
1980	4	1,3825	3,4118	0,1862	1641,3225	90,0866
1992	5	1,6562	3,7568	0,213	590,2981	89,9174
2006	6	1,8837	4,0513	0,2131	417,0561	89,8891

Ano	NP	ED (m/ha)	LSI	LPI (%)	ENN-MN (m)	COHESION
2020	7	1,8956	3,878	0,2206	157,4172	89,8004
2032	7	1,991	3,7111	0,2235	130,2156	90,536
2044	10	2,1937	4,1818	0,234	446,1818	89,407
2054	5	1,7049	3,25	0,2489	763,4633	91,1247

O número de fragmentos correspondentes a classe áreas agrícolas aumentou continuamente até o ano de 2054, embora os maiores valores de densidade de borda e índice de forma da paisagem tenham sido observados no ano de 2006 (Tabela 14). A maior mancha ocorreu no ano de 1968, ocupando aproximadamente 39% da área. A distância euclidiana média ao vizinho mais próximo diminuiu até o ano de 1992, com posterior aumento e decréscimo no ano de 2054. O índice de coesão variou pouco, atingindo o maior valor no ano de 1980. Os menores valores de densidade de borda e do índice da maior mancha foram observados no ano em que houve o maior número de fragmentos (2054).

**Tabela 14.** Número de manchas (NP), densidade de borda (ED), índice de forma da paisagem (LSI), índice da maior mancha (LPI), distância euclidiana média ao vizinho mais próximo (ENN-MN) e índice de coesão (COHESION) referentes à classe “áreas agrícolas” da freguesia de Deilão.

Ano	NP	ED (m/ha)	LSI	LPI (%)	ENN-MN (m)	COHESION
1958	35	57,9565	12,8677	27,7614	89,6811	99,3367
1968	45	56,9003	13,7608	39,2463	81,2133	99,5143
1980	53	59,6958	14,8195	30,1995	74,9577	99,138
1992	59	59,457	15,6918	26,6558	64,2282	98,9449
2006	46	61,0542	16,0533	24,4378	75,9722	98,9652
2020	52	52,8755	13,9465	24,6002	80,9412	98,9749
2032	62	49,6803	13,9365	22,7955	90,2904	98,7226
2044	82	48,1543	13,8797	22,6778	90,6072	98,7265
2054	104	41,5135	13,7628	16,3768	86,0846	98,0792

No ano de 2006 foi observado o maior número de manchas correspondente à classe florestas, bem como os maiores valores de densidade de bordadura e do índice de forma da paisagem associados a esta classe (Tabela 15). Os menores valores do índice de bordadura e do índice de forma da paisagem foram aqueles referentes ao ano de 1958, onde haviam apenas quatro manchas florestais. Neste ano (1958), observou-se a maior distância euclidiana média ao vizinho mais próximo e o maior fragmento não alcançou 1% da cobertura da paisagem. A menor distância entre os fragmentos florestais foi de aproximadamente 98 m, no ano de 1992. Nas paisagens futuras, o número de manchas decresceu e o índice da maior mancha aumentou continuamente,

atingindo o maior valor no ano de 2054. O índice de coesão também atingiu o maior valor no ano de 2054.

**Tabela 15.** Número de manchas (NP), densidade de borda (ED), índice de forma da paisagem (LSI), índice da maior mancha (LPI), distância euclidiana média ao vizinho mais próximo (ENN-MN) e índice de coesão (COHESION) referentes à classe “*florestas*” da freguesia de Deilão.

Ano	NP	ED (m/ha)	LSI	LPI (%)	ENN-MN (m)	COHESION
1958	4	1,5728	2,8085	0,5794	598,5865	92,8431
1968	21	16,4921	8,0465	4,6176	155,5366	96,8204
1980	26	35,0857	10,9037	8,9889	188,5362	98,0661
1992	44	43,2165	11,0243	17,2086	98,2269	98,6676
2006	46	45,281	11,4054	17,6823	128,1821	98,6211
2020	44	38,6522	9,4519	18,961	127,7092	98,8775
2032	37	43,6357	10	20,8834	137,3834	99,0983
2044	28	42,217	9,3926	21,9803	119,4773	99,0721
2054	22	40,4763	8,4663	41,2378	127,6359	99,5105

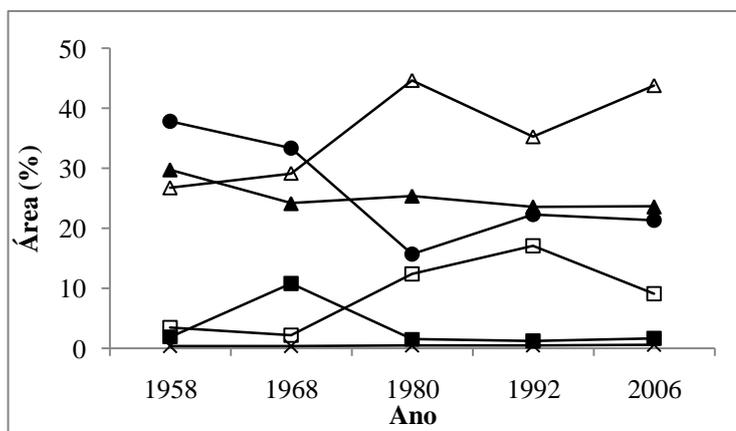
O número de manchas correspondente à classe capoeiras tendeu a aumentar, porém, nos anos de 2006 e 2054, observou-se um decréscimo (Tabela 16). O maior número de manchas foi observado nos anos de 1992 e 2044. Em 1992 verificou-se o maior índice de forma da paisagem e em 2044 a menor densidade de bordadura. No ano de 1980 foi observada a menor distância euclidiana média ao vizinho mais próximo. O índice de coesão decresceu durante o período de estudo, sendo o maior valor ocorrido ano de 1958 e o menor no ano de 2054. Neste ano (2054), o índice de forma da paisagem e o índice da maior mancha atingiram seus menores valores.

**Tabela 16.** Número de manchas (NP), densidade de borda (ED), índice de forma da paisagem (LSI), índice da maior mancha (LPI), distância euclidiana média ao vizinho mais próximo (ENN-MN) e índice de coesão (COHESION) referentes à classe “*capoeiras*” da freguesia de Deilão.

