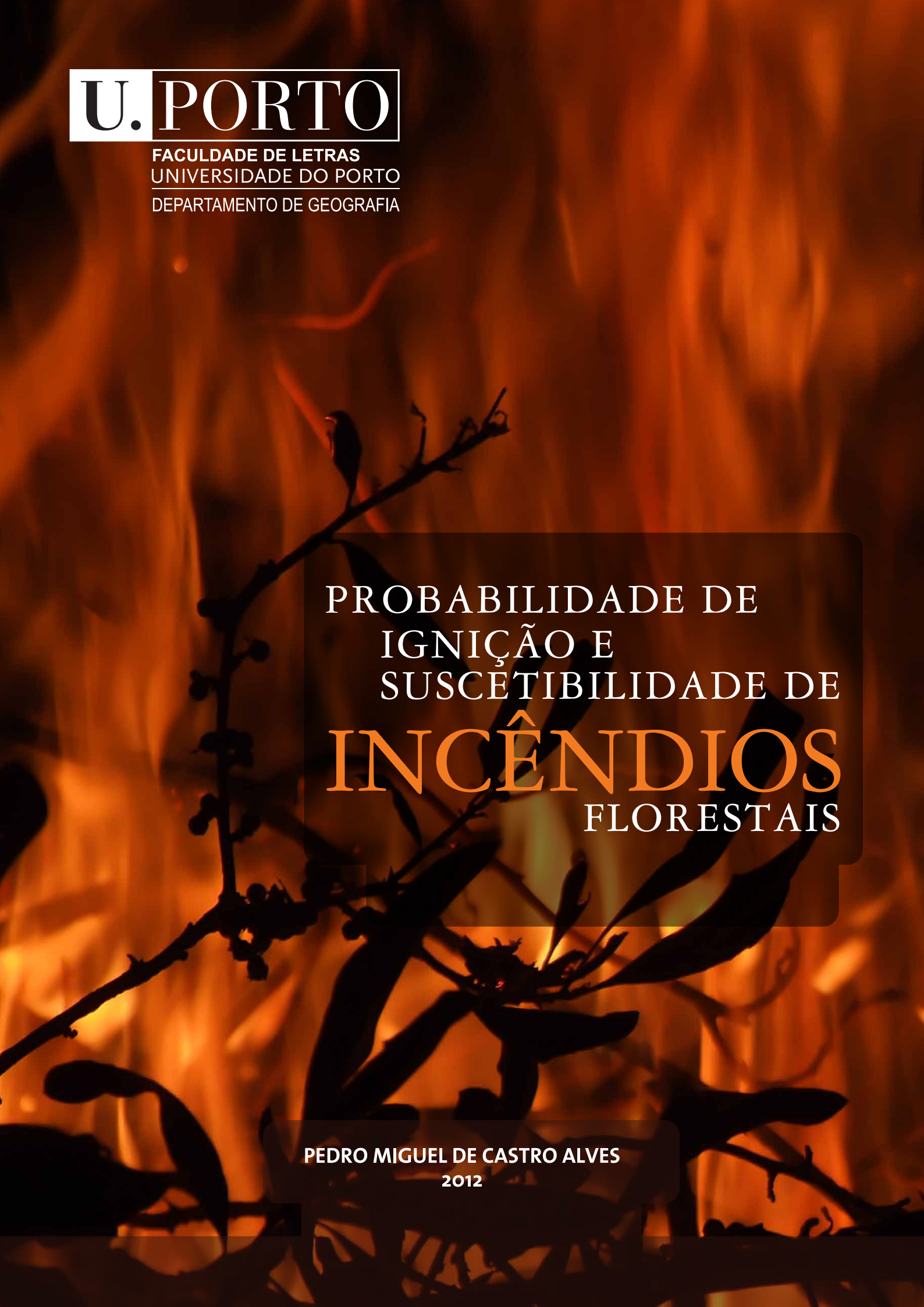


U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROBABILIDADE DE IGNIÇÃO E SUSCETIBILIDADE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

PEDRO MIGUEL DE CASTRO ALVES

2012

FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Pedro Miguel de Castro Alves

2º Ciclo de Estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

Probabilidade de Ignição e Suscetibilidade de incêndios Florestais

2012

Orientador: Professor Doutor Carlos Bateira

Classificação: Ciclo de estudos:

Dissertação/relatório/Projeto/IPP: Trabalho de Projeto

Versão definitiva

Agradecimentos

O presente trabalho de investigação contou com a colaboração e apoio de pessoas e de instituições, que nunca poderia deixar de referir e agradecer a todos aqueles que com o seu contributo me ajudaram a alcançar os meus objetivos.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Carlos Bateira pela dedicação, disponibilidade e motivação que sempre demonstrou na orientação deste trabalho, assim como pelas discussões metodológicas proporcionadas que, revelaram-se decisivas para alcançar os objetivos propostos.

À DUDEF Norte da Autoridade Florestal Nacional, na pessoa do Eng.º Silvino Sousa, pela cedência da base de dados relativa à localização dos pontos de ignição provenientes do projeto Georreferenciação de Incêndios Florestais, e pelo incentivo e entusiasmo demonstrado na abordagem da probabilidade de ignição de incêndios florestais.

À Câmara Municipal de Amarante, pela cedência da informação necessária para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho da Associação Florestal de Entre Douro e Tâmega, pelo apoio demonstrado e pelas condições concedidas para a realização deste trabalho.

Ao António Costa pelas conversas proporcionadas e pelo conhecimento transmitido.

Ao Departamento de Geografia e seus docentes por todo o conhecimento e oportunidades que me foram dadas no decorrer deste mestrado.

À minha família e à Marta, o meu especial agradecimento, pela compreensão, paciência e pelo apoio incondicional, que sempre procuraram transmitir nos bons e nos maus momentos.

Resumo

A problemática dos incêndios florestais não é um fenómeno recente contudo a dimensão e a frequência que estes atingiram nos últimos anos, motivou a que este fosse considerado como a principal ameaça ao desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa, pelo que importa compreender e avaliar o comportamento dos incêndios florestais.

O trabalho proposto teve como objetivo, para além da tradicional avaliação da suscetibilidade, efetuar uma análise dos padrões espaciais da ignição de incêndios florestais. Foram aqui analisados 400 pontos de ignição que ocorreram no Concelho de Amarante entre 2009 e 2011. Com o recurso a técnicas de regressão logística foi possível proceder à elaboração de um modelo preditivo, assim como foi produzido um mapa de probabilidade de ignição. Este trabalho, o primeiro a ser realizado à escala local, demonstrou ser possível elaborar um mapa de probabilidade de ignição de incêndios florestais com uma boa capacidade preditiva.

A análise da suscetibilidade de incêndio florestal do Concelho de Amarante foi efetuada com o recurso à metodologia proposta por João Verde (2008), que serviu de base para a construção da respetiva cartografia de suscetibilidade. Os modelos de suscetibilidade produzidos foram testados e validados através do cálculo das curvas de sucesso e de predição, assim como da área abaixo da curva. De acordo com os resultados obtidos assume-se que relação entre as variáveis selecionadas, como o histórico, a ocupação do solo e os declives permitiram identificar as áreas com maior suscetibilidade.

Os temas abordados no presente projeto de investigação, probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndios florestais, poderão constituir uma importante ferramenta de apoio à decisão no que diz respeito às ações de prevenção e combate dos incêndios florestais, contribuindo para otimização dos recursos e infraestruturas de DFCI disponíveis.

Palavras-chave: floresta, incêndios florestais, suscetibilidade, ignição, modelação

Abstract

The problematic of forest fires is not a recent phenomenon however due to the scale and frequency that these have reached in the recent years, it has been considered as the main threat to the sustainable development of the Portuguese forest, therefore it is important to understand and evaluate the behavior of forest fires.

Aside from the traditional evaluation of the susceptibility, the objective of the proposed assignment is to perform an analysis of the spatial patterns of the ignition fires. A total of 400 points of ignition which occurred in the municipality of Amarante between 2009 and 2011 were analyzed. With the use of logistic regression techniques it was possible to establish a predictive model, as well as produce a map of ignition probability. This assignment is the first to be held at local scale, and has proved that it is possible to establish a map of probability ignition of forest fires with a good predictive capacity.

The susceptibility analysis of forest fires in the municipality of Amarante was conducted using the methodology proposed by João Verde (2008), which served as basis for the construction of the respective cartography of susceptibility. The produced susceptibility models were tested and validated by calculating the curves of success and prediction, as well as the area under the curve. According to the results it is assumed that the relationship between the selected variables, such as history, the land cover and the slopes have identified areas with increased susceptibility.

The topics covered in this research project, likelihood of ignition and susceptibility of forest fires could be an important tool for decision support, respecting the actions to prevent and combat forest fires, helping to optimize resources and available DFCI infrastructures.

Keywords: forest, forest fires, susceptibility, ignition, modeling

Acrónimos usados

A.A.C. – Área Abaixo da Curva
AFN – Autoridade Florestal Nacional
CMA – Câmara Municipal de Amarante
CMDFCI – Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios
COS – Carta de ocupação do solo
DFCI – Defesa da Floresta Contra Incêndios
DGRF – Direção Geral dos Recursos Florestais
DUDEF – Direção de Unidade de Defesa da Floresta
GNR – Guarda Nacional Republicana
GTF – Gabinete Técnico Florestal
PI – Pontos de ignição
PMDFCI – Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios
PNDFCI – Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios
POM – Plano Operacional Municipal
PPI – Pontos prováveis de ignição
PROF – Plano Regional de Ordenamento Florestal
SGIF - Sistema de gestão de informação de incêndios florestais
SIG – Sistema de Informação Geográfica

Índice geral

Introdução 15

Capítulo 1 O problema dos incêndios florestais 17

1.1 A floresta portuguesa 17

1.2 Os incêndios florestais em Portugal Continental 20

1.2.1 Distribuição temporal 21

1.2.2 Distribuição espacial 24

1.2.3 As Causas 26

Capítulo 2 Modelo conceptual 27

Capítulo 3 Índices de Risco de Incêndio Florestal 29

3.1 Índices dinâmicos 29

3.2 Índices Estruturais 31

Capítulo 4 Área de Estudo - Concelho de Amarante 36

4.1 Enquadramento geográfico do Concelho 36

4.2 Caracterização Física 37

4.2.1 Relevo 37

4.2.2 Clima 38

4.3 Uso e ocupação do solo 40

4.4 Análise do histórico e causalidade dos incêndios florestais 41

4.4.1 Área ardida em espaços florestais 42

4.4.2 Área ardida e nº de ocorrências por classes de extensão 42

Capítulo 5 Modelação espacial da probabilidade de ignição 44

5.1 Base de dados de incêndios florestais 44

5.2 Materiais e métodos 46

5.2.1 Seleção do modelo 46

5.2.2 Variáveis dependentes 47

5.2.3 Variáveis independentes 48

5.2.4 Construção do modelo preditivo 51

5.3 Resultados 53

5.3.1 Análise de frequências 53

5.3.2 Modelação espacial da probabilidade de ignição 55

5.3.3 Validação do modelo 58

5.4 Discussão dos resultados e aplicação do modelo preditivo 60
Capítulo 6 Suscetibilidade de incêndios florestais 63
6.1 Metodologia 63
6.2 Variáveis 66
6.2.1 Altimetria 66
6.2.2 Declives 67
6.2.3 Exposição solar das vertentes 69
6.2.4 Ocupação do solo 70
6.2.5 Distância à rede viária 73
6.2.6 Densidade de caminhos 74
6.2.7 Visibilidade dos postos de vigia 76
6.2.8 Histórico 78
6.3 Resultados 80
6.3.1 Modelação e validação da suscetibilidade 80
6.3.2 Discussão dos resultados 90
Capítulo 7 Considerações finais 92
Bibliografia 96
Anexos 101

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Número total de prédios rústicos por NUTS II 19
Figura 1.2 – Distribuição anual do número de ocorrências e área ardida entre 1980 e 2010 21
Figura 1.3 – Distribuição mensal do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010 22
Figura 1.4 – Distribuição semanal do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010 23
Figura 1.5 – Distribuição horária do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010 23
Figura 1.6 – Número de ocorrências por Concelho entre 1990 e 2004 24
Figura 1.7 – Área ardida por Concelho entre 1990 e 2004 25
Figura 3.1 – Estrutura do Índice FWI, adaptado de Domingos X. Viegas (2004) 30
Figura 3.2 – Coeficientes no modelo de Chuvieco e Congalton (1989) 32
Figura 3.3 - Critérios e Ponderações na metodologia SCRIF/IGP 34
Figura 4.1 – Enquadramento Geográfico do Concelho de Amarante 36
Figura 4.2 – Mapa Hipsométrico do Concelho de Amarante 37
Figura 4.3 – Mapa de Declives do Concelho de Amarante 38
Figura 4.4 - Distribuição anual da área ardida e do nº de ocorrências (2001-2010) 41
Figura 4.5 – Distribuição da área ardida em espaços florestais (2001-2010) 42
Figura 4.6 - Distribuição da área ardida por classe de extensão (2001-2010) 43
Figura 5.1 - Comparação entre os dados do SGIF e os PPI 45
Figura 5.2 – Distribuição e frequência das ignições de incêndio florestal 54
Figura 5.3 – Mapa de probabilidade de ignição de incêndios florestais 58
Figura 5.4 – Área abaixo da Curva ROC, grupo de validação 59
Figura 6.1 - Esquema da metodologia da cartografia de suscetibilidade de incêndio florestal 65
Figura 6.2 - Favorabilidade e frequência das classes de altimetria 66
Figura 6.3 – Classes de altimetria 67
Figura 6.4 – Favorabilidade e frequência das classes de declive (º) 68
Figura 6.5 - Classes de declive 68
Figura 6.6 - Favorabilidade e frequência das classes de exposição 69
Figura 6.7 - Classes de exposição solar das vertentes 70
Figura 6.8 - Favorabilidade e frequência das classes de ocupação do solo 71
Figura 6.9 - Classes de ocupação do solo 72
Figura 6.10 - Favorabilidade e frequência das classes da proximidade à rede viária 73
Figura 6.11 - Classes de distância à rede viária (m) 74
Figura 6.12 - Favorabilidade e frequência das classes da densidade de caminhos 75
Figura 6.13 - Classes de densidade de caminhos (m/ha) 75
Figura 6.14 - Favorabilidade e frequência das classes de visibilidade dos postos de vigia 76
Figura 6.15 - Classes de visibilidade dos postos de vigia 77
Figura 6.16 - Probabilidade anual (%) de incêndio florestal 79

FIGURA 6.17 - GRUPOS DE CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO PREDITIVO 80
FIGURA 6.18 – CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARAM A COMBINAÇÃO "CDP" 83
FIGURA 6.19 - CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDP" 84
FIGURA 6.20 - CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEP" 85
FIGURA 6.21 - CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPR" 86
FIGURA 6.22 - CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPRS" 86
FIGURA 6.23 - CURVAS DE SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPRSV" 87
FIGURA 6.24 - CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DO MODELO "CDP" 89
FIGURA 6.25 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS 89

Índice de Tabelas

TABELA 1.1 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 17
TABELA 1.2 – EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO FLORESTAL ENTRE OS IFN 18
TABELA 1.3 – CAUSALIDADE DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS ENTRE 2001 E 2010 26
TABELA 4.1 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO CONCELHO DE AMARANTE 40
TABELA 5.1 - N.º DE OCORRÊNCIAS E PERCENTAGEM DE PPI 46
TABELA 5.2 - VARIÁVEIS INDEPENDENTES SELECIONADAS 50
TABELA 5.3 - RESULTADOS DO MODELO DA REGRESSÃO LOGÍSTICA UNIVARIADA 55
TABELA 5.4 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO, GRUPO DE TREINO 56
TABELA 5.5 - RESULTADOS DO MODELO DA REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTIVARIADA 57
TABELA 5.6 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO, GRUPO DE VALIDAÇÃO 58
TABELA 5.7 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE IGNIÇÃO POR CLASSE DE PROBABILIDADE DE IGNIÇÃO, GRUPO DE VALIDAÇÃO 60
TABELA 6.1 – CÓDIGOS DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DO SOLO 71
TABELA 6.2 - SCORES DE FAVORABILIDADE DAS VARIÁVEIS (OS VALORES MAIS SIGNIFICANTES ESTÃO A NEGRITO) 81
TABELA 6.3 – TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "CDP" 83
TABELA 6.4 - TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDP" 84
TABELA 6.5 - TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEP" 85
TABELA 6.6 - TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPR" 86
TABELA 6.7 - TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPRS" 87
TABELA 6.8 - TAXAS SUCESSO E PREDIÇÃO PARA A COMBINAÇÃO "ACDEPRSV" 87
TABELA 6.9 - ÁREAS ABAIXO DA CURVA RESULTANTES DOS TESTES DE MODELAÇÃO E VALIDAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE 88
TABELA 6.10 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS ARDIDAS POR CLASSE DE SUSCETIBILIDADE 90

Introdução

A Floresta possui um enorme valor económico e social que, a par do seu elevado valor ambiental, a transforma num dos recursos mais importantes do nosso país. No entanto, em Portugal, onde os espaços florestais constituem dois terços do território continental, tem-se assistido nas últimas décadas, a uma perda de rentabilidade e competitividade da floresta portuguesa. Os incêndios florestais são os principais responsáveis pela destruição anual de uma área considerável da floresta nacional, constituindo deste modo uma grave ameaça ao desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa. Ano após ano, grandes áreas do país ficam despidas de árvores e de outros elementos do ecossistema florestal, bem como sujeitas à intensificação da erosão, colocando mesmo, por vezes, em risco pessoas e bens.