Ano	NP	ED (m/ha)	LSI	LPI (%)	ENN-MN (m)	COHESION
1958	20	57,0629	13,6439	35,3962	93,2424	99,5617
1968	36	62,6201	15,2762	17,5214	110,5002	99,2211
1980	47	51,7467	15,2887	11,9996	81,7806	98,4489
1992	67	51,8431	17,9053	2,6809	101,3137	96,2867
2006	57	44,6968	16,0214	2,5573	116,2034	96,0985
2020	58	35,0159	13,2896	3,3263	115,7816	96,1448
2032	59	29,8893	11,9381	3,7272	132,331	96,368
2044	67	27,469	11,4059	4,7555	124,4266	96,6439
2054	59	27,5883	11,233	3,1296	137,351	96,0788

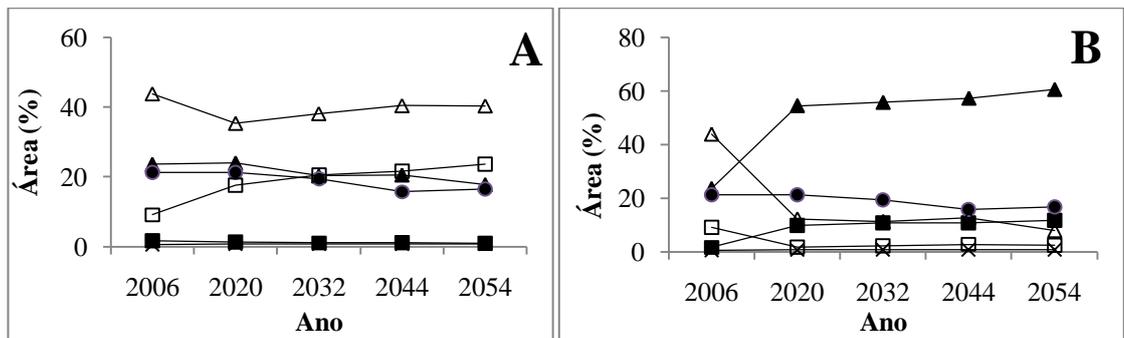
## 5.2. Comportamento do fogo

As simulações do comportamento do fogo na freguesia de Deilão produziram resultados muito distintos, conforme o decorrer do tempo e a alteração do uso do solo. Durante o período de 1958 a 2006 houve aumento expressivo da intensidade da frente de fogo (Figura 3). No ano de 1958 a intensidade da frente de fogo se concentrava nas classes 3 e 4, correspondendo a aproximadamente 66% da área. No ano de 2006, a intensidade da frente de fogo superior a 10.000 kW/m foi a de maior ocorrência na área, sendo observada em aproximadamente 43% da freguesia.



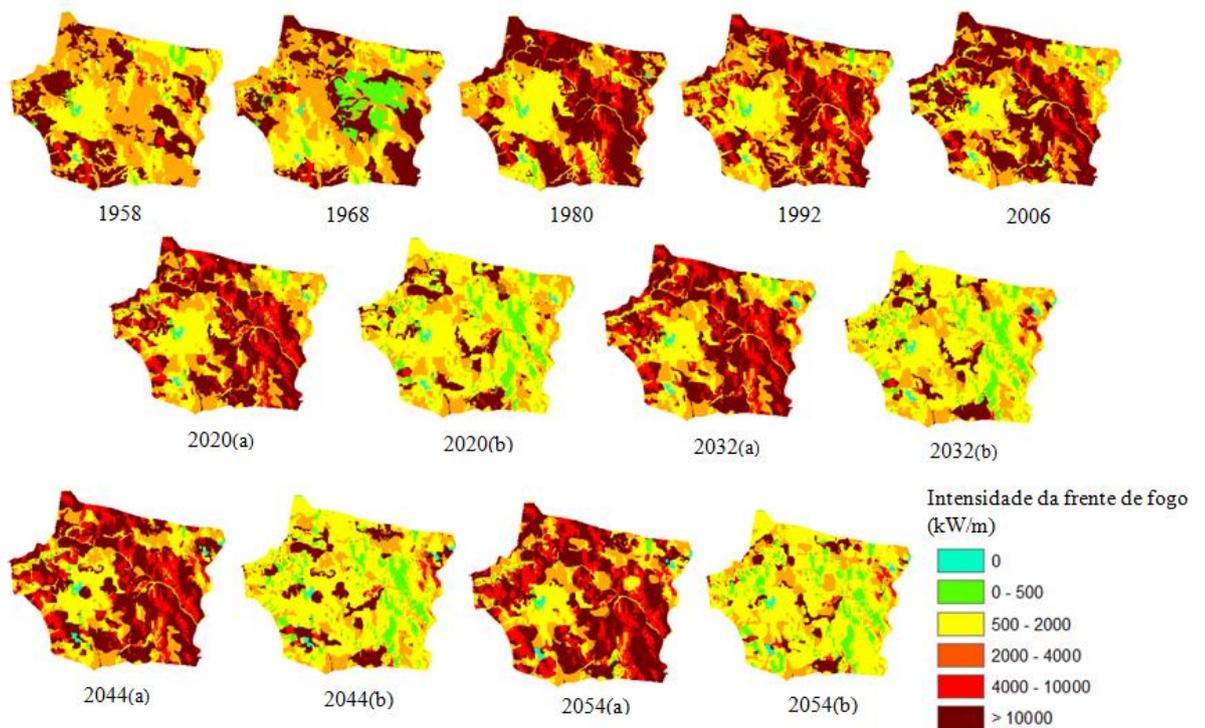
**Figura 3.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de intensidade da frente de fogo (kW/m). (x): classe 1 (0); (■): classe 2 (0 – 500); (▲): classe 3 (500 – 2.000); (●): classe 4 (2.000 – 4.000); (□): classe 5 (4.000 – 10.000); (△): classe 6 (>10.000).

Nas paisagens futuras obtiveram-se valores diferentes para a intensidade da frente de fogo conforme o modelo de combustível atribuído a classe de uso do solo 8, a qual refere-se às florestas de pinheiro bravo, folhosas, florestas abertas de pinheiro bravo, novas plantações e vegetação esparsa. Ao se utilizar o modelo de combustível 4, a intensidade da frente de fogo atinge valores ainda maiores. Neste cenário, as classes 5 e 6 correspondem a 63% da área da paisagem (Figura 4A). Em contrapartida, o percentual ocupado por as demais classes diminuiu continuamente. Ao atribuir-se o modelo de combustível 6 a classes 8, a intensidade da frente de fogo decresceu. No ano de 2054, a classe 3 predominou, de forma a ocupar aproximadamente 60% da área (Figura 4B).