A dimensão e a frequência que os incêndios florestais atingiram nas últimas décadas, em que cerca de 2,7 milhões de hectares (a partir de 1980) foram consumidos pelas chamas, o que equivale a dizer cerca de 1/3 do território nacional continental, contribuiu para que estes fossem considerados a maior ameaça das nossas florestas. Ainda se encontra bem vincado na nossa mente o trágico verão de 2003, em que vastas áreas do país foram dizimadas contribuindo, de certa forma, para a declaração do estado de calamidade nacional, por parte do governo, colocando na agenda da atualidade política, económica e social a problemática dos incêndios florestais.

Esta tomada de consciência encontra-se patente na publicação do Decreto-Lei n.º 124/2006 de 28 de Junho, que preconiza as ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Reconhece ainda que a problemática dos incêndios florestais reveste-se de um carácter complexo, pelo que a Defesa da Floresta Contra Incêndios não pode ser implementada de forma isolada, mas antes inserindo-se num contexto mais alargado de ambiente e ordenamento do território, de desenvolvimento rural e de proteção civil. Perante tal cenário torna-se necessário dotar os territórios de instrumentos de apoio à decisão e à gestão, ao nível da organização do território, assim como das situações de risco e de crise. Neste sentido a Cartografia de Risco de Incêndio Florestal surge como uma ferramenta imprescindível para o planeamento das diferentes ações de DFCI, assim como para a otimização dos recursos e infraestruturas disponíveis para a defesa e combate de incêndios florestais.

A problemática dos incêndios florestais é um tema bastante estudado pela comunidade científica, contudo a maior parte destes trabalhos tem centrado os seus

esforços na análise da perigosidade e risco de incêndio. De facto são poucos os trabalhos que tentam modelar e prever o risco de ignição, apesar da importância amplamente reconhecida a nível internacional.

Portugal regista atualmente uma das densidades mais elevadas de focos de incêndio entre os países do Sul da Europa Mediterrânica. A capacidade de prever a ocorrência de ignições constitui um importante instrumento, auxiliando os gestores na definição de prioridades e proporcionando uma melhor distribuição dos meios de prevenção e combate (Catry, 2007). De acordo com um estudo publicado pela DGRF (2006), estima-se que entre 2000 e 2005 cerca de 97% dos incêndios florestais em Portugal, têm origem humana. Apesar da influência que determinados fatores humanos ocupam na distribuição espacial e temporal da ocorrência de incêndios florestais, a sua importância é na maior parte dos casos descurada. A complexidade que envolve a classificação dos comportamentos sociais aliada à falta de informação existente, ou disponível, explica em parte o facto de ser escassa a inclusão dos fatores humanos nos modelos de risco (Martínez, Vega-Garcia, Chuvieco, 2008). Atendendo a este facto será dada uma especial atenção às variáveis que se encontram direta ou indiretamente relacionadas com a atividade humana.

Partindo do princípio de que nenhum incêndio ocorre sem que haja ignição, uma correta avaliação deste fenómeno implica o conhecimento e análise dos fatores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais e o seu comportamento. Neste sentido o presente trabalho de investigação tem como principal objetivo avaliar a probabilidade de ignição e a suscetibilidade dos incêndios florestais.

A capacidade de compreensão e de previsão do comportamento dos incêndios florestais constitui uma ferramenta imprescindível de apoio à decisão no que diz respeito às ações de prevenção e combate dos incêndios florestais. Pretende-se aqui efetuar a construção de um mapa de suscetibilidade de incêndio florestal, com o recurso a um conjunto de variáveis, com forte correlação espacial, cuja capacidade preditiva será auferida com o recurso a um conjunto de variáveis independentes.

Capítulo 1 O problema dos incêndios florestais

1.1 A floresta portuguesa

A Floresta possui um enorme valor económico e social que, a par do seu elevado valor ambiental, a transforma num dos recursos mais importantes do nosso país. A floresta representa a base de um sector da economia que gera cerca de 113 mil empregos diretos, ou seja 2% da população ativa, sendo responsável por 10% das nossas exportações e 3% do valor acrescentado bruto, valor este só ultrapassado na Europa a 15 pela Finlândia e Suécia. A produção económica anual do sector florestal é de 1,3 mil milhões de euros, contribuindo com 4% para o PIB Nacional e 10% para o PIB Industrial (DGRF, 2006). Os espaços florestais representam um importante património natural e cultural, constituindo locais ideais para a realização de atividades de recreio e lazer. Ao nível ambiental são responsáveis pela melhoria da qualidade da água, pela proteção dos solos contra a erosão, pelo armazenamento do Dióxido de Carbono (CO2) e pela preservação da biodiversidade.

Em Portugal Continental, os espaços florestais (povoamentos e matos) ocupam 5,39 milhões de hectares e representam cerca de dois terços do seu território. Destes 3,46 milhões de hectares, ou seja 39% do território nacional, dizem respeito a áreas arborizadas segundo os dados disponíveis no Inventário Florestal Nacional de 2005.

Tabela 1.1 – Uso e ocupação do solo

Uso do solo	Área (ha)
Floresta	3 458 557
Matos	1 926 630
Agricultura	161 653
Águas interiores	2 929 544
Outros usos	432 050

Fonte: AFN (2010)

Na floresta nacional predominam espécies como o pinheiro bravo, o eucalipto e o sobreiro que, no seu conjunto representam mais de 70% da área de povoamentos.

Tabela 1.2 – Evolução da ocupação florestal entre os IFN

Espécies	1995	2005	Variação	%
Pinheiro-bravo	976069	885019	-91050	-9%
Eucaliptos	672149	739515	67366	10%
Sobreiro	712813	715922	3109	0%
Azinheira	461577	412878	-48699	-11%
Carvalhos	130899	150020	19121	15%
Pinheiro-manso	77650	130386	52736	68%
Outras folhosas	102037	86481	-15556	-15%
Castanheiro	40579	30029	-10550	-26%
Outras resinosas	27358	25099	-2259	-8%

Fonte: AFN (2010)

A evolução da área florestal[1], no período compreendido entre 1995-2005, registou um ligeiro crescimento (3%). Nesta década a ocupação florestal verificou algumas alterações na sua composição, com aumentos significativos das áreas de pinheiro-manso (68%), de carvalhos (15%) e das áreas ocupadas com eucalipto (10%). Em sentido inverso verificou-se uma diminuição das áreas ocupadas por Castanheiro (-26%), outras folhosas (-15%), azinheira (-11%), pinheiro-bravo (-9%) e das outras resinosas (-8%).

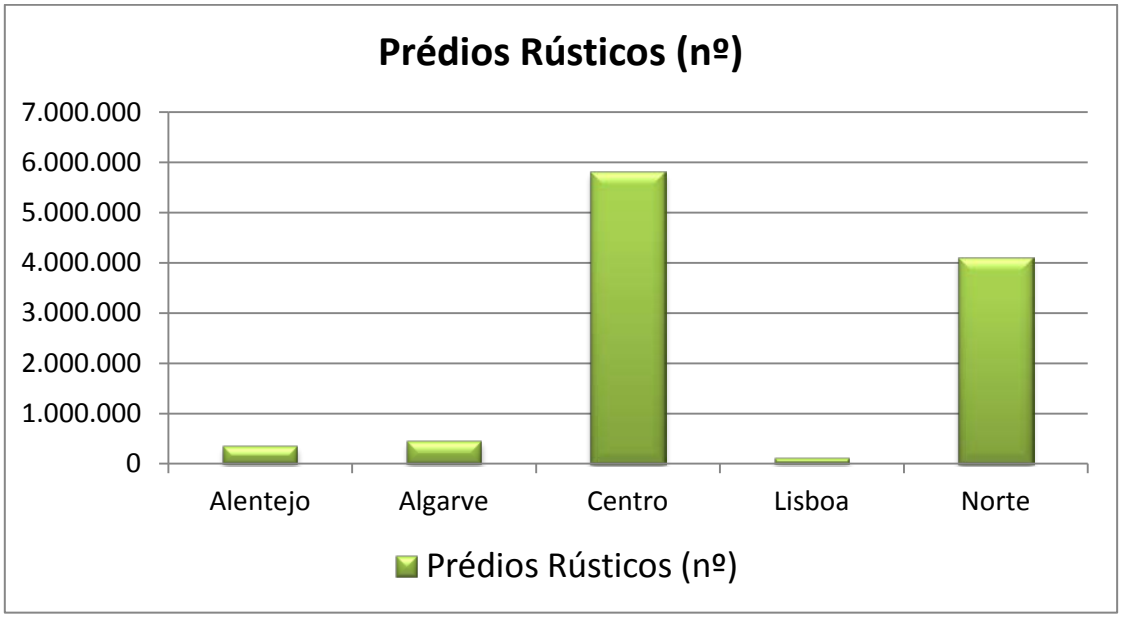
No que diz respeito ao regime da propriedade florestal esta é maioritariamente privada, com 2,5 milhões de hectares, ou seja 84,3% da área florestal, dos quais 7,7% pertencem a empresas industriais. As áreas públicas correspondem a 15,6% do total da área florestal, em que 13,4% dizem respeito a áreas comunitárias e apenas 2% são do domínio privado do estado (Mendes, 2002).

A estrutura da propriedade caracteriza-se por um elevado número de parcelas de pequena dimensão, fragmentadas e dispersas no território, com quase 43% do total das explorações com uma área inferior a 1 hectare. Verifica-se ainda uma clara concentração da área florestal nas grandes propriedades, existindo apenas 1% de propriedades com uma área superior a 100 hectares, no entanto, representam cerca de 50% da superfície florestal (Coelho, 2003). A estrutura da propriedade possui uma distribuição geográfica bastante heterogénea nas regiões Norte e Sul de Portugal, sendo que o grande número de prédios se situa no Norte e Centro, onde predominam as parcelas de pequena dimensão (inferior a 5 ha), sobretudo de pinhal e eucaliptal,

[1] Engloba os povoamentos florestais, áreas ardidas, áreas de corte raso e outras formações lenhosas.

vocacionadas para a produção lenhosa. Na região Sul do país predominam as parcelas de grandes dimensões (superior a 100 ha), onde se encontram associadas a atividade agrícola, a silvicultura e a pastorícia.

Figura 1.1 – Número total de prédios rústicos por NUTS II



Fonte: DGRF, 2006

1.2 Os incêndios florestais em Portugal Continental

Entende-se como incêndio florestal, o incêndio que ocorre em espaços florestais, ou que tendo início noutra área, se estende para um espaço florestal, podendo englobar neste espaço áreas arborizadas ou não. No entanto excluem-se desta análise os fogos controlados e as queimadas, efetuados com o intuito de reduzir ou eliminar o material combustível que se vai acumulando no terreno ao longo do tempo. Enquanto processo físico-químico de combustão material e vegetal, os incêndios florestais encontram-se diretamente dependentes de dois fatores: por um lado temos a ignição, que consiste no aparecimento do foco de incêndio, após a absorção da energia de ativação pelo material combustível; por outro, a propagação, que consiste na expansão da combustão pelo combustível circundante, podendo este ocorrer por convecção, condução ou radiação (ISA, 2005).

Os incêndios florestais são um fenómeno próprio das regiões que apresentam um clima com características mediterrânicas. De facto a coincidência da época mais seca do ano com a época mais quente, reúne as condições ideais para a propagação de incêndios florestais, como afirma Lourenço (1992, p. 115)*"Resta sempre esperança de que o verão seja fresco e, de preferência algo chuvoso. Contudo, como no nosso tipo de clima, com características mediterrâneas, raramente se verificam aquelas condições, o risco de incêndio é constante, (…) Nestas circunstâncias, ocorre sempre a deflagração de um considerável número de fogos florestais"*.

"O fogo é um bom criado e um mau patrão", este ancestral provérbio finlandês expressa bem a dualidade da relação do homem com o fogo. Se por um lado é um fenómeno natural que faz parte da estratégia de desenvolvimento de algumas das espécies e da renovação das pastagens, e que consiste numa das ferramentas mais antigas utilizadas pelo homem, por outro lado é um agente de catástrofe. Os incêndios florestais assumem-se deste modo como o resultado da relação negativa entre o homem moderno e o fogo (Botelho, 2003).

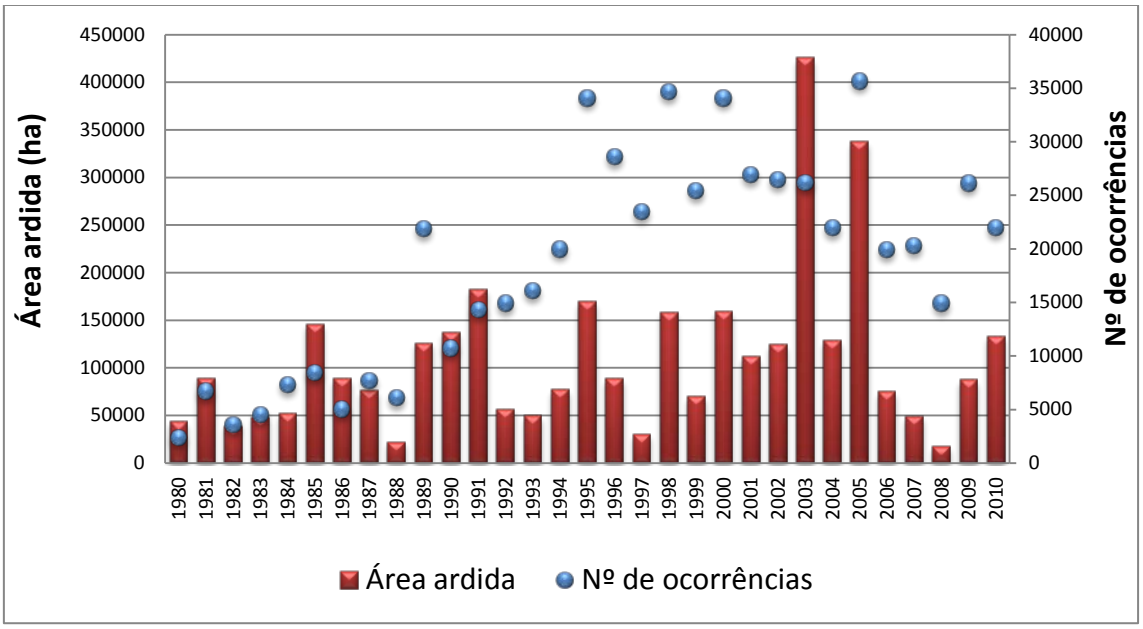
A expressão que os incêndios florestais atingem no nosso país radica num conjunto de fenómenos, em que se conjugam fatores morfológicos, climáticos, silvícolas ligados à estrutura, tipo e ordenamento da floresta portuguesa, nomeadamente no Norte e Centro do país, o despovoamento do interior e o consequente declínio das áreas rurais, as profundas alterações na economia do mundo rural, assim como determinados comportamentos sociais.