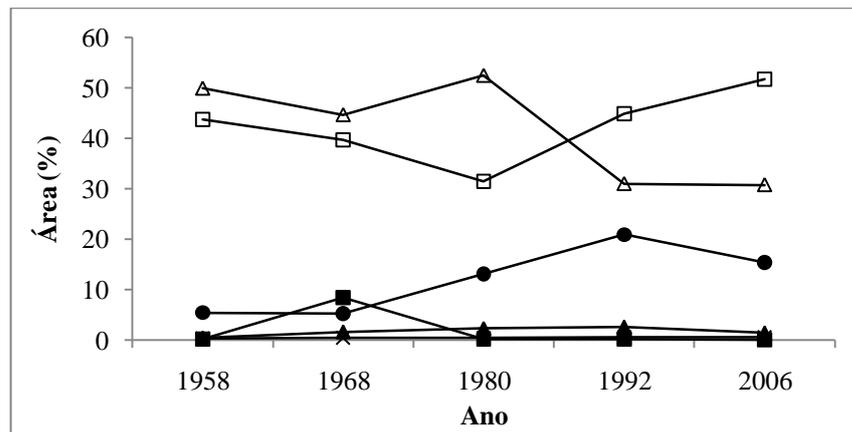
**Figura 4.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de intensidade da frente de fogo (kW/m). A – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 4. B – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 6. (x): classe 1 (0); (■): classe 2 (0 – 500); (▲): classe 3 (500 – 2.000); (●): classe 4 (2.000 – 4.000); (□): classe 5 (4.000 – 10.000); (△): classe 6 (>10.000).

As modificações da intensidade do fogo ao longo das paisagens analisadas estão espacialmente representadas na Figura 5.



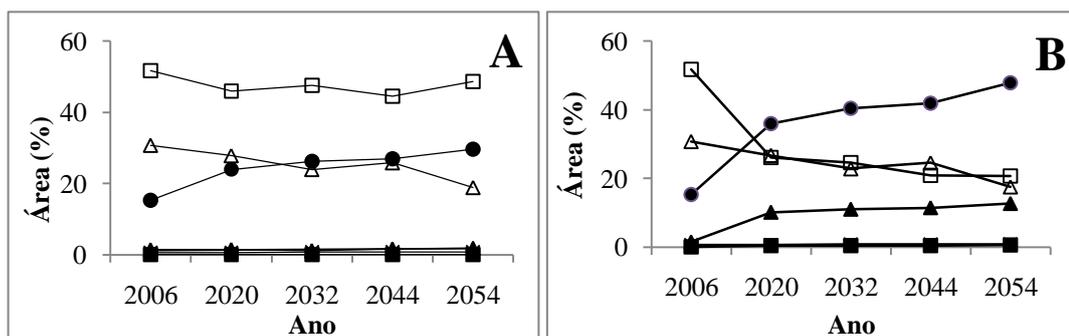
**Figura 5.** Intensidade da frente de fogo (kW/m) na freguesia de Deilão. Paisagens futuras: (a) modelo de combustível 4 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8; (b) modelo de combustível 6 atribuído a classe de uso e ocupação do 8.

No período de 1958 a 2006 a velocidade de propagação do fogo decresceu (Figura 6). O percentual da área com velocidade de propagação superior a 30 m/min (classe 6) diminuiu em aproximadamente 19%. Por outro lado, o percentual de ocupação das classes 4 e 5 aumentou. A classe 4, que anteriormente ocupava apenas 5% da área, passou a ocupar 15%, embora tenha alcançado 20% no ano de 1992.



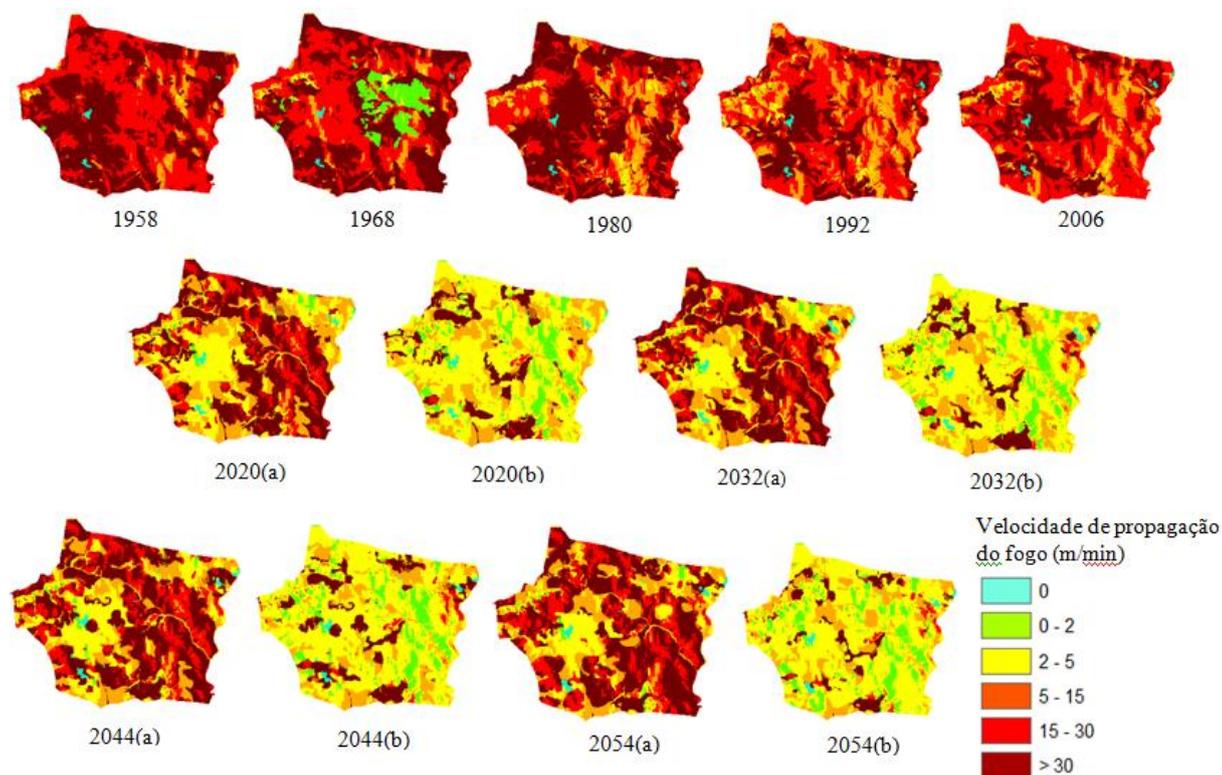
**Figura 6.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de velocidade de propagação do fogo (m/min). (×): classe 1 (0); (■): classe 2 (0 – 2); (▲): classe 3 (2 – 5); (●): classe 4 (5 – 15); (□): classe 5 (15 – 30); (Δ): classe 6 (>30).

Nas paisagens futuras a velocidade de propagação também sofreu alteração quanto ao modelo atribuído à classe de uso e ocupação do solo 8. Ao se utilizar o modelo de combustível 4, a velocidade de propagação decresceu (Figura 7A). A classe 6 passou a ocupar 18% da área, sendo que, na maior parte da freguesia, a velocidade de propagação variou entre 5 e 30 m/min, ou seja, predominaram as classes 4 e 5. Ao atribuir-se o modelo de combustível 6, obtiveram-se valores de velocidade de propagação ainda menores que aqueles obtidos com o modelo 4 (Figura 7B). A classe 3, que em 1958 ocupava apenas 0,4% passou a representar 12% da área. O percentual de ocupação das classes 6 e 5 diminuiu e, em contrapartida, a classe 4 representou o maior percentual da área (cerca de 47%) no ano de 2054.



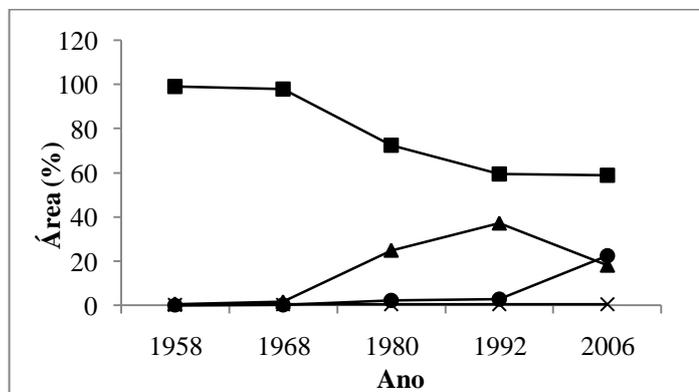
**Figura 7.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de velocidade de propagação do fogo (m/min). A – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 4. B – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 6. (×): classe 1 (0); (■): classe 2 (0 – 2); (▲): classe 3 (2 – 5); (●): classe 4 (5 – 15); (□): classe 5 (15 – 30); (Δ): classe 6 (>30).

As modificações da velocidade de propagação do fogo ao longo das paisagens analisadas estão espacialmente representadas na Figura 8.



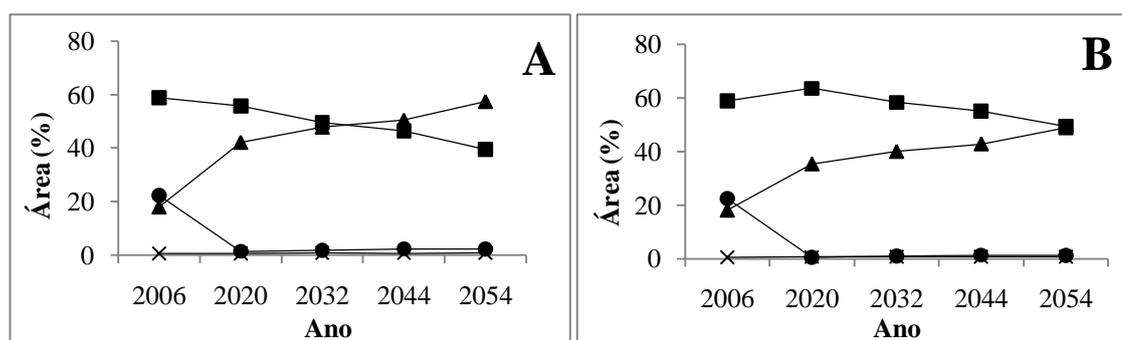
**Figura 8.** Velocidade de propagação do fogo (m/min) na freguesia de Deilão. Paisagens futuras: (a) modelo de combustível 4 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8; (b) modelo de combustível 6 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8.

No período de 1958, a 2006 a atividade do fogo em copas aumentou expressivamente (Figura 9). No ano de 1958 em menos de 1% da área foi observada atividade do fogo em copas, sendo a maior parte do território ocupada por fogo de superfície e uma pequena parte em que não se observou a ocorrência de fogo (territórios artificializados). Nos anos posteriores, houve aumento tanto do fogo passivo quanto do fogo ativo. Em relação ao período citado (1958-2006), no ano de 1992 registrou-se o maior percentual de área atingida por fogo passivo. Quanto ao fogo ativo, sua maior ocorrência foi no ano de 2006.



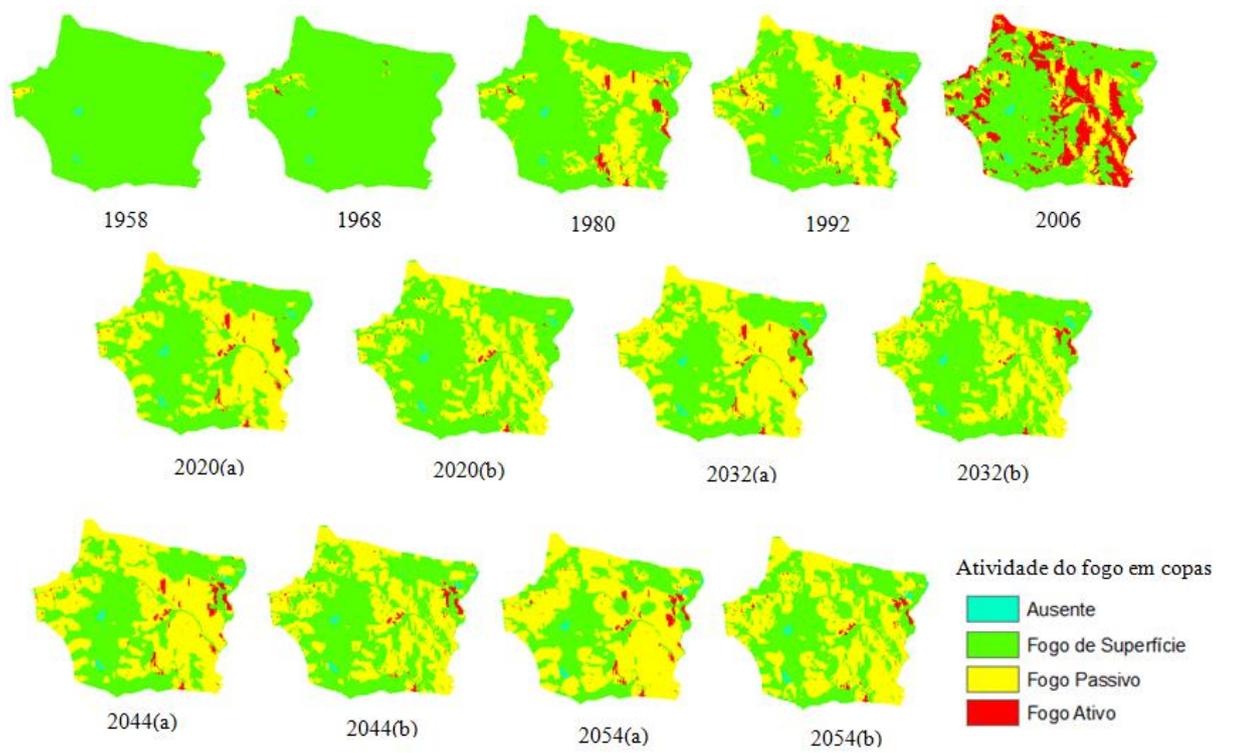
**Figura 9.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de atividade de fogo em copas. (×): fogo ausente; (■): fogo de superfície; (▲): fogo passivo; (●): fogo ativo.