1.2.1 Distribuição temporal

A problemática dos incêndios florestais não é um fenómeno recente, contudo a frequência e a dimensão que estes atingiram nos últimos anos, contribui para que fossem considerados a principal ameaça ao desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa, constituindo um problema muito sério acarretando importantes impactos ecológicos, sociais e económicos.

No período compreendido entre 1980 e 2010, segundo os dados oficiais disponibilizados pela AFN, arderam em Portugal Continental mais de 3,5 milhões de hectares de espaços florestais. A área ardida verificou um incremento nos últimos 30 anos, pelo que os valores atingidos nos últimos 10 anos são exemplo disso mesmo. O período compreendido entre 2000-2010 é responsável por cerca de 50% da área ardida dos últimos 30 anos. A média anual da área ardida entre 2000 e 2009 foi cerca de 49% superior ao valor da década de 90, que, por sua vez já tinha sido cerca de 40% superior à média da década de 80. O ano de 2005 foi o sexto ano consecutivo em que se verificou uma área ardida superior a 100 mil hectares e o segundo em que se ultrapassou os 300 mil hectares.

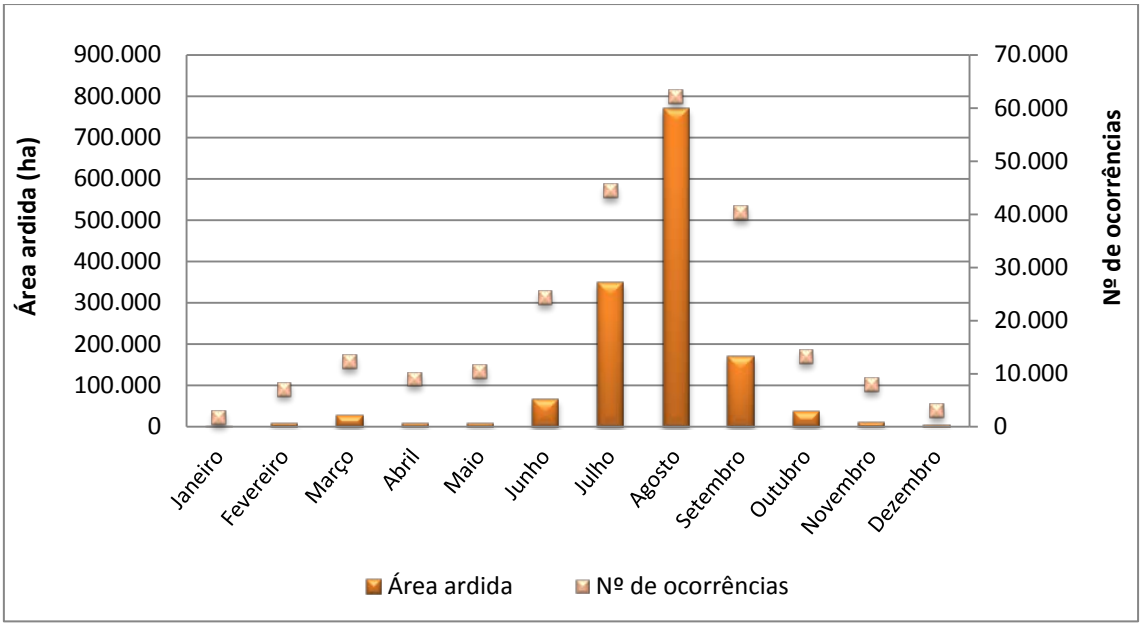
Figura 1.2 – Distribuição anual do número de ocorrências e área ardida entre 1980 e 2010



Fonte: AFN, 2011

Relativamente à evolução do número de ocorrências, as estatísticas demonstram que em Portugal continental verificou-se um aumento muito acentuado nas últimas décadas. De facto verifica-se um aumento muito significativo desde o início da década de 90, existindo atualmente uma tendência de estabilização próxima das 25 000 ocorrências médias anuais. Destacam-se aqui os anos de 1995, 1998, 2000 e 2005 em que foram atingidos os valores máximos, ultrapassando as 30 mil ocorrências anuais.

Figura 1.3 – Distribuição mensal do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010

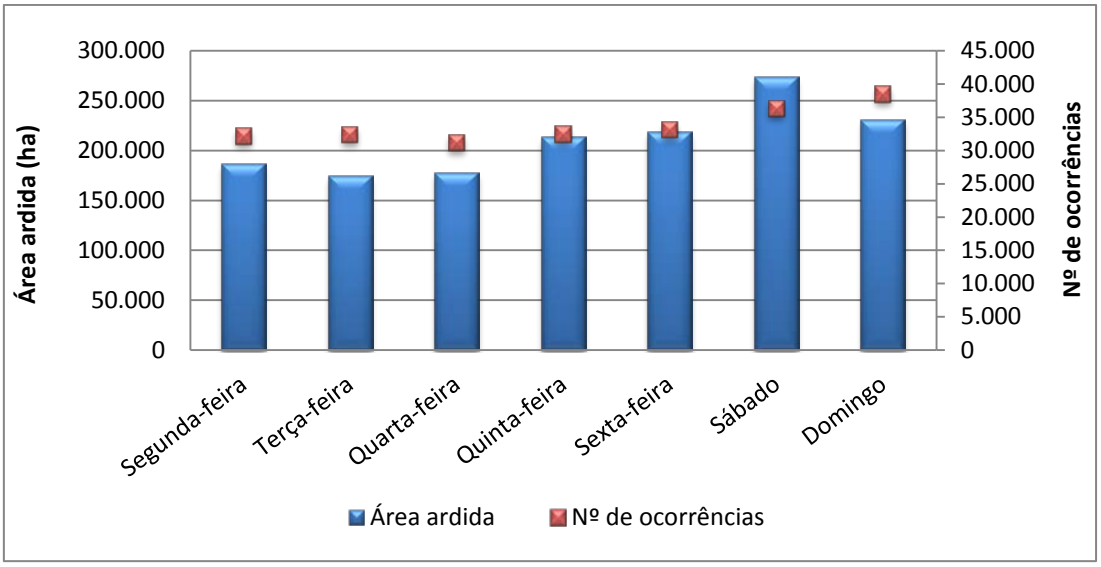


Fonte: AFN, 2011

No que se refere à distribuição do número de ocorrências de incêndios florestais por mês do ano, verifica-se que esta é claramente sazonal, concentrando-se um maior número de ocorrências nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro. Neste período contabilizaram-se 73% das ocorrências e 92% da área ardida. Este cenário é em parte explicado pelas condições meteorológicas verificadas neste período, em que as elevadas temperaturas associadas ao baixo teor de humidade dos combustíveis em muito contribuíram para aumentar o número de ocorrências de incêndios florestais (ISA, 2005).

Em relação à forma como estes se distribuem pelos dias da semana, verifica-se que estes se distribuem de forma desigual, registando-se um ligeiro predomínio dos dias de fim-de-semana. Possivelmente nestes dias existe uma maior incursão de pessoas nos espaços florestais e maior atividade de agricultores a tempo parcial, que aproveitam o fim-de-semana para realizar queimadas (ISA, 2005).

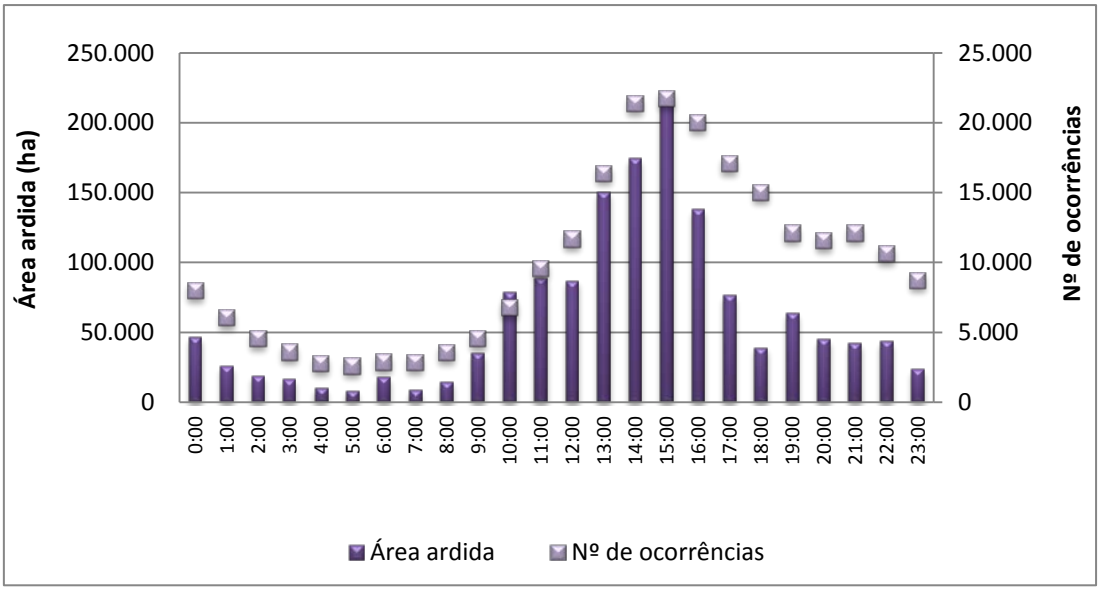
Figura 1.4 – Distribuição semanal do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010



Fonte: AFN, 2011

No gráfico seguinte podemos observar a forma como os incêndios se distribuem ao longo do dia. Destaca-se obviamente o período entre as 13:00 e as 17:00 horas, como aquele em que se verifica a ocorrência de um maior número de incêndios, uma vez que é neste que se verificam as temperaturas mais elevadas. Neste sentido podemos apontar, este como período crítico, uma vez que aqui se concentram 40,9% do total das ocorrências de incêndio, resultando estas em 51,4% da área ardida.

Figura 1.5 – Distribuição horária do número de ocorrências e da área ardida entre 2001 e 2010

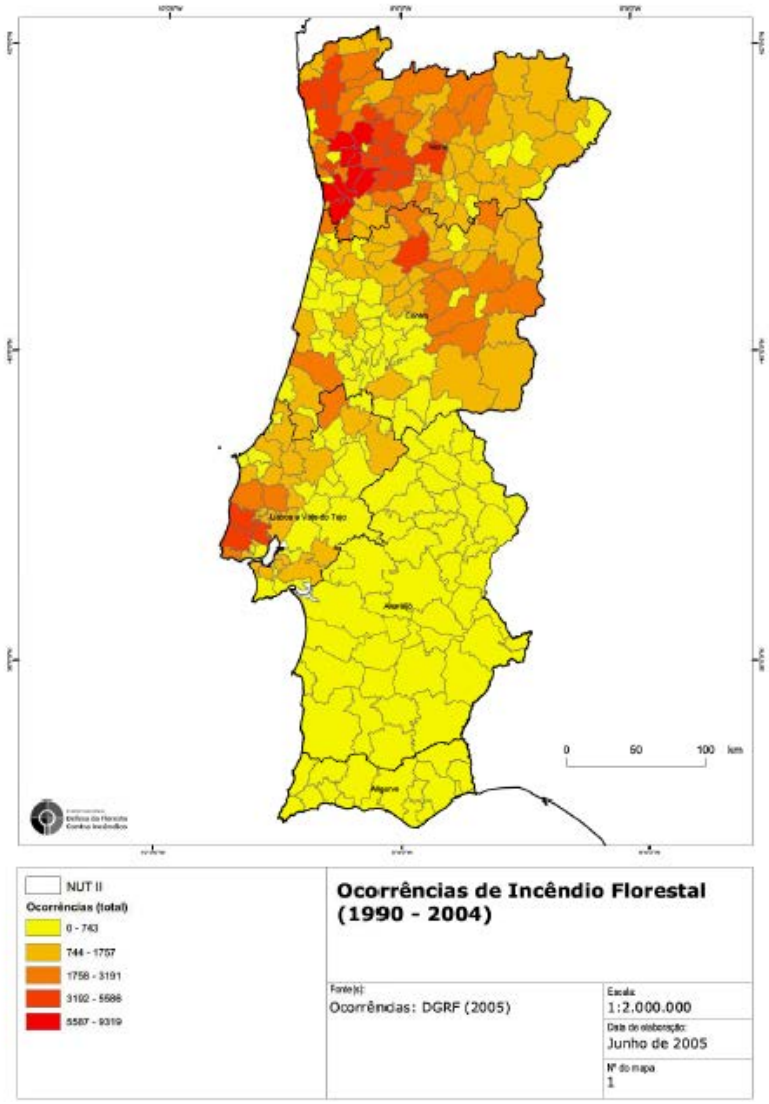


Fonte: AFN, 2011

1.2.2 Distribuição espacial

A distribuição espacial do número de ocorrências de incêndio florestal em Portugal Continental não apresenta um carácter uniforme. De um modo geral aos concelhos que apresentam uma maior densidade populacional, encontra-se associado um maior número de ocorrências, o que não significa forçosamente uma maior percentagem de área ardida. Desta forma podemos constatar uma correlação positiva entre o número de habitantes e o número de ocorrências.

Figura 1.6 – Número de ocorrências por Concelho entre 1990 e 2004

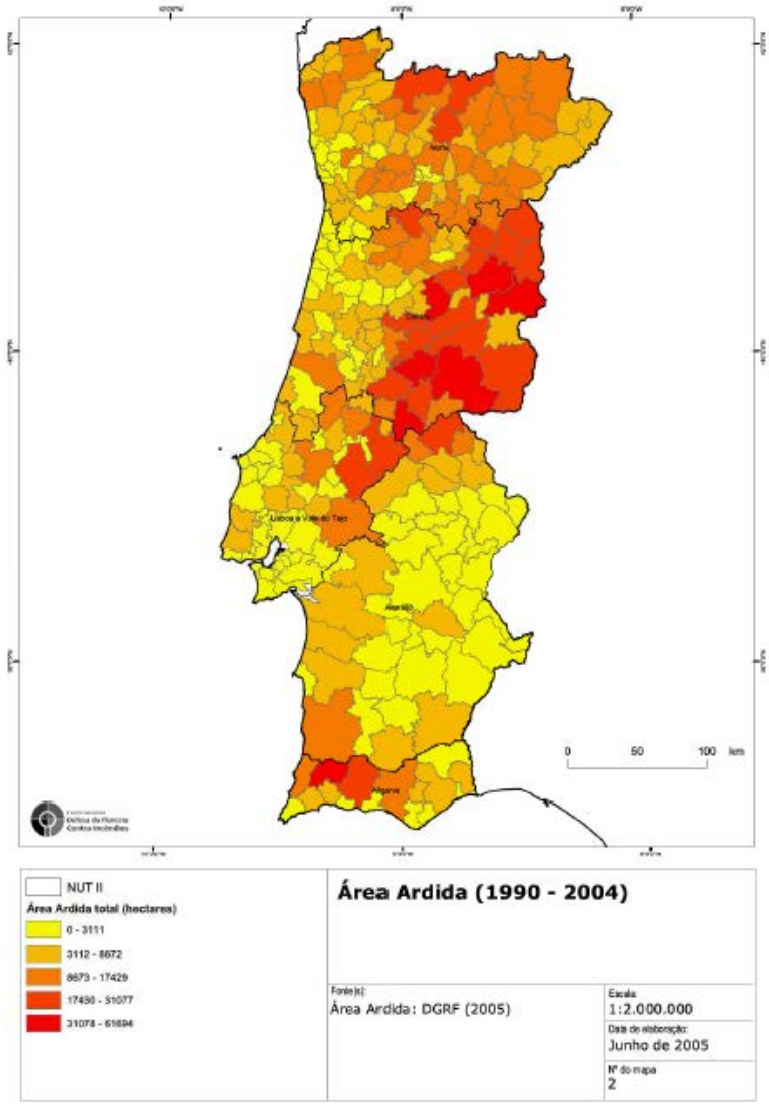


Fonte: ISA (2005)

Relativamente à área ardida observa-se uma tendência inversa à distribuição do número de ocorrências, com uma diferença acentuada entre as regiões Norte e Centro e

a região Sul e entre o litoral e o interior do país. Deste modo verifica-se que não existe uma relação direta entre o número de ocorrências e a área ardida.

Figura 1.7 – Área ardida por Concelho entre 1990 e 2004



Fonte: ISA (2005)

Os concelhos que apresentam uma maior área ardida situam-se principalmente no Centro interior, concentrando-se no eixo montanhoso Serra da Lousã – Serra da Estrela, composto pelos concelhos da Guarda, Gouveia, Pampilhosa da Serra, Arganil, Fornos de Algodres, Sabugal e Vila Nova de Poiares (ISA, 2005).

1.2.3 As Causas

Em Portugal as causas dos incêndios florestais são investigadas desde 1989, através de uma amostragem dos incêndios florestais ocorridos. A classificação da causalidade dos incêndios florestais encontra-se agregada em seis grandes grupos.

Tabela 1.3 – Causalidade dos incêndios florestais entre 2001 e 2010

Causa	N.º de ocorrências	%
Uso do fogo	**12759**	**25,90**
Queima de lixo	618	1,25
Queimadas	11055	22,44
Lançamento de foguetes	241	0,49
Fogueiras	256	0,52
Fumar	534	1,08
Apicultura	15	0,03
Chaminés	12	0,02
Outros	28	0,06
Acidentais	**2232**	**4,53**
Transportes e comunicações	529	1,07
Maquinaria e equipamento	375	0,76
Outras causas acidentais	1328	2,70
Estruturais	**1084**	**2,20**
Caça e vida selvagem	597	1,21
Uso do solo	387	0,79
Defesa contra incêndios	10	0,02
Outras causas estruturais	90	0,18
Incendiarismo	**11681**	**23,71**
Inimputáveis	378	0,77
Imputáveis	9637	19,57
Sem motivação conhecida	1666	3,38
Naturais	**567**	**1,15**
Indeterminadas	**20933**	**42,50**
Total	**49256**	**100,00**

Fonte: AFN, 2011

No período considerado, de 2000 a 2010, foram investigadas um total de 49 256 ocorrências nas tipologias de fogachos e incêndios florestais. Através da análise da tabela n.º 1.3 podemos constatar que as causas com origem na negligência e na intencionalidade são responsáveis por cerca de 56% dos incêndios florestais verificados em Portugal continental. Destacam-se os comportamentos negligentes associados ao uso do fogo (25,90% das causas apuradas), nomeadamente as queimadas. O incendiarismo é

responsável por 23,71% das causas apuradas constituindo a segunda causa de ignição de incêndio florestal. Cerca de 1,15% dos incêndios têm origem em causas naturais e em 42,50% dos incêndios investigados não foi possível determinar a causa.

Capítulo 2 Modelo conceptual

Vários autores têm centrado as suas atenções no estudo da problemática dos incêndios florestais, sendo disto reflexo a diversidade dos trabalhos publicados. Contudo existe uma grande dificuldade em reunir consenso relativamente à terminologia dos modelos de risco utilizados, pelo que este tema têm sido objeto de estudo e discussão por parte da comunidade científica. Esta dificuldade é evidenciada no trabalho Bachmann e Allgöwer (2001), onde os autores afirmam que existe uma grande confusão e inconsistência no uso dos termos de suscetibilidade, perigosidade e risco de incêndio florestal. Esta constatação é também partilhada por Luciano Lourenço (1996), em que o autor afirma que o termo de risco de incêndio é muita das vezes confundida com a perigosidade, apesar de possuírem significados diferentes. Bachmann e Allgöwer (2001) defendem assim a necessidade de definir um modelo conceptual consistente, sob a pena de esta confusão conduzir a leituras incorretas.

Deste modo é necessário clarificar alguns conceitos e terminologias utilizadas com o intuito de conferir uniformidade ao discurso utilizado para que seja possível uma melhor perceção daquilo que se pretende transmitir, relativamente aos termos de suscetibilidade, perigosidade e risco.

A suscetibilidade de um território expressa as condições que esse território apresenta para a ocorrência e potencial de um fenómeno danoso (DGRF, 2007). Para Julião, Nery (2009:21) a suscetibilidade consiste na "*incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência*". Deste modo a suscetibilidade pode ser interpretada como a possibilidade de ocorrência de um determinado fenómeno, neste caso dos incêndios florestais, atendendo às características do território.

A perigosidade, vulgarmente designada de risco, é segundo Varnes (1984; cit. in Verde 2008:15) a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente danoso num determinado período de tempo e numa determinada área. Deste modo, para além da dimensão espacial, a perigosidade engloba também a dimensão temporal. Para Julião, Nery (2009:21) a perigosidade representa a *"probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade numa dada área e num dado período de tempo"*. A perigosidade traduz então o potencial de um território para a ocorrência de um fenómeno, identificando as áreas onde este possui uma maior probabilidade de ocorrer, e onde pode atingir uma maior magnitude. A perigosidade reveste-se de extrema importância para o planeamento das ações de DFCI (prevenção, combate e vigilância), assim como constitui um instrumento de gestão do território (ex.: restrição à edificação).

A vulnerabilidade segundo Varnes (1984; cit. in Verde 2008:15) expressa o grau de perda a que um determinado elemento está sujeito face à ocorrência de um fenómeno. A vulnerabilidade desses elementos designa a sua capacidade de resistência ao fenómeno e de recuperação após o mesmo (DGRF, 2007).

Segundo Bachmann e Allgöwer (2001) o risco de incêndio florestal define-se como *a probabilidade de que um incêndio florestal ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objetos afetados*. Deste modo podemos definir o risco de incêndio como a combinação da perigosidade com a vulnerabilidade. A partir do momento em que o fenómeno passa de uma hipótese a uma realidade, o risco de incêndio indica quais as áreas onde a perda será maior. Este mapa funciona como instrumento de apoio à decisão (o que defender primeiro?), de gestão do território a longo prazo (como gerir, em função do valor), assim como pode auxiliar nas ações de combate aos incêndios florestais.

O modelo de risco de incêndio florestal aplicado neste trabalho assenta no modelo conceptual proposto por Bachmann e Allgöwer. Contudo neste trabalho será apenas tratada a parte da suscetibilidade de incêndio florestal.

Capítulo 3 Índices de Risco de Incêndio Florestal

Os incêndios florestais constituem um dos desastres naturais mais estudados pela comunidade científica, encontrando-se vastamente documentados em diversas publicações tanto a nível nacional como internacional, contudo estes variam nos métodos e parâmetros utilizados. A escolha das variáveis bem como dos diferentes métodos a usar para a sua combinação, resultam numa multiplicidade de abordagens, encontrando-se estas dependentes do respetivo objetivo do trabalho (Freire, Carrão, Caetano, 2002).

O desenvolvimento de um índice de risco de incêndio implica a consideração de um vasto conjunto de fatores, que contribuem para a eclosão e propagação dos incêndios florestais. Alguns destes fatores são relativamente estáveis, mas outros variam consideravelmente de um dia para o outro (Viegas, 2002). Deste modo a abordagem aos incêndios florestais numa perspetiva de gestão do risco necessita de ser efetuada mediante duas perspetivas: a análise dinâmica, que incide essencialmente sobre aspetos meteorológicos e a análise estrutural, que avalia a suscetibilidade do território para a ocorrência do fenómeno (Verde, 2008).

3.1 Índices dinâmicos

Os índices dinâmicos baseiam-se em parâmetros que variam de forma quase contínua e incide fundamentalmente sobre aspetos meteorológicos. Estes índices têm como objetivo a deteção de alterações na inflamabilidade dos combustíveis florestais e o comportamento do fogo face a parâmetros como o estado da vegetação ou o clima (Freire; Carrão e Caetano, 2002).

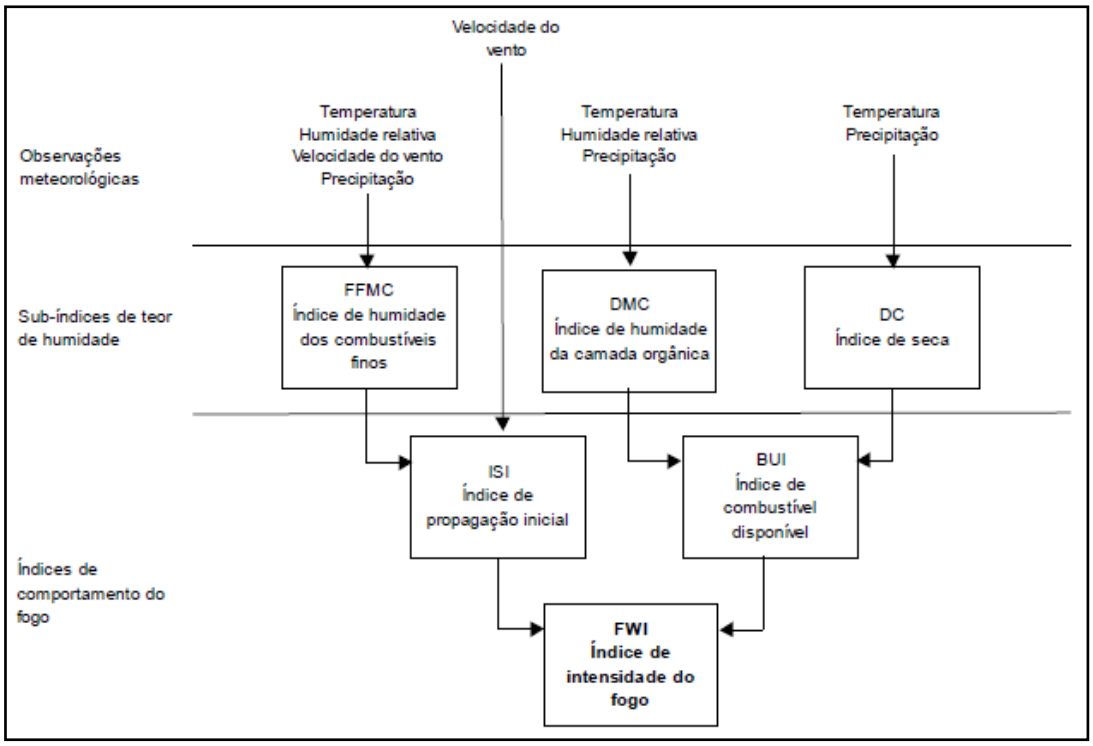
As condições meteorológicas influenciam os incêndios florestais em todas as suas fases, desde a eclosão, passando pela propagação até à supressão (Viegas, 2004). A melhor forma de traduzir esta influência é através de índices meteorológicos que conjuguem diferentes parâmetros, como por exemplo a temperatura, a humidade relativa, a precipitação, a velocidade do vento e o estado da vegetação (Viegas, 2002).

Em Portugal o Instituto de Meteorologia tem a seu cargo o fornecimento da informação diária do risco de incêndio para Portugal Continental. O índice utilizado

para este efeito tem sido, desde 1998, o do sistema canadiano *Fire Weathe rIndex* (FWI).

Este índice, desenvolvido pelos Serviços Florestais Canadianos, permite estimar o risco de incêndio a partir do estado dos diversos combustíveis presentes no solo florestal, estando esse determinado indiretamente através das observações de elementos meteorológicos. Os parâmetros meteorológicos requeridos pelo sistema FWI são a temperatura, a humidade relativa, a velocidade do vento, a precipitação acumulada nas últimas 24 h, valores observados às 12 UTC. Este sistema de indexação é composto por seis componentes principais, em que os três primeiros são índices de humidade que acompanham as variações no teor de humidade de três tipos de combustível com tempos de reação diferentes, e os outros três componentes são índices que representam o comportamento do fogo em velocidade de propagação, consumo de combustível e intensidade (Wagner, 1987).

Figura 3.1 – Estrutura do Índice FWI, adaptado de Domingos X. Viegas (2004)



O índice final FWI é então distribuído segundo a escala distrital de risco de incêndio por um conjunto de cinco classes de risco: Reduzido, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Máximo, que corresponde à escala utilizada durante a época de Verão, entre 15 de Maio e 14 de Outubro. A partir de 2002 o índice FWI, passou a ser

calculado diariamente, com utilização operacional nas ações de prevenção e combate dos incêndios florestais, onde passou a utilizar-se uma nova escala, também à escala distrital, com redução a três níveis: Baixo, Médio e Alto.

3.2 Índices Estruturais

Os índices estruturais baseiam-se na combinação das chamadas variáveis lentas, isto é, que não sofrem alterações num curto espaço de tempo.

O índice proposto por Chuvieco e Congalton (1989) é um dos mais conhecidos, servindo de referência a outros estudos, nacionais e internacionais. Este índice utiliza como variáveis a vegetação, o declive, a exposição, a proximidade à rede viária e a elevação. A integração das variáveis no modelo faz-se por adição de fatores ponderados, sendo o cálculo efetuado da seguinte forma:

$$H = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e$$

Em que, **H** representa o índice de suscetibilidade, **v** é o coeficiente aplicado à vegetação, **s** o coeficiente do declive, **a** o coeficiente da orientação das vertentes, **r** o coeficiente da proximidade às redes viárias e edificado, **e** o coeficiente da altimetria.

Neste modelo, os valores mais baixos foram atribuídos ao maior grau de suscetibilidade. A escala varia entre 0 e 255 (os valores superiores foram reclassificados para 255), em que os valores finais foram agrupados em três classes: alto (entre 1-100), médio (101-200) e baixo (201-255). O valor 0 (zero) foi atribuído às áreas urbanas e superfícies aquáticas que foram retiradas do modelo, e por esta razão o valor de 1 é a constante adicionada à equação para evitar ter pixéis com valores de 0 (zero).

Figura 3.2 – Coeficientes no modelo de Chuvieco e Congalton (1989)

Table 1. Fire Hazard Modeling Method

Original Classes	*Fire Hazard Groups*	*Coefficient*
1.1. Vegetation Layer (Weight 100)		
Dense pine tree	high	0
Medium pine tree	high	0
Sparse pine tree + shrub	medium	1
Dense shrub	medium	1
Medium shrub	medium	1
Sparse shrub	low	2
Almond trees	low	2
Vineyards	low	2
Orange trees	low	2
2.1. Slope Layer (Weight 30)		
0–4%	low	2
5–8%	low	2
9–12%	low	2
13–16%	medium	1
17–20%	medium	1
21–36%	medium	1
27–40%	medium	1
41–44%	high	0
> 44%	high	0
2.3. Aspect Layer (Weight 10)		
Southeast	high	0
Southwest	medium	1
North	low	2
2.4. Proximity to Roads Layer (Weight 5)		
Inside buffered area (< 150 m from any trail or < 50 m from any road)	high	0
Outside buffered area	low	1
2.5. Elevation Layer (Weight 2)		
0–3 m	low	1
3–6 m	low	1
398–400 m	high	0
401–404 m	high	0
405–407 m	high	0

Em 2004 o Instituto Geográfico Português (IGP) utilizou uma metodologia com uma resolução espacial de 25 metros por pixel para cartografar o risco de incêndio à escala distrital, constituindo um projeto de 3 anos (2006-2008).