Nas paisagens futuras, a atividade do fogo em copas diferiu conforme o modelo de combustível atribuído à classe de uso e ocupação do solo 8, porém a tendência observada foi semelhante. Ao utilizar-se o modelo de combustível 4, o fogo de copas passivo aumenta expressivamente (Figura 10A). No ano de 1958, o fogo de copas representou cerca de 0,6% da área, chegando ao percentual de 57% no ano de 2054. Em contrapartida, a ocorrência do fogo ativo diminuiu drasticamente. A mesma tendência foi observada ao atribuir-se o modelo de combustível 6, porém, o aumento da ocorrência do fogo de copas passivo foi menor em relação àquele observado com o modelo de combustível 4 (Figura 10B). Neste cenário o fogo de superfície continuou prevalecendo até o ano de 2054.



**Figura 10.** Percentual da área da freguesia de Deilão ocupado por classes de atividade de fogo em copas. A – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 4. B – classe de uso e ocupação do solo 8: modelo de combustível 6. (×): fogo ausente; (■): fogo de superfície; (▲): fogo passivo; (●): fogo ativo.

As modificações da atividade do fogo em copas ao longo das paisagens analisadas estão espacialmente representadas na Figura 11.



**Figura 11.** Atividade do fogo em copas na freguesia de Deilão. Paisagens futuras: (a) modelo de combustível 4 atribuído a classe de uso e ocupação do solo 8; (b) modelo de combustível 6 atribuído a classe de uso.ocupação do solo 8.

## 6. DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a freguesia de Deilão foi intensamente florestada, sendo as áreas agrícolas e a ocupação por capoeiras reduzidas. Segundo Pinheiro (2009), as modificações na estrutura da paisagem de Deilão devem-se principalmente ao envelhecimento da população, ao baixo rendimento dos produtos agrícolas, à política nacional de fomento florestal e ao incentivo ao reflorestamento por parte das políticas européias. Nesta área, o abandono das terras ou a substituição das culturas anuais por culturas perenes, menos exigentes em mão-de-obra, como os sotos e os reflorestamentos, têm sido as tendências de ocupação do solo mais recentes.

O abandono da agricultura na freguesia reflete uma tendência geral relacionada com as características ambientais da região. Nas áreas de montanha, a agricultura apresenta limitações orográficas, estruturais e climáticas, as quais implicam barreiras à produção. Com isso, nestas áreas, a agricultura vem perdendo importância econômica e social nestas últimas décadas. Tal situação originou pouca rentabilidade, abandono de terras, perda de variedades autóctones e de usos da gestão do território (DIAZ, 2002).

O incremento da diversidade até o ano de 1992 reflete o aumento da área florestal, com conseqüente redução da área de capoeiras e das áreas agrícolas. Neste ano, o uso e ocupação do solo estão mais distribuídos entre estas três classes. A partir de 2006 as florestas passam a dominar a área da freguesia, o que reduz a equitabilidade e, por conseqüência, a diversidade. Neste estudo a diversidade é afetada diretamente pela equitabilidade, uma vez que a componente riqueza da diversidade não se altera, ou seja, o número de classes de uso e ocupação do solo permanece constante.

O crescimento inexpressivo dos territórios artificializados, mesmo nas paisagens futuras, pode ser indicativo da vocação agrária da região, a qual tende a priorizar as culturas florestais. Esta tendência ao reflorestamento ocasionou tanto a redução quanto o agrupamento das áreas agrícolas, o que pode ser verificado no decréscimo da densidade de bordadura, do índice da maior mancha e da distância entre as manchas desta classe.

Na freguesia de Deilão a classe de uso e ocupação do solo correspondente a de capoeiras sofreu a maior redução, com tendência à formação de pequenos agrupamentos distantes entre si. No entanto, embora os resultados indiquem a substituição das capoeiras por florestas, estes podem estar presentes no sub-bosque.

As modificações na distribuição espacial das capoeiras e das áreas agrícolas podem ser explicadas pela forma de plantio na região. A intensa implantação de áreas

florestais gerou a formação de maciços florestais contínuos visto o decréscimo do número de manchas e o aumento do índice da maior mancha correspondente a esta classe. Estas áreas contínuas podem facilitar a ocorrência de grandes incêndios florestais, como o que ocorreu em 2005. Este incêndio ocasionou redução e fragmentação das áreas florestais que podem ser observadas por meio da análise dos resultados referentes ano de 2006. Neste ano registrou-se o maior número de manchas e os maiores valores do índice de bordadura e do índice de forma da paisagem.

Os cenários observados em Deilão indicam uma tendência à simplificação da paisagem, a qual exerce influência sobre o comportamento dos incêndios florestais na região. O aumento da intensidade da frente de fogo é consequência direta do incremento da área florestal, uma vez que o combustível florestal possui alta carga de material lenhoso. Além disso, as florestas podem abrigar um sub-bosque arbustivo, o que aumenta a carga de combustível e a intensidade da frente de fogo.

A velocidade de propagação do fogo relaciona-se com as características ambientais, como a velocidade do vento, e do combustível, tais como umidade e dimensão (FERNANDES e REGO, 2010). Nas áreas florestais, a velocidade de propagação pode ser menor em relação às áreas abertas. No interior das florestas, a velocidade do vento é menor, uma vez que as árvores atuam como quebra vento. Quando o fogo atinge as copas, a dimensão do combustível torna-se maior, o que reduz a velocidade de propagação. As características associadas à propagação do fogo em florestas podem explicar a redução da velocidade de propagação observada na freguesia de Deilão. Embora a estrutura da paisagem tenha sido simplificada, o que favorece a propagação dos incêndios, a predominância de florestas colabora com a redução da velocidade de propagação do fogo.

O aumento da ocorrência de fogo de copas na freguesia de Deilão deve-se tanto ao aumento da área florestal quanto à sua distribuição espacial. No ano de 2006 a classe florestal está mais fragmentada, no entanto, neste ano, o fogo de copas ativo foi superior ao fogo de copas passivo. Esta análise indica a presença de fragmentos florestais densos, uma vez que esta condição é necessária para a ocorrência do fogo de copas ativo.