A produção da cartografia de risco de incêndio florestal baseou-se na utilização de uma metodologia de análise multicritério, sugerida por Almeida (1995), Vettorazzi (2000) e Chuvieco (1989). Esta metodologia envolveu a realização dos seguintes passos: escolha dos critérios representativos para o fenómeno do risco de incêndio florestal, hierarquização dos critérios e ponderação, geração dos critérios e agregação linear dos critérios ponderados.

A abordagem utilizada pelo IGP teve como base o cruzamento de variáveis consideradas condicionantes dos incêndios florestais, como a ocupação do solo, os declives, s rede viária, a exposição solar, a densidade demográfica e a visibilidade dos postos de vigia. Em 2007 a metodologia sofreu algumas alterações. Foi retirado o critério da visibilidade dos postos de vigia e foram aumentados os pesos atribuídos às variáveis densidade demográfica e rede viária, passando este último a incluir a rede ferroviária e as linhas de alta tensão.

A atribuição da classificação de risco de incêndio a cada tipo de ocupação do uso do solo foi determinada consoante os diferentes graus de inflamabilidade e combustibilidade de cada espécie, assim como foi avaliado o índice de risco em termos estatísticos. Por ordem decrescente de importância junta-se o declive, aumentando o risco de incêndio com o aumento do declive, em que um declive acentuado favorece a propagação do fogo. O critério Rede Viária – proximidade à rede viária principal e densidade de caminhos agrícolas e florestais, são dois fatores que interferem com o risco de incêndio florestal, seja por motivo de negligência ou acidente, estes ocorrem maioritariamente na proximidade às vias. Por outro lado a rede viária também pode funcionar como meio de agir em prol da prevenção e combate de incêndios florestais, pois permite a visibilidade a quem circule nas vias, permite o acesso das viaturas de combate e serve como corta-fogo. As exposições foram consideradas neste modelo como relevantes para a propagação do incêndio, em virtude de influenciar as variações do tempo atmosférico durante o dia, assim como as vertentes mais expostas à exposição solar favorecem a combustão por secura da vegetação. A densidade populacional assume aqui uma dupla função, se por um lado uma densidade baixa poderá dar origem a um aumento do risco de incêndio, por poder estar associado ao abandono da propriedade por outro, densidades elevadas poderão ter o mesmo efeito face à maior probabilidade de negligência, acidente ou mesmo de forma intencional (IGP, 2007).

Figura 3.3 - Critérios e Ponderações na metodologia SCRIF/IGP

	Amplitude de valores		Contribuição de cada classe para o valor de risco de cada critério		Contribuição do critério para o valor do risco de incêndio potencial	
			%	Valor	%	Valor max do critério
Ocupação do solo	**Classe 1ª**		**100%**	**590**	**59%**	**590**
	Classe 2ª		80%	472		
	Classe 3ª		70%	413		
	Classe 4ª		40%	236		
	Classe 5ª		30%	177		
	Classe 6ª		10%	59		
	Classe 7ª		1,5 %	9		
Declives	**acima de 40%**		**100%**	**210**	**21%**	**210**
	30 - 40%		66,67 %	140		
	20 - 30%		22,38 %	47		
	10 - 20%		11,43 %	24		
	0 - 10%		3,81 %	8		
Rede viária	Proximidade à rede viária	**Até 25 m**	**100%**	**90**	**9%**	**90**
		25 – 50 m	46,32 %	42		
		50 – 100 m	20,58 %	19		
		100 – 150 m	9,55 %	9		
	Densidade de caminhos agrícolas e florestais	**Inf. a 5 m/ha**	50%	45		
		5 – 12,5 m/ha	23,52%	21		
		12,5 – 20 m/ha	10,29 %	9		
		20 – 30 m/ha	5,14 %	5		
		30 – 40 m/ha	5,14 %	5		
		40 – 65 m/ha	10,29 %	9		
		65 – 80 m/ha	23,52 %	21		
		Sup. a 80 m/ha	50%	45		
Exposições	**135ª - 225º**		**100%**	**60**	**6%**	**60**
	225º - 315º		57,45 %	34		
	45º - 135º		21,28 %	13		
	315º - 45º		6,38 %	4		
	-1 Plano		0%	0		
Densidade demográfica	**Até 250 hab / Km2**		**100%**	**50**	**5%**	**50**
	Entre 250 e 1500 hab / Km2		21,05 %	11		
	Acima de 1500 hab / Km2		**100%**	**50**		

Fonte: IGP (2007)

A agregação das variáveis foi efetuada através de uma soma ponderada, em que cada variável é multiplicada pelo respetivo peso no valor final. Os valores obtidos foram classificados em 5 classes de risco: Baixo (0-100), Baixo-Moderado (101-200), Moderado (201-350), Elevado (351-700) e Muito Elevado (701-1000).

Num contexto diferente das metodologias acima mencionadas, alguns autores defendem a necessidade de integrar nos modelos de propagação o risco de ignição. Estes reconhecem que têm sido desenvolvidos vários esforços na elaboração de modelos preditivos de incêndio florestal, mas estes concentram-se apenas na componente da

propagação, contudo o comportamento do fogo é apenas uma parte do problema, uma vez que não existe nenhum incêndio sem que ocorra ignição (Vasconcelos 2001).

O conhecimento dos padrões espaciais das ignições é amplamente reconhecido a nível internacional (Cardille, 2001; Preisler, 2004; Mercer, 2005; Catry, 2007). O trabalho desenvolvido em 2008 por Jesús Martíniz, Cristina Vega-Garcia e Emilio Chuvieco, *"Human-Caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain"*, é exemplo disso, em que propõem um modelo de previsão do risco humano de incêndio florestal. Este estudo tem como principal objetivo identificar um conjunto de fatores significativos relacionados com o risco humano de incêndio florestal. Desta forma pretende-se analisar a correlação entre determinadas atividades humanas e seus comportamentos com a ocorrência de incêndios florestais. Para a prossecução deste objetivo foi necessário identificar um conjunto de parâmetros territoriais e socioeconómicos que possam explicar a variação espacial do elevado risco humano, permitindo desta forma orientar futuras ações de prevenção estrutural.

Para a construção do modelo de previsão do risco humano de incêndio florestal foi utilizada a Regressão Logística. Uma vez que o risco humano pode ser considerado como uma variável latente, apenas verificável aquando a ocorrência ou não de incêndios, os autores deste artigo consideram esta técnica estatística a melhor escolha para determinar a interdependência entre o n.º de ocorrências e os fatores humanos.

A fórmula expressa-se da seguinte forma:

$$f(z_i) - \frac{1}{1 + e^{-zi}}$$

Em que o valor $f(z_i)$ é a probabilidade de ocorrência de risco humano elevado, $1-f(z_i)$ é a probabilidade de ocorrência oposta (risco humano baixo), e z_i representa a função linear das variáveis independentes. Os resultados provenientes da análise da Regressão Logística contribuíram para uma melhor compreensão dos fatores humanos que afetam os pontos de ignição em Espanha. Aqui foram identificados um conjunto de 13 variáveis que possuem uma maior influência para determinar o risco humano e que serviram de base para a construção do presente modelo. No que se refere aos resultados obtidos (risco alto ou baixo), verifica-se que a previsão do modelo corresponde em 85,4% dos casos relativamente ao registo histórico de ocorrências de incêndio florestal. Após a validação no modelo verificou-se um pequeno decréscimo entre o previsto e o verificado (76,2%).

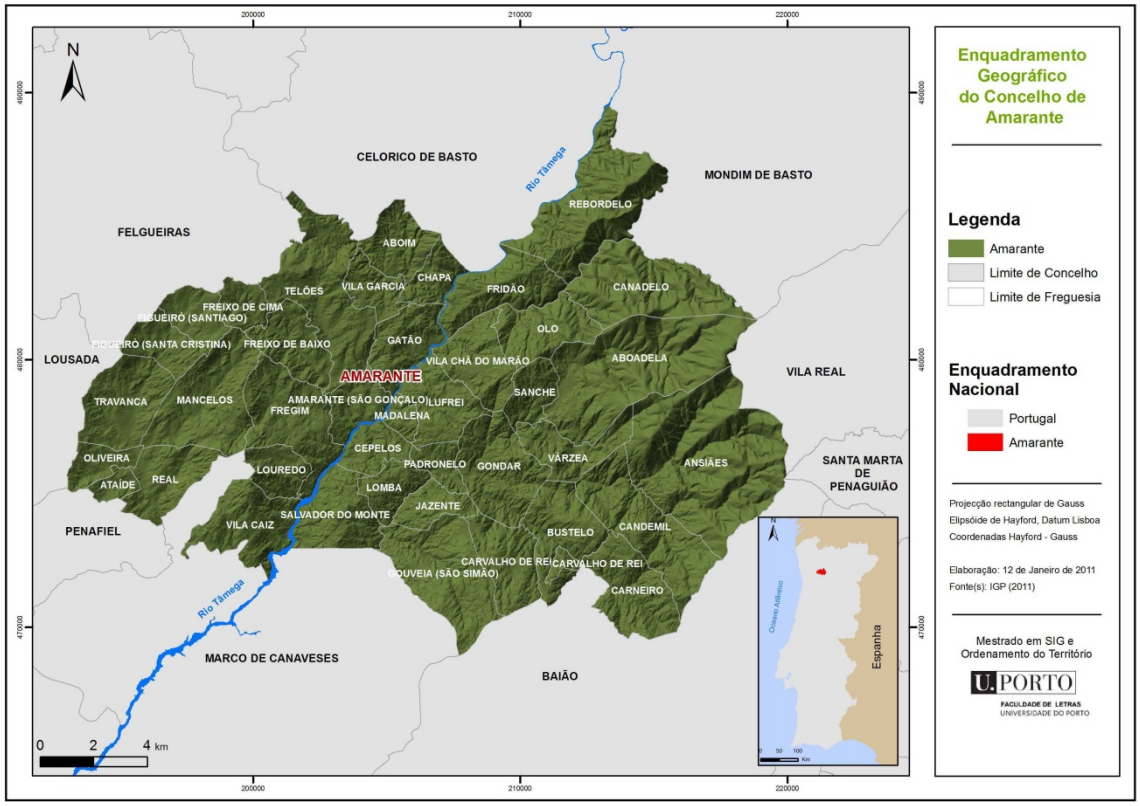
Capítulo 4 Área de Estudo - Concelho de Amarante

4.1 Enquadramento geográfico do Concelho

O Concelho de Amarante situa-se na Região Norte (NUT II) e integra a sub-região do Tâmega, correspondente à NUT III, de acordo com as Nomenclaturas de Unidades Territoriais para fins estatísticos (NUT'S).

Inserido no Distrito do Porto, o Concelho de Amarante prolonga-se por uma área de 301,34 Km^2, distribuída pelas 40 freguesias que compõem o município. De acordo com os resultados preliminares dos Censos 2011 (Instituto Nacional de Estatística), o município de Amarante possui uma população residente de 56217 habitantes, com uma densidade populacional de 186,52 $hab./km^2$. O Município encontra-se delimitado a Norte pelos Concelhos de Felgueiras, Celorico de Basto e Mondim de Basto, a Sul pelos Concelhos de Penafiel, Marco de Canaveses e Baião, a Este por Vila Real e Santa Marta de Penaguião e a Oeste por Lousada.

Figura 4.1 – Enquadramento Geográfico do Concelho de Amarante



O Concelho de Amarante é um espaço de contraste que se encontra na transição entre o Litoral e o Interior e as fronteiras físicas e sociais que as separam são muito ténues. É uma região que sofre a influência do Grande Porto e da Região Litoral Norte.

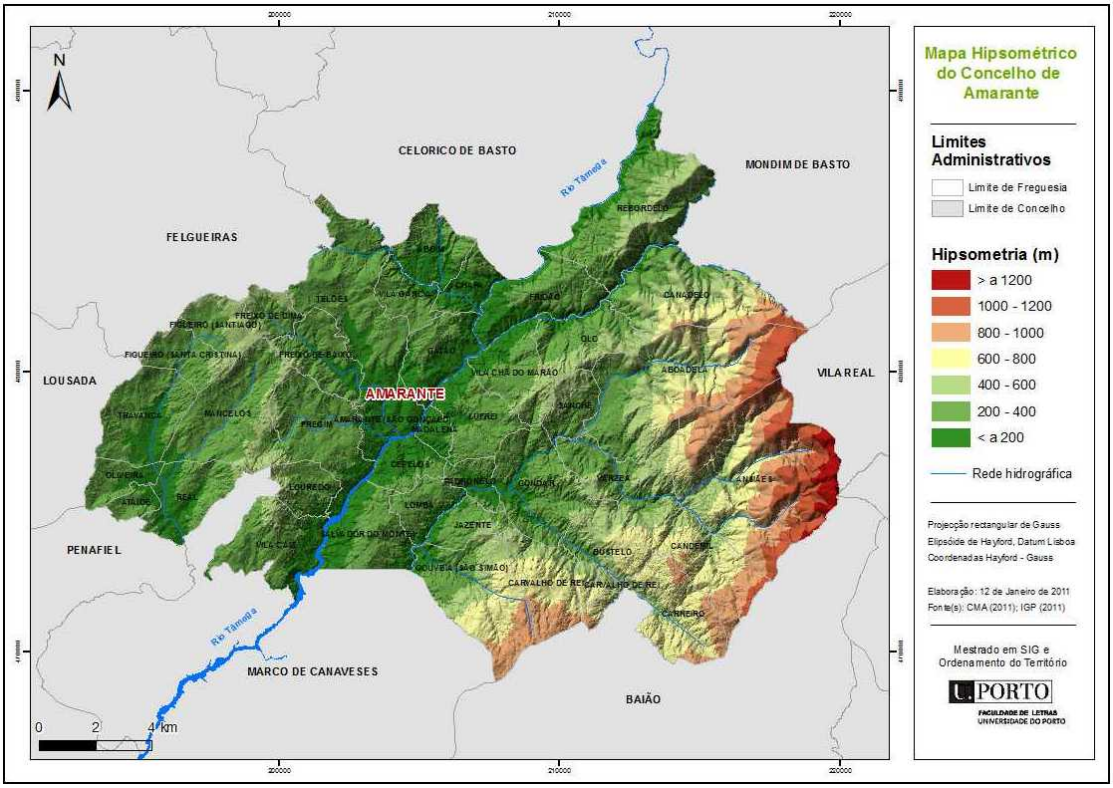
O Concelho de Amarante é marcado por importantes dualismos e desfasamentos, nomeadamente entre o desenvolvimento económico e social, entre as duas margens do Rio Tâmega, a margem esquerda onde predomina a ruralidade e os espaços de baixa densidade e a margem direita mais urbana e povoada.

4.2 Caracterização Física

4.2.1 Relevo

O concelho de Amarante apresenta uma orografia complexa caracterizada pelos seus vales encaixados e pelas vertentes abruptas para o Rio Tâmega e Olo. A sua altitude varia entre os 60 e os 1 346 metros, onde predominam as formações com altitudes inferiores aos 400 metros de formas arredondadas e de declives suaves.