A análise dos resultados obtidos indica uma tendência ao aumento do perigo de incêndios na região, possivelmente devido ao aumento do combustível pelas alterações sociais e falta de gestão florestal. Caso o sistema silvicultural não seja modificado, a intensidade do fogo e a atividade do fogo em copas podem aumentar (modelo 4 atribuído à classe e uso e ocupação do solo 8), acarretando sérios prejuízos à região. Por

outro lado, se forem tomadas medidas no sentido de diminuir a severidade do fogo, o cenário poderá ser diferente, assim como aquele representado nas simulações com o uso do modelo de combustível 6 atribuído às florestas nas paisagens futuras.

A distribuição espacial das características da frente de chamas – rapidez de propagação, dimensões, energia liberada – permite a elaboração de mapas de perigo de incêndio. Estes mapas permitem localizar regiões com maiores e menores riscos de ocorrências de incêndios de grandes dimensões. A combinação entre as informações obtidas em tais mapas e a análise do comportamento dos incêndios ao longo das alterações da paisagem fornecem informações importantes para o planejamento das ações de prevenção e combate. Assim, é possível minimizar os feitos negativos causados pelo fogo por meio da gestão dos elementos que compõem a paisagem. Tal gestão deve priorizar técnicas que reduzem o perigo de incêndio ao nível de mancha, aumentem a heterogeneidade da paisagem e diminuam a conectividade entre coberturas inflamáveis. Neste sentido, podem ser realizadas operações como o corte manual ou mecânico do sub-bosque ou de componentes do arvoredo, o fogo controlado, o tratamento químico e o pastoreio dirigido (FERNANDES, 2006).

Este trabalho traz informações importantes sobre a ocorrência e propagação do fogo, além de abordar a necessidade da gestão dos componentes da paisagem. Neste sentido, a aplicação desta metodologia no Brasil seria de grande auxílio no planejamento das ações de combate e prevenção dos incêndios. No entanto, para viabilizar tais análises é desejável a disponibilização de bases de dados precisas e elaboradas, tais como os modelos digitais de elevação do terreno, que se constitui um dos inputs deste trabalho. Tal fato seria de grande valia na pesquisa científica como um todo, visto que a construção de uma base de dados geográficos é uma tarefa dispendiosa que pode limitar o desenvolvimento do trabalho, visto à grande demanda de tempo.

## 7. CONCLUSÃO

- Na freguesia de Deilão é previsto, no longo prazo, o domínio das áreas de florestas.
- Espera-se o aumento da ocorrência de incêndios graves com a substituição da vegetação arbustiva natural pela atividade de silvicultura.
- A simplificação da paisagem, devido ao domínio de uma classe de uso e ocupação do solo e ao arranjo espacial de tal classe, tende a aumentar a continuidade de materiais combustíveis e facilitar a ocorrência de grandes incêndios.
- Na freguesia de Deilão, o sistema silvicultural adotado deve ser substituído de forma a evitar a formação de contínuos florestais e o acúmulo de materiais combustíveis, os quais podem acarretar em grandes perdas devido ao fogo.
- A análise do comportamento do fogo em paisagens futuras fornece importantes informações sobre a necessidade da gestão dos componentes da paisagem, no sentido de diminuir os impactos negativos causados pelo fogo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, C.; GREEN, G. M.; GROVE, J. M., EVANS, T. P.; SCHWEIK, C. N. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice., Newton Square: USDA Forest Service, 2002, 61p.

AGROCONSULTORES e COBA. Carta dos solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Memórias. Projecto de desenvolvimento Rural Integrado de Trás-os-Montes e Alto Douro, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1991, 114 p.

ALEXANDER, M. E.; LANOVILLE, R. A. Predicting fire behavior in the Black Spruce-Lichen Woodland fuel type of Western and Northern Canada. For. Can., North. For. Cent., Edmonton, Alberta, and Gov. Northwest Territ., Dep. Renewable Resour., Territ. For. Fire Cent., Fort Smith, Northwest Territories. 1989.

ANDERSON, H. E. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah. 1982. 22p.

ANDREWS, P. L.; ROTHERMEL, R. C. Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics. Gen. Tech. Rep. INT-131. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 1982. 21 p.

AZEVEDO, J. C.; MOREIRA, C.; CASTRO, J. P.; LOUREIRO, C. Agriculture abandonment, land-use change and fire hazard in mountain landscapes in Northeastern Portugal. In: LI, C.; LAFORTEZZA, R.; CHEN, J. (Eds.) Landscape Ecology in Forest Management and Conservation: Challenges and Solutions for Global Change. New York: Springer, 2011. p.329-351.

BATTY, M.; XIE, Y; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. Computers, Environment and Urban Systems, v.23, p.205–233, 1999.

BERNARDES, F. G. A futura paisagem da Terra Fria Transmontana. 2005. 92f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2005.

BEUTLING, A. Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. 113 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BOND, W. J.; MIDGLEY, J. J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. Trends in Ecology & Evolution, v.16, 45–51, 2001.

BROOKS, M. L.; D'ANTONIO, C. M.; RICHARDSON, D. M.; DITOMASO, J. M.; GRACE, J. B.; HOOBS, J. R.; KEELEY, J. E.; PELLANT, M.; PYKE, D. Effects of invasive plants on fire regimes. BioScience, v.54, n.7, p.677-688, 2004.

- BRYAM, G. M. Combustion of forest fuels. In: Davis, E. D. (Ed). *Forest Fire: Control and Use*. New York: McGraw-Hill, 1959. p.90-123.
- CAETANO, M.; NUNES, V.; ARAÚJO, A. Manual da Carta de Ocupação do Solo de 2005 para Portugal Continental. Instituto Geográfico Português - Grupo de Detecção Remota. Lisboa, 2009, 59p.
- CHEN, C.; GUSTAFSON, D. H.; LEE, Y. The effect of a quantitative decision aid – Analytic Hierarchy Process – on group polarization. *Group Decision and Negotiation*, v.11, p.329-344, 2002.
- DALCUMUNE, M. A. B.; SANTOS, A. R. Mapeamento de índice de risco de incêndio para a Região da Grande Vitória/ES, utilizando imagens do satélite LANDSAT para o ano de 2002. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. Anais...* Goiânia: INPE, 2005, p.1485-1492.
- DIAZ, J. P. La agricultura y la ganadaria em zones de montaña para el siglo XXI. *Actas XV Simposio de cooperativismo e desarrollo rural*, Zaragoza, p.79-92, 2002.
- FERNANDES, P. A. M. Silvicultura preventiva e gestão de combustíveis: opções e optimização. In: SANTOS, P. J. M.; CARDOSO, P. F.; REGO, J. S.; SILVA, T. *Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção*. J. Lisboa: ISA Press, 2006. Cap. 12, p.327-354.
- FERNANDES, P. A. M.; REGO, F. Combustíveis e combustão em ambiente florestal. In: MOREIRA, F., CATRY, F., SANDE SILVA, J., REGO, F. *Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas*. Lisboa: ISAPress, 2010. p.13-20.
- FINEY, M. A. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. *Forest Science*, v. 47, p. 219-228, 2001.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Wiley: New York, 1986. 619p.
- FRANDSEN, W.; ANDREWS, P. L. Fire behavior in nonuniforme fuels. Research paper INT-232. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Ogden, UT. 34p.
- GONÇALVES, D. A. Terra Fria – Terra Quente (1ª Aproximação). Centro de Agroclimatologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- KOCABAS, V.; DRAGICEVIC, S. Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 30, p.921–953, 2006.
- LLORET, F.; CALVO, E.; PONS, X.; DIAZ-DELGADO, R. Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology*, v.17, n.8, 745–759. 2002.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. (Eds.) General Technical Report, PNW-GTR-351,

- Oregon State University Corvallis, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 1995. 122p.
- MOREIRA, F.; REGO, F. C.; FERREIRA, P. G. Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, v.16, n.6, p.557–567, 2001.
- MOREIRA, C. A. S. Alteração da paisagem e comportamento do fogo na freguesia de França, Bragança. 65f. 2008. Dissertação (Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza) – Universidade dos Açores – ESA – Bragança, Bragança, 2008.
- NUNES, J. R. S. FMA<sup>+</sup> - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil. 2005. 119f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NUNES, M. C.; VASCONCELOS, M. J.; PEREIRA, J. M.; DASGUPTA, N. ALLDREDGE, R. J.; REGO, F. C. Land cover types and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively?. *Landscape Ecology*, v.20, p.661-673.
- O'NEILL, R.V.; DEANGELIS, D. L.; WAIDE, J. B.; ALLEN, G. E. A Hierarchical Concept of Ecosystems. Princeton: Princeton University Press, 1986. 262p.
- PEREIRA, J. M. C.; CARREIRAS, J. M. B.; SILVA, J. M. N.; VASCONCELOS, M. J. Alguns conceitos básicos sobre fogos rurais em Portugal. In: PEREIRA, J. S.; PEREIRA, J. M. C.; REGO, F. C.; SILVA, J. M. N.; SILVA, T. P. Incêndios florestais em Portugal: caracterização, impactos e prevenção. Lisboa: ISAPress, p. 133-164.
- PETERSON, L. K.; BERGEN, K. M.; BROWN, D.G.; VASHCHUK, L.; BLAM, Y. Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. *Forest Ecology and Management*, v.257, p.911–922, 2009.
- PINHEIRO, H. M. P. Alteração do uso do solo e stocks de carbono na freguesia de Deilão, Bragança. 2009. 59f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Florestais) – Escola Superior de Agrária – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2009.
- PYNE J. S., ANDREWS P. L., LAVEN R. D. Introduction to wildland fire. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 808p.
- RAMOS, C.; VENTURA, J. E. Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais em Portugal. *Finisterra*, v.27, n.53-54, p.79-83, 1992.
- RIVAS-MARTINEZ, S. Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400000. Série Técnica, Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: ICONA, 1987, 268p.
- ROQUE, L. A. Identificação e caracterização de uma unidade de paisagem – estudo de caso – o caso específico da Terra Fria Transmontana. 87f. 2001. Trabalho de fim de curso de Arquitectura Paisagística – Universidade de Évora, Évora, 2001.
- ROSA, J. L. N. Efeitos dos *Ungulados bravios* na agricultura e floresta no Parque Natural de Montesinho: o caso da Zona de Caça Nacional da Lombada. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza) - Universidade dos Açores, Bragança, 2006.

ROTHERMEL, R. C. A mathematical model for prediction fire spread in wildland fuel. General technical report INT-115. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Ogden, UT, 40p.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International Book Co, 1980. 287p.

SANG, L.; ZHANG, C.; YANG, J.; ZHU, D.; YUN, W. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, v.54, p.938-943, 2010.

SILVA, J. S.; CATRY, F. Incêndios em povoamentos de sobreiro (*Quercus suber* L.) em Portugal. *International Journal of Environmental studies*, v.63, n.3, jun. 2006.

VEGA-GARCIA, C.; CHUVIECO, E. Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM images for predicting wildfire occurrence in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecology*, v.21, n.4, p.595-605, 2006.

## APÊNDICE A – Matrizes de probabilidade de transição de Markov obtidas no programa IDRISI versão Kilimanjaro.

### A.1. Ano 2054. Imagens comparadas: 1958/2006.

Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11	Cl. 12	Cl. 13
Class 1 :	0.9867	0.0000	0.0000	0.0000	0.0133	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 2 :	0.0000	0.1605	0.0038	0.0568	0.0128	0.3306	0.0162	0.2614	0.0937	0.0098	0.0242	0.0184	0.0117
Class 3 :	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 4 :	0.0017	0.0222	0.0000	0.7199	0.0352	0.0267	0.0187	0.0866	0.0242	0.0369	0.0057	0.0120	0.0102
Class 5 :	0.0089	0.0774	0.0017	0.0185	0.5542	0.1317	0.0023	0.0419	0.0666	0.0678	0.0041	0.0172	0.0077
Class 6 :	0.0027	0.0307	0.0000	0.0277	0.0028	0.1100	0.0316	0.6272	0.0257	0.0377	0.0000	0.1020	0.0018
Class 7 :	0.0000	0.0000	0.0000	0.0127	0.0000	0.0000	0.6477	0.1456	0.0612	0.1329	0.0000	0.0000	0.0000
Class 8 :	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8929	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1071
Class 9 :	0.0000	0.0137	0.0000	0.0240	0.0068	0.0557	0.1538	0.5758	0.0482	0.1122	0.0084	0.0013	0.0002
Class 10 :	0.0017	0.0272	0.0000	0.0146	0.0438	0.1065	0.0535	0.4927	0.1336	0.0955	0.0021	0.0178	0.0109
Class 11 :	0.0000	0.1343	0.0000	0.0279	0.0121	0.0344	0.0000	0.2725	0.0000	0.2029	0.3128	0.0031	0.0000
Class 12 :	0.0000	0.0059	0.0000	0.0052	0.1756	0.0046	0.0020	0.5111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.2923
Class 13 :	0.0000	0.0435	0.0000	0.0263	0.0127	0.0351	0.0558	0.5860	0.0007	0.0123	0.0000	0.1490	0.0786