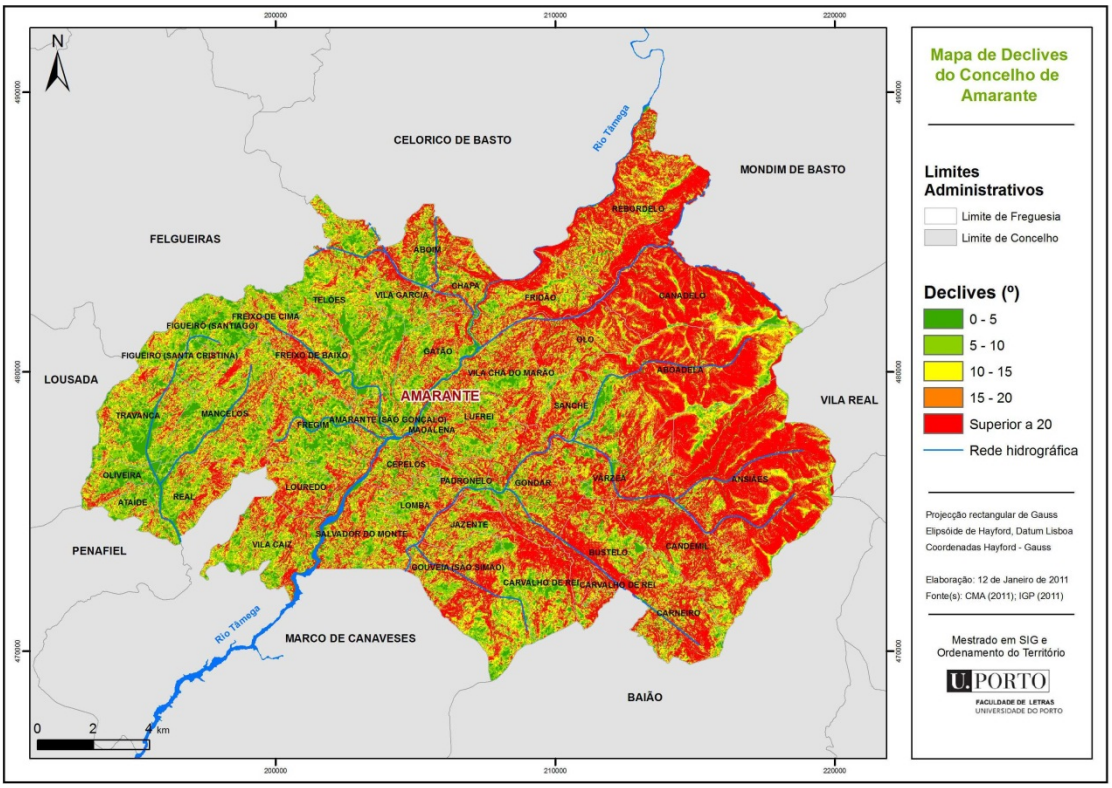
Figura 4.2 – Mapa Hipsométrico do Concelho de Amarante



Através da análise do mapa Hipsométrico podemos observar a predominância de duas áreas morfologicamente distintas. Na margem direita do Rio Tâmega o relevo é mais regular e ondulado, atingindo uma altura máxima de 500 metros. Na margem esquerda o relevo é bastante irregular, marcado pelo desgaste imposto pelos rios Tâmega, Olo e Ovelha e pelas vertentes de formas abruptas da Serra do Marão e Meia Via, onde podemos encontrar as maiores altitudes do Concelho (CMDFCI, Município de Amarante, 2008).

Como se pode observar no mapa de Declives o território apresenta declives acentuados, destacando-se aqui a margem esquerda do Rio Tâmega, nomeadamente a Serra do Marão e Meia Via, assim como as vertentes que dão acesso à superfície culminante da Serra da Aboboreira, onde podemos observar as superfícies mais declivosas da área de estudo.

Figura 4.3 – Mapa de Declives do Concelho de Amarante



4.2.2 Clima

O clima exerce influência sobre diversos aspetos do meio físico, nomeadamente as características dos cursos de água, dos solos, da vegetação, assim como interfere nas

formas de relevo, através dos processos erosivos (Bento Gonçalves, 2007). A caracterização climática do Concelho de Amarante teve por base os dados disponíveis da estação climatológica do Porto, Serra do Pilar (dados relativos ao período 1971-2000).

O Concelho de Amarante é caracterizado por invernos frescos e verões moderados a quentes. A temperatura média anual registada, no período considerado, é de 14,7 °C, sendo a temperatura média do mês mais frio de 9,3 °C em Janeiro, verificando-se durante 4 dias por ano temperaturas negativas. A temperatura máxima média do mês mais quente é de 20,2 °C em Julho, verificando-se durante 49 dias por ano temperaturas máximas superiores a 25 °C. Deste modo, a análise dos dados climatológicos permite-nos constatar o carácter moderado do clima local, que regista uma amplitude térmica média de 10,9 °C. No que se refere à precipitação, a área em estudo, apresenta totais anuais de precipitação superiores a 1200 mm. Para se poder determinar a frequência das precipitações, necessitamos de saber o número de dias em que estas ocorrem, em que um dia de precipitação somente pode ser contabilizado se registar uma quantidade superior ou igual a 0,1 mm em 24 horas. Deste modo existirá torrencialidade das precipitações, se estas forem abundantes mas corresponderem a um número reduzido de dias.

As precipitações com chuvas superiores a 0,1 mm registam-se em média 147 dias por ano, enquanto 110 dias/ano se verificam chuvas iguais ou superiores a 1 mm. No que se refere às precipitações iguais ou superiores a 10 mm, estas apenas se verificam em 44 dias por ano.

De acordo com o Atlas do Ambiente, a temperatura média da área em estudo varia entre 10,0 °C e 15 °C. Para a precipitação os valores variam entre os 1000 e os 2000 mm por ano.

A humidade relativa do ar encontra-se diretamente relacionada com a temperatura e com a natureza das massas de ar no local. O clima da área em estudo é considerado húmido face aos valores médios anuais relativamente elevados, variando entre 75% a 85%, de acordo com os dados do Atlas do Ambiente.

A ocorrência de vertentes nebulosas e nevoeiros frequentes, aliada a uma insolação relativamente baixa, completam as características do clima da área em estudo.

4.3 Uso e ocupação do solo

Através da análise do Plano Regional de Ordenamento Florestal do Tâmega, podemos constatar que a agricultura ocupa os melhores solos de baixa, eventualmente os de meia encosta, verificando-se desta forma um certo acompanhamento por parte das populações, que encetaram nestes espaços processos de fixação e constituição dos aglomerados populacionais. Os espaços florestais foram, na maior parte dos casos, relegados para solos marginais com fraca aptidão florestal.

Este processo conduziu à criação de duas zonas distintas, por um lado predominam os espaços florestais, por outro predominam os espaços agrícolas com floresta associada. No que se refere aos fatores que condicionam o uso e ocupação do solo, estes são vários, destacando-se a heterogeneidade dos solos, a altimetria, os declives, a exposição solar das vertentes, assim como as acessibilidades.

O Concelho de Amarante, com uma área de 30 134,16 ha, é na sua maioria ocupado por espaços florestais representando no seu conjunto cerca de 68,02% (Floresta e Incultos). A Agricultura representa a segunda classe mais representativa, englobando 23,07% da área, com um total de 2446,85 ha. As Áreas Sociais englobam 8,12%, com uma área de 6 951,29 ha, e as Superfícies aquáticas ocupam 0,43%, da área em estudo. A classe menos representativa corresponde aos Improdutivos, representando estes apenas 0,36% da área em estudo, com um total de 129,80 ha.

Tabela 4.1 – Uso e ocupação do solo do Concelho de Amarante

	Área (ha)	(%)
Agricultura	6 951,29	23,07
Áreas sociais	2 446,85	8,12
Floresta	11 174,58	37,08
Improdutivos	109,68	0,36
Incultos	9 321,95	30,93
Superfícies aquáticas	129,80	0,43
Total	30 134,16	100

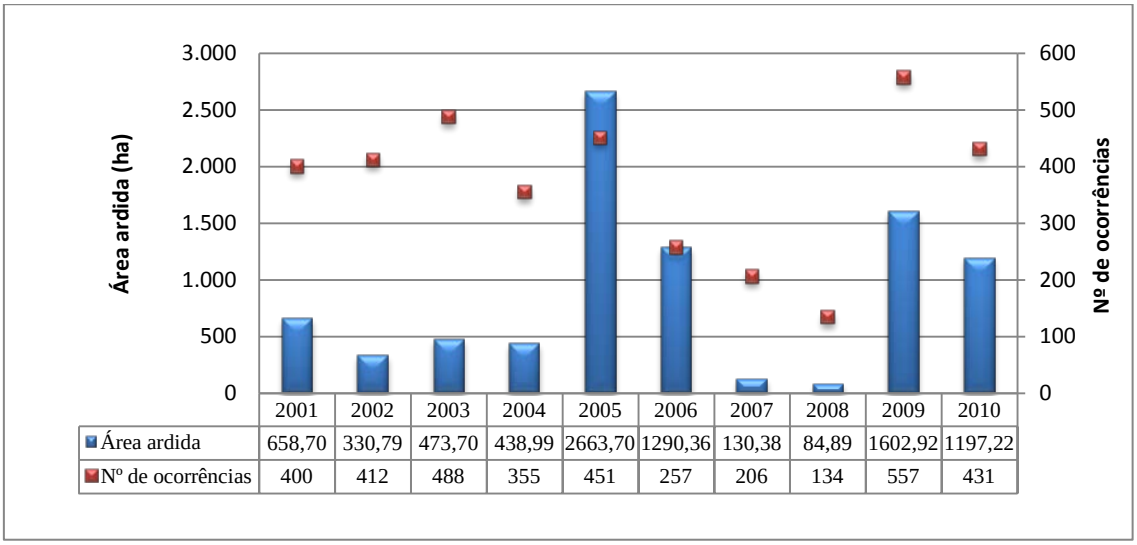
Fonte: IGP (2007)

4.4 Análise do histórico e causalidade dos incêndios florestais

O Concelho de Amarante é, todos os anos, afetado por um elevado número de incêndios florestais. De acordo com as tipologias concelhias de incêndio florestal, introduzidas em 2005 pela proposta técnica do PNDFCI (ISA, 2005), em que se procedeu à divisão dos municípios do território de Portugal Continental em quatro tipos com base no número de ocorrências e área ardida, o Concelho de Amarante foi classificado como do tipo T4 – muitas ocorrências e muita área ardida.

No período compreendido entre 2001 e 2010 registaram-se, segundo os dados disponibilizados pela AFN, um total de 3 691 incêndios. Neste conjunto destacam-se os anos de 2003 e 2009, como aqueles em que se verificou um maior número de incêndios, contabilizando-se 488 e 557 ocorrências respetivamente. Este elevado número de incêndios florestais tem como principal consequência uma extensa área ardida, embora os prejuízos causados pelos incêndios não possam, simplesmente, contabilizar-se pela área ardida, já que, em determinados casos, os prejuízos são incalculáveis em termos de património e vidas humanas.

Figura 4.4 - Distribuição anual da área ardida e do nº de ocorrências (2001-2010)



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Área ardida	658,70	330,79	473,70	438,99	2663,70	1290,36	130,38	84,89	1602,92	1197,22
Nº de ocorrências	400	412	488	355	451	257	206	134	557	431

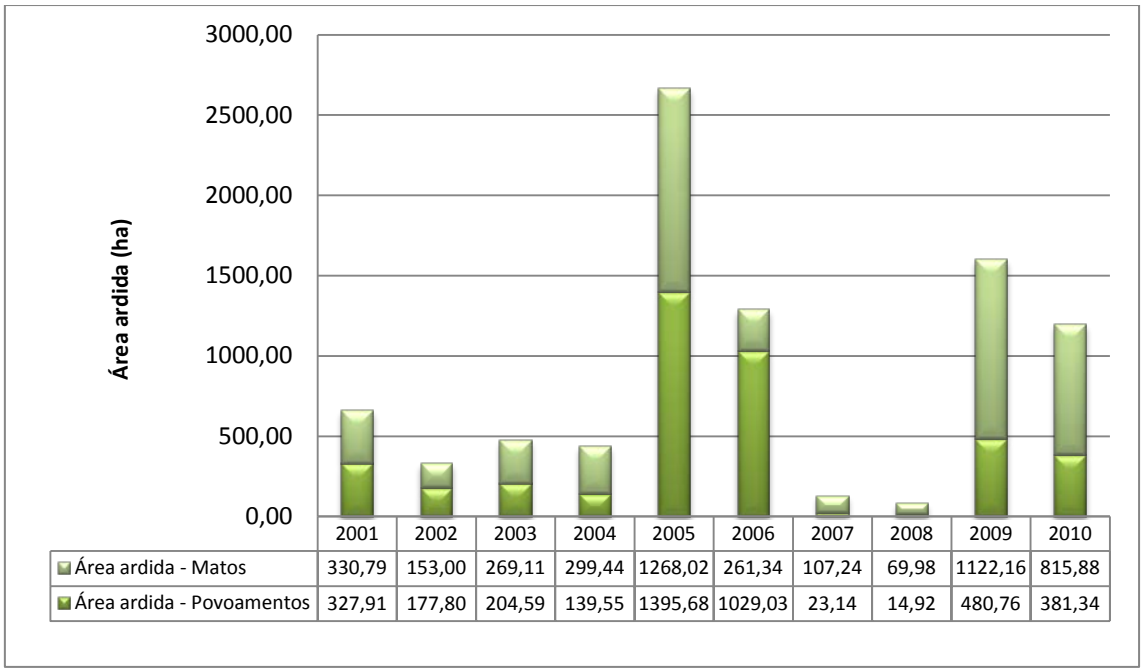
Fonte: AFN (2010)

No que se refere à área ardida, cerca de 8871,65 ha de floresta foram consumidos pelas chamas. Relativamente ao ano em que se verificou uma maior área ardida, o ano de 2005 destaca-se claramente, com 2 663,70 ha consumidos pelas chamas.

4.4.1 Área ardida em espaços florestais

No que se refere ao que ardeu, podemos verificar que os números se distribuem de forma desigual. Assim no período considerado, 2001-2010, ardeu um total de 8 871,65 ha, dos quais 4 696,95 ha referem-se a matos e 4 174,71 ha dizem respeito a povoamentos florestais.

Figura 4.5 – Distribuição da área ardida em espaços florestais (2001-2010)



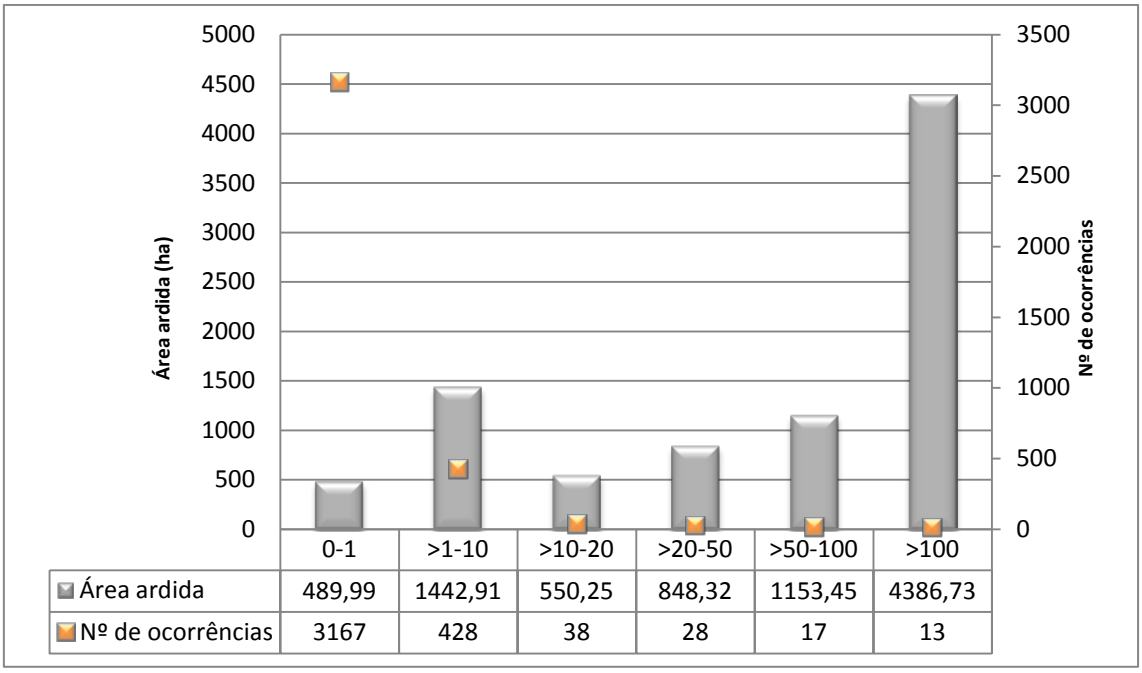
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Área ardida - Matos	330,79	153,00	269,11	299,44	1268,02	261,34	107,24	69,98	1122,16	815,88
Área ardida - Povoamentos	327,91	177,80	204,59	139,55	1395,68	1029,03	23,14	14,92	480,76	381,34

Fonte: AFN (2010)

4.4.2 Área ardida e nº de ocorrências por classes de extensão

A análise dos incêndios por classe de extensão demonstra que a existência de muitas ocorrências não é sinónimo de muita área ardida, verificando-se mesmo uma tendência proporcionalmente inversa entre a frequência e a extensão dos incêndios. Deste modo, podemos observar que a ocorrência de fogachos (menos de 1 ha) é significativa, contabilizando-se 3167 ocorrências, que representam 85,8% do número de ocorrências e são responsáveis apenas por 5,5% do total da área ardida.

Figura 4.6 - Distribuição da área ardida por classe de extensão (2001-2010)



	0-1	>1-10	>10-20	>20-50	>50-100	>100
Área ardida	489,99	1442,91	550,25	848,32	1153,45	4386,73
Nº de ocorrências	3167	428	38	28	17	13

Fonte: AFN (2010)

Os grandes incêndios (> 100 ha) representam apenas 0,35% das ocorrências, mas são responsáveis por cerca de 49,5% da área ardida. Uma classe que interessa aqui destacar refere-se às ocorrências com uma extensão de 1 a 10 ha, já que contribuem com 16,3% das ocorrências e 11,6% da área ardida.

Capítulo 5 Modelação espacial da probabilidade de ignição

5.1 Base de dados de incêndios florestais

A base de dados oficial da informação relativa aos incêndios florestais (SGIF), da competência da Autoridade Florestal Nacional, não possui uma informação precisa relativamente aos pontos de ignição das ocorrências de incêndio florestal. A maior parte dos pontos de ignição encontra a sua localização associada à toponímia mais próxima, o que significa que não é possível determinar com exatidão os pontos de início dos incêndios florestais.

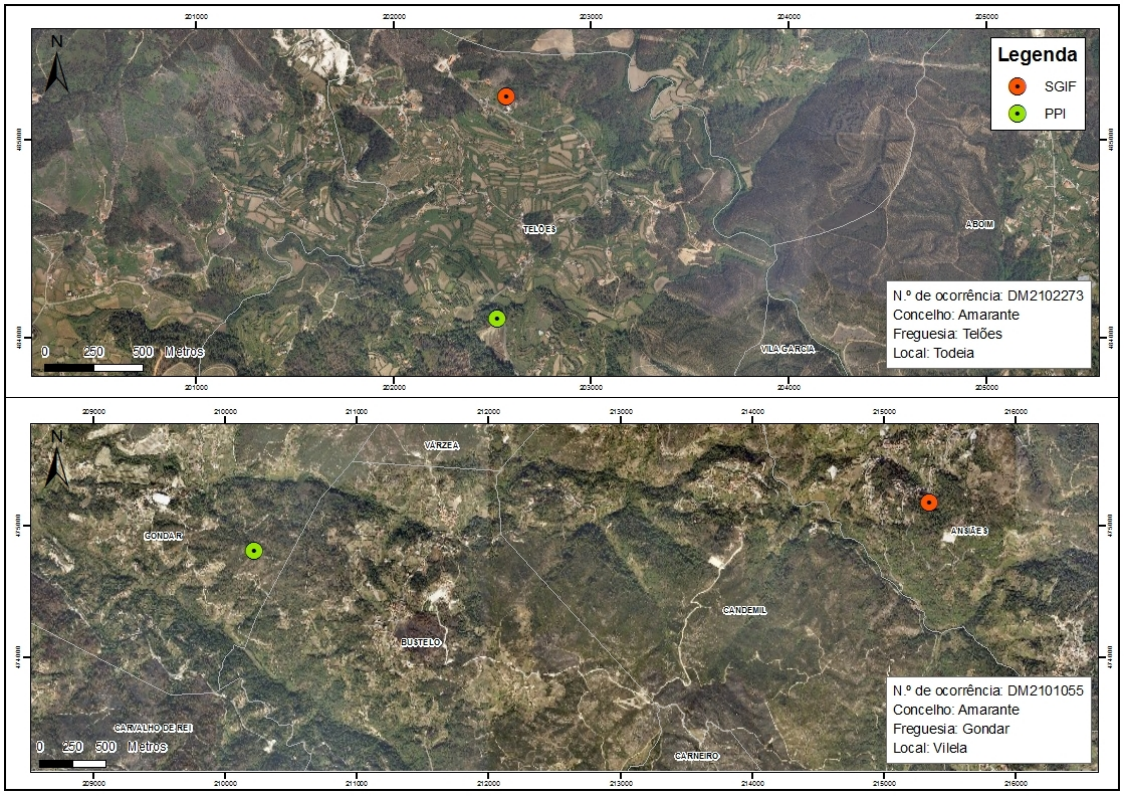
O atual sistema atribui a localização dos incêndios através do método da georreferenciação por moradas, com base nos dados inseridos pelo Serviço Nacional de Proteção Civil aquando do momento de alerta, posteriormente procura-se associar estes dados à toponímia mais próxima e na sua impossibilidade a ocorrência é atribuída à sede de freguesia.

Se efetuarmos uma análise à distribuição da toponímia no Concelho de Amarante, podemos verificar que a distância máxima entre dois locais é de 1 290 metros, o que significa que o erro máximo da localização dos pontos de ignição seria de 645 metros, se estes ocorressem de uma forma aleatória no território. Contudo na realidade os erros poderão ser superiores face a alguma inconsistência dos dados existentes. Através da análise efetuada aos incêndios florestais, no período de 2001 a 2010, verificou-se que 28 ocorrências encontram-se fora do limite geográfico da área em estudo, 4 ocorrências foram atribuídas à sede de concelho e 649 à sede de freguesia (17,6%), 759 encontram-se localizadas fora da freguesia aonde se verificou a ocorrência (20,6%) e 485 ocorrências encontram-se sobrepostas ao edificado (13,1%).

Se por um lado estes dados podem ser considerados aceitáveis em estudos efetuados a pequenas escalas, a uma grande escala estes dão origem a leituras incorretas. Deste modo a opção deste trabalho recaiu na escolha dos dados obtidos pelo projeto de Georreferenciação de Incêndios Florestais, desenvolvido pela Direção de Unidade de Defesa da Floresta (DUDEF) Norte da Autoridade Florestal Nacional e pelos Gabinetes Técnicos Florestais do Distrito do Porto. Este projeto teve início em 2009 com vista à criação de uma plataforma online colaborativa que permitisse o cruzamento da informação entre os corpos de bombeiros, na identificação aproximada do ponto de início, a GNR e os GTF na validação do ponto provável de ignição (PPI) e

marcação da área ardida, e a AFN, na gestão da informação (AFN, 2009). Esta plataforma possibilita a marcação do local de cada uma das ocorrências por parte dos corpos de bombeiros logo que a equipa chega ao quartel, ficando a informação disponível para as restantes entidades. As ocorrências são posteriormente verificadas no terreno pelo GTF e validadas pela GNR. Para distinguir as diferentes etapas deste processo, foram atribuídas 3 cores, que possibilitam a identificação do ponto de situação do registo dos dados: o azul refere-se à marcação do PPI por parte dos corpos de bombeiros, o amarelo significa que foi verificado pelo GTF e o verde corresponde ao processo de validação do local por parte da GNR (AFN, 2009). Concluído este processo, o passo seguinte passa pela correção do local da ocorrência dos dados oficiais provenientes do SGIF, pelos novos dados de localização obtidos através deste procedimento.

Figura 5.1 - Comparação entre os dados do SGIF e os PPI



Fonte: AFN (2012)

Na figura acima representada, podemos efetuar uma comparação entre os dados registados no SGIF e os Pontos Prováveis de Início (PPI). Na primeira ocorrência, verificou-se uma diferença de 1 124 metros entre os dados registados nos dois

procedimentos. Contudo na ocorrência, que teve lugar na freguesia de Gondar, os dados de localização do SGIF colocam esta ocorrência na freguesia de Ansiães, pelo que o erro é muito superior, verificando-se uma diferença de 5 127 metros entre estes dados e o ponto provável de início.

Tabela 5.1 - N.º de ocorrências e percentagem de PPI

Ano	N.º de Ocorrências	Ponto provável de Ignição	%
2009	625	4	0,64
2010	487	250	51,33
2011	434	168	38,71
Total	1546	422	27,30

Fonte: AFN (2012)

No Concelho de Amarante foram registados, entre 2009-2011, um total de 422 ocorrências que representam um total de 27,3% do total das ocorrências verificadas. Apenas o ano de 2009 registou um número insuficiente de dados, pelo que em 2010 e 2011 o número de dados introduzidos já pode ser considerado satisfatório representando 45,4% do n.º total das ocorrências verificadas nestes dois anos.

5.2 Materiais e métodos

5.2.1 Seleção do modelo

A capacidade de prever a ocorrência de ignições de incêndio florestal tem merecido por parte da comunidade científica uma importância crescente. De facto vários autores têm desenvolvido esforços na construção de modelos preditivos para a ocorrência de ignições, utilizando diferentes métodos e níveis de complexidade, contudo a regressão logística tem sido uma das técnicas mais utilizadas (Vasconcelos, 2001; Cardille, 2001; Preisler, 2004; Catry, 2007; Martínez, Vega-Garcia, Chuvieco, 2009).

A regressão logística é um método estatístico bastante utilizado que tem como objetivo determinar a presença ou a ausência de um determinado fenómeno. Esta técnica produz um modelo preditivo de valores tomados por uma variável categórica, frequentemente binária, a partir de uma série de variáveis explicativas contínuas e/ou binárias (Hosmer e Lemeshow, 2000).

A regressão logística é bastante eficaz em estimar a probabilidade de que um determinado evento possa ocorrer, razão pela qual tem vindo a ser utilizada nas mais diversas áreas da ciência. A problemática dos incêndios florestais é um dos exemplos da sua aplicação, em que se tem verificado a utilização deste método estatístico para a construção de mapas de predição.

A fórmula expressa-se da seguinte forma:

$$\mathrm{P(z)} - \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Em que o valor P(z) é a probabilidade de ocorrência do fenómeno, e o valor de z representa a função linear das variáveis independentes:

$z = b_0+b_1x_1+b_2x_2+\ldots b_nx_{n;}$

Em que b_0 é a constante e b_n representa o fator de ponderação da variável x_n. Deste modo o valor de z pode ser interpretado como a probabilidade de ocorrência do fenómeno, e P(z) transforma o valor de z numa função contínua que varia de 0 a 1.

5.2.2 Variáveis dependentes

Na variável dependente é necessário identificar a presença e a ausência de um determinado fenómeno, que no nosso caso é a ocorrência de ignições de incêndio florestal. Como já foi referido anteriormente, como presença, foi utilizada a base de dados do projeto de georreferenciação de incêndios florestais desenvolvido pela DUDEF Norte e pelos GTF do Distrito do Porto, entre 2009 e 2011 em que foram registados um total de 422 ocorrências. Após a análise efetuada a estes dados foram retirados da base de dados, as ocorrências designadas como falso alarme e aquelas que já se encontravam fora do limite de concelho, permanecendo na base de dados um total de 400 ocorrências.

Depois de definida a presença através dos pontos de ignição, é necessário conhecer o resto da área em estudo, identificando a ausência do fenómeno através dos pontos de não ignição. Deste modo foram criados aleatoriamente 600 pontos, não coincidentes com os pontos de ignição, de forma a comparar resultados.

Posteriormente e de forma a efetuar a validação do modelo, foi necessário proceder à criação de dois grupos distintos, um para a construção do modelo (grupo de

treino) e outro para efetuar a sua validação. Este procedimento foi também utilizado por outros autores (Vasconcelos, 2001, Catry, 2007, Chuvieco, 2009), variando apenas na percentagem a utilizar na construção dos respetivos grupos. Deste modo foram selecionados de uma forma aleatória 200 dos pontos de ignição (metade) e 400 pontos de não ignição para efetuar a construção do modelo, optou-se por utilizar 50% mais de pontos de não ignição para melhor caracterizar a heterogeneidade da área de estudo, permanecendo os restantes pontos para testar a capacidade preditiva do modelo, ou seja a sua validação.

Estes dados foram então convertidos numa variável dicotómica (0 - ausência, 1 - presença), constituindo deste modo a variável dependente do modelo.

5.2.3 Variáveis independentes

O passo seguinte deste trabalho passou pela identificação de um conjunto de fatores associados à probabilidade de ignição de incêndios florestais. Contrariamente ao que se verificou na variável dependente, fáceis de identificar e caracterizar, o mesmo não se verifica com as variáveis independentes, de natureza diversa, contudo a qualidade do modelo depende em muito da escolha correta destas variáveis. Com base nos dados disponibilizados pela AFN, entre 2009 e 2011, nos incêndios em que foi possível determinar a sua causalidade, 99% das ocorrências foram atribuídas à causa humana. Com base nestes dados a nossa análise vai incidir sobre a presença humana e a influência que esta exerce na ocupação do solo.

Um conjunto de 13 variáveis, associadas a 4 grupos (topográficas, presença humana, ocupação do solo e relações espaciais), foi obtido através da consulta de várias fontes, nomeadamente os dados censitários e fontes cartográficas.

1. Modelo digital de elevação – este mapa foi produzido com base na informação referente à altimetria do município de Amarante (curvas de nível e pontos cotados), à escala 1:10 000. Este mapa foi submetido a um conjunto de operações, com o intuito de eliminar erros de topologia e valores erráticos ou sem dados;
2. Declives este mapa foi obtido através do modelo digital de elevação;

3. Orientação das encostas –a orientação das encostas ou exposição indica-nos a direção da encosta em relação ao norte cartográfico, este mapa foi obtido através do modelo digital do terreno;
4. Ocupação do solo – foi utilizada a Carta de Ocupação do Solo de 2007 (COS 2007) à escala 1:25 000. A COS 2007 é composta por um sistema hierárquico de classes de ocupação do solo, com cinco níveis, e possui 193 classes de nível mais detalhado. Estas foram agrupadas em cinco classes e reclassificadas de acordo com as suas principais características: 1) Floresta, 2) Incultos, 3) Agricultura, 4) Áreas sociais, 5) Vegetação esparsa. As superfícies aquáticas foram removidas face à sua irrelevância para a construção do modelo, uma vez que a possibilidade de iniciar um incêndio nestas áreas é nula;
5. Distâncias às áreas urbanas – para a construção deste mapa foram utilizadas as áreas classificadas como urbanas na COS 2007. A distância em metros foi obtida a partir de qualquer local do território até à área urbana mais próxima;
6. Distância às áreas agrícolas – foram utilizadas as áreas definidas como agrícolas na COS 2007, e foi calculada a distância até à área agrícola mais próxima a partir de qualquer lugar no território;
7. Distância à floresta – este mapa foi obtido através do cálculo da distância a partir de um determinado local no território até à área definida, na COS 2007, como floresta;
8. Distância aos incultos – para a construção deste mapa foram utilizadas as áreas classificadas como incultos na COS 2007. A distância em metros foi obtida a partir de qualquer local do território até à área definida como inculto mais próxima;
9. Distância ao edificado – foi utilizada a planimetria da cartografia base da Câmara Municipal de Amarante, que contêm a informação relativa ao edificado, à escala 1:10 000. A distância em metros foi obtida a partir de qualquer local do território até ao edifício mais próximo;
10. Distância à rede viária – foi utilizada a rede viária constante no PMDFCI do município de Amarante, à escala 1:10 000. Foi calculada a distância em metros a partir de qualquer local no território até à estrada mais próxima;

11. Densidade da rede viária – a fonte de informação foi a mesma da variável anterior, e foi calculada a densidade da rede viária em metros/hectare;
12. Densidade populacional – este mapa foi obtido através dos resultados provisórios dos Censos de 2011, do Instituto Nacional de Estatística, em que foi utilizada a informação referente ao n.º de por subsecção estatística;
13. Nº de edifícios – foi calculado o n.º de edifícios presentes em cada subsecção estatística, com base nos resultados provisórios dos Censos de 2011.

Como já foi referido anteriormente, foi obtido um conjunto de 13 variáveis, associadas a 4 grupos (topográficas, presença humana, ocupação do solo, e relações espaciais), e foram excluídas as variáveis socioeconómicas devido ao facto de os dados dos censos 2011, referente a este contexto, ainda não estarem disponíveis, contudo estas poderão ser incluídas em estudos posteriores.

Tabela 5.2 -Variáveis independentes selecionadas

Grupo	Variável	Tipo de informação	Fonte
Topográfico	Altimetria (MDT)	Quantitativa (m)	CMA
	Declives	Quantitativa (º)	CMA
	Orientação das encostas	Qualitativa (8 classes)	CMA
Ocupação do solo	Ocupação do solo	Qualitativa (5 classes)	IGP
Relação espacial	Distância às áreas urbanas	Quantitativa (m)	IGP
	Distância às áreas agrícolas	Quantitativa (m)	IGP
	Distância à floresta	Quantitativa (m)	IGP
	Distância aos incultos	Quantitativa (m)	IGP
	Distância ao edificado	Quantitativa (m)	CMA
	Distância à rede viária	Quantitativa (m)	CMA
	Densidade da rede viária	Quantitativa (m/ha)	CMA
Presença humana	Densidade populacional	Quantitativa (hab/km^2)	INE
	Nº de edifícios	Quantitativa (edifícios/km^2)	INE

A análise espacial destas variáveis realizou-se num Sistema de Informação Geográfica com base matricial, após a preparação e transformação para este formato da informação vetorial disponível, em que foi adotado um tamanho de pixel de 10 metros. A elaboração dos mapas baseou-se em operações de análise e modelação espacial, em que foram utilizados programas de SIG e análise estatística.

5.2.4 Construção do modelo preditivo

Selecionadas as variáveis que vão ser incluídas na construção do modelo, o passo seguinte passa pela análise da relação que cada variável possui com a ocorrência de ignições de incêndio florestal. Para analisar o comportamento das variáveis independentes procedeu-se à sua intersecção com a variável dependente do modelo, incluindo ambos os pontos de ignição e os pontos de não ignição, isto é, com a presença e a ausência do fenómeno. Posteriormente foi efetuada uma análise de frequências com o objetivo de caracterizar a ocorrência de incêndios florestais com algumas características do território, procurando deste modo identificar alguns padrões espaciais.

Com o intuito de evitar erros no modelo foram utilizadas algumas técnicas estatísticas, mais concretamente o Coeficiente da Correlação de Pearson. Esta análise foi efetuada entre as variáveis independentes no sentido de remover aquelas que possuíam uma correlação elevada. Adicionalmente foram ainda efetuados um conjunto de testes de significância estatística, com o objetivo de avaliar e escolher as variáveis independentes que vão ser incluídas na construção do modelo. Os testes realizados foram o qui – quadrado e o teste de U – Mann Whitney uma vez que estes permitem avaliar a significância estatística, verificando a existência ou não de diferenças entre as amostras ou, equivalentemente, se as amostras provêm ou não da mesma população. Neste caso as variáveis que não possuíam diferenças significativas entre os 2 grupos, pontos de ignição e pontos de não ignição, eram consideradas de pouca expressão para o cálculo da probabilidade de ignição e desta forma eram excluídas da análise. Após a análise exploratória dos dados foi considerada uma lista de 10 variáveis independentes para a construção do modelo estatístico.

A importância de cada variável na explicação da probabilidade de ignição de incêndios florestais foi testada através da análise de regressão logística univariada,

utilizando o grupo designado para a construção do modelo. O modelo final da regressão logística foi obtido através da análise multivariada, em que as variáveis independentes foram selecionadas e introduzidas no modelo com base na razão de verosimilhança.

Uma vez definido o modelo é necessário testar a sua validade, esta foi analisada utilizando diferentes abordagens. A avaliação global do modelo foi efetuada utilizando o teste de ajuste ao modelo Hosmer-Lemeshow. Se o resultado do teste for inferior a 0,05, rejeitámos a hipótese nula de que não existe diferença entre os valores observados e os previstos, o que significa que os dados não se ajustam ao modelo (Hosmer e Lemeshow, 2000).

A capacidade preditiva do modelo foi avaliada utilizando tabelas de classificação, comparando os valores observados e os previstos. Para tal foi necessário definir um valor a partir do qual se aceita a ocorrência de ignição de incêndios florestais, pelo que deste modo foram experimentados diferentes pontos de corte, com o objetivo de encontrar o valor ótimo. Os pontos de corte são utilizados para converter a probabilidade de ignição em dados dicotómicos (0-1). Desta forma os valores que se encontram abaixo do ponto de corte são definidos como locais de não ignição, enquanto aqueles que apresentam valores acima são estabelecidos como locais de ignição. Duas estatísticas são calculadas para cada ponto de corte considerado: sensibilidade e especificidade. Sensibilidade é a proporção de verdadeiros positivos que foram preditos como eventos e especificidade é a proporção de verdadeiros negativos que são previstos como não-eventos. O valor ótimo corresponde ao valor de intersecção entre a sensibilidade e especificidade (Vasconcelos, 2001).

A performance do modelo poderá ainda ser efetuada através da curva ROC, que analisa a proporção de verdadeiros positivos que são classificados como positivos (sensibilidade), e qual a proporção de verdadeiros negativos que o modelo classifica como negativos (especificidade). Um modelo que denota um bom desempenho é aquele que engloba grandes áreas abaixo da curva (Catry, 2007). Os valores entre 0,5 - 0,7 indicam baixa precisão, valores entre 0,7-0,8 indicam uma precisão aceitável, entre 0,8-0,9 indicam uma boa precisão e os valores superiores a 0,9 revelam uma excelente capacidade preditiva do modelo (Hosmer e Lemeshow, 2000).

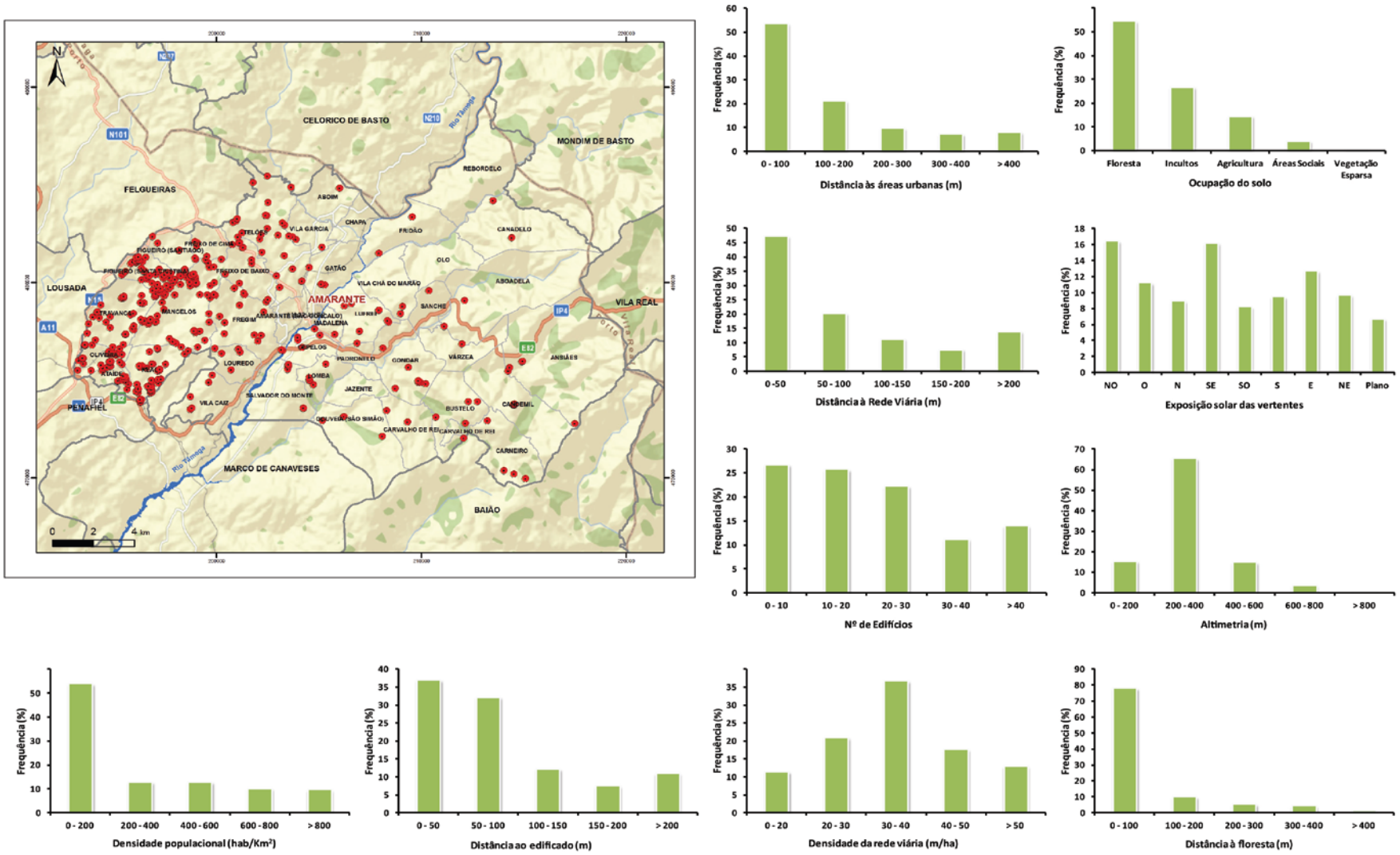
5.3 Resultados

5.3.1 Análise de frequências

Como já foi referido anteriormente, foi utilizada a base de dados do projeto de georreferenciação de incêndios florestais desenvolvido pela DUDEF Norte e pelos GTF do Distrito do Porto, entre 2009 e 2011 em que foram registados um total de 400 ocorrências. Numa primeira análise, podemos verificar que a maior parte das ocorrências encontram-se localizadas na margem direita do Rio Tâmega. De facto é aqui que as áreas de interface urbano - floresta assumem uma maior expressão. Posteriormente foi efetuada uma análise à distribuição espacial dos pontos de ignição, em relação às variáveis selecionadas para a construção do modelo, excluindo-se a distância aos incultos, às áreas agrícolas e os declives, uma vez que estas variáveis não revelaram diferenças entre as duas amostras (pontos de ignição e pontos de não ignição). Deste modo verificou-se que 81% das ocorrências encontram-se abaixo dos 400 metros de altitude e cerca de 35% ocorreram no quadrante norte no que se refere à orientação das encostas. A distribuição dos pontos de ignição pelas classes de ocupação do solo revela-nos que cerca de 81% das ocorrências localizam-se nas áreas florestais, em que 54,5% diz respeito a floresta e 26,5% a incultos. Cerca de 78% localizam-se dentro ou a menos de 100 metros das áreas classificadas como floresta e 75% ocorrem a menos de 200 metros das áreas urbanas.

A proximidade ao edificado revela-se aqui como locais de potencial foco de ignição a incêndios florestais, em que 70% dos pontos de ignição localizam-se dentro de um raio de 100 metros em torno da edificação e 37% ocorrem a menos de 50 metros. A proximidade à rede viária e a sua densidade foram duas variáveis que foram consideradas como potenciais fatores de contributo para a ocorrência de ignições de incêndio florestal. Com efeito, 47,3% das ocorrências tiveram início em zonas confluentes com a rede viária, a menos de 50 metros, e 36,8% ocorreram em áreas com uma densidade de caminhos de 30 a 40 m/ha. No que se refere às variáveis que refletem a presença humana estas demonstram uma tendência inversa, uma vez que o número de ocorrências diminui à medida que aumenta a presença humana. Cerca de 54% das ocorrências verificam-se nos locais aonde a densidade populacional é mais baixa, inferior a 200 hab/km^2, e 52,5% dos pontos de ignição situam-se em áreas com um número de edifícios igual ou inferior a 20.

Figura 5.2 – Distribuição e frequência das ignições de incêndio florestal, por fator condicionante



5.3.2 Modelação espacial da probabilidade de ignição

Numa primeira fase e com o intuito de determinar a importância de cada uma das variáveis independentes na explicação da probabilidade de ignição, foi utilizada a regressão logística univariada, com base no grupo designado para a construção do modelo. Com base nos resultados da Tabela 5.3 as variáveis que apresentam uma maior expressão no modelo são a ocupação do solo, seguido da distância às áreas urbanas, o número de edifícios, a distância à rede viária, e a distância à floresta. Estas variáveis revelaram-se significativamente relacionadas com a probabilidade da ocorrência de ignição de incêndios florestais (P <0,05).

Tabela 5.3 - Resultados do modelo da regressão logística univariada

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Altimetria	0,000	0,001	0,062	1	0,804	1,000
Exposição	-0,040	0,040	1,013	1	0,314	0,960
Ocupação do solo	**-0,963**	**0,130**	**54,741**	**1**	**0,000**	**0,382**
Distância às áreas urbanas	**-0,003**	**0,001**	**18,980**	**1**	**0,000**	**0,997**
Distância à Floresta	**0,002**	**0,001**	**3,892**	**1**	**0,049**	**1,002**
Distância ao edificado	-0,001	0,001	0,856	1	0,355	0,999
Distância à rede viária	**-0,002**	**0,001**	**3,955**	**1**	**0,047**	**0,998**
Densidade da rede viária	-0,752	0,939	0,642	1	0,423	0,471
Densidade populacional	0,000	0,000	0,825	1	0,364	1,000
N.º de edifícios	**0,013**	**0,006**	**4,482**	**1**	**0,034**	**1,013**
Constante	**2,340**	**0,617**	**14,406**	**1**	**0,000**	**10,385**

Analisada a importância de cada uma das variáveis independentes na explicação da probabilidade de ignição, foi efetuada uma análise multivariada, utilizando o grupo de treino. Foram aqui gerados 5 modelos, em que o modelo final de regressão logística foi aquele que obteve os melhores