### A.2. Ano 2044. Imagens comparadas: 1968/2006.

Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11	Cl. 12	Cl. 13
Class 1 :	0.9960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 2 :	0.0001	0.1015	0.0000	0.0238	0.0150	0.4315	0.0163	0.2619	0.0603	0.0296	0.0138	0.0147	0.0316
Class 3 :	0.0000	0.1792	0.0000	0.0000	0.8208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 4 :	0.0000	0.0045	0.0000	0.8425	0.0239	0.0793	0.0087	0.0158	0.0041	0.0066	0.0032	0.0115	0.0000
Class 5 :	0.0040	0.2634	0.0088	0.0228	0.2139	0.1202	0.0033	0.0843	0.1223	0.0959	0.0381	0.0188	0.0043
Class 6 :	0.0071	0.0580	0.0000	0.0159	0.5104	0.1272	0.0060	0.1380	0.0604	0.0657	0.0055	0.0049	0.0009
Class 7 :	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0093	0.5902	0.2176	0.1287	0.0533	0.0000	0.0000	0.0000
Class 8 :	0.0000	0.0202	0.0000	0.0008	0.0034	0.0178	0.0243	0.8771	0.0261	0.0144	0.0036	0.0011	0.0112
Class 9 :	0.0000	0.0166	0.0000	0.0018	0.0088	0.0927	0.1143	0.5172	0.0531	0.1007	0.0000	0.0949	0.0000
Class 10 :	0.0000	0.0142	0.0000	0.0034	0.0314	0.0911	0.0962	0.3286	0.2419	0.1455	0.0000	0.0335	0.0142
Class 11 :	0.0071	0.0887	0.0000	0.0232	0.0029	0.0525	0.0114	0.3763	0.0158	0.1571	0.2284	0.0364	0.0000
Class 12 :	0.0000	0.0155	0.0000	0.0014	0.1226	0.0682	0.0316	0.6175	0.0012	0.0096	0.0000	0.0659	0.0665
Class 13 :	0.0000	0.0280	0.0000	0.0036	0.0058	0.0935	0.0273	0.6339	0.0000	0.0012	0.0000	0.1214	0.0853

### A.3. Ano 2032. Imagens comparadas: 1980/2006.

Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11	Cl. 12	Cl. 13
Class 1 :	0.9965	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 2 :	0.0000	0.2885	0.0044	0.0172	0.1095	0.2637	0.0046	0.0993	0.0716	0.0808	0.0269	0.0169	0.0167
Class 3 :	0.0000	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.9779	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 4 :	0.0000	0.0039	0.0000	0.9403	0.0255	0.0016	0.0093	0.0114	0.0030	0.0011	0.0021	0.0018	0.0000
Class 5 :	0.0034	0.0612	0.0000	0.0084	0.5340	0.3083	0.0000	0.0438	0.0256	0.0081	0.0059	0.0001	0.0011
Class 6 :	0.0047	0.0433	0.0000	0.0185	0.1667	0.3006	0.0165	0.2664	0.0244	0.0757	0.0000	0.0827	0.0004
Class 7 :	0.0000	0.0034	0.0000	0.0009	0.0000	0.0271	0.3218	0.3579	0.1738	0.1151	0.0000	0.0000	0.0000
Class 8 :	0.0013	0.0066	0.0014	0.0035	0.0024	0.0697	0.0236	0.8165	0.0401	0.0245	0.0053	0.0052	0.0001
Class 9 :	0.0000	0.0035	0.0000	0.0006	0.0164	0.0229	0.0060	0.7869	0.0332	0.1305	0.0000	0.0000	0.0000
Class 10 :	0.0047	0.0315	0.0000	0.0080	0.0185	0.0605	0.0832	0.2474	0.2821	0.2340	0.0000	0.0302	0.0000
Class 11 :	0.0000	0.0494	0.0000	0.0026	0.0000	0.0035	0.0372	0.1550	0.0000	0.0000	0.7524	0.0000	0.0000
Class 12 :	0.0000	0.0118	0.0000	0.0166	0.0185	0.0022	0.0314	0.5126	0.0000	0.0002	0.0115	0.2520	0.1433
Class 13 :	0.0000	0.0160	0.0000	0.0016	0.0070	0.0065	0.0670	0.5354	0.0000	0.0000	0.0000	0.2087	0.1578

### A.4. Ano 2020. Imagens comparadas: 1992/2006.

Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11	Cl. 12	Cl. 13
Class 1 :	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Class 2 :	0.0000	0.5197	0.0000	0.0136	0.0430	0.2881	0.0037	0.0439	0.0283	0.0331	0.0061	0.0051	0.0155
Class 3 :	0.0000	0.0000	0.2273	0.0000	0.0000	0.7622	0.0000	0.0000	0.0000	0.0105	0.0000	0.0000	0.0000
Class 4 :	0.0000	0.0037	0.0000	0.9434	0.0298	0.0014	0.0035	0.0114	0.0037	0.0005	0.0019	0.0007	0.0000
Class 5 :	0.0030	0.0000	0.0000	0.0065	0.9838	0.0030	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000	0.0030
Class 6 :	0.0000	0.0146	0.0000	0.0000	0.0235	0.8583	0.0007	0.0460	0.0218	0.0351	0.0000	0.0000	0.0000
Class 7 :	0.0000	0.0000	0.0000	0.0352	0.0014	0.0931	0.3668	0.1829	0.1881	0.1123	0.0000	0.0202	0.0000
Class 8 :	0.0005	0.0010	0.0000	0.0066	0.0027	0.0045	0.0296	0.9136	0.0144	0.0029	0.0025	0.0063	0.0154
Class 9 :	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0146	0.0118	0.1090	0.2810	0.2403	0.3176	0.0000	0.0244	0.0000
Class 10 :	0.0008	0.0081	0.0000	0.0020	0.0114	0.0862	0.0027	0.1232	0.3509	0.3636	0.0000	0.0510	0.0000
Class 11 :	0.0000	0.0070	0.0005	0.0405	0.0000	0.0020	0.0185	0.2634	0.0000	0.0000	0.6217	0.0460	0.0005
Class 12 :	0.0000	0.0215	0.0000	0.0000	0.0055	0.0099	0.0171	0.2045	0.0000	0.0000	0.0000	0.4620	0.2795
Class 13 :	0.0000	0.0117	0.0000	0.0036	0.0000	0.0344	0.0000	0.3646	0.0000	0.0000	0.0000	0.4055	0.1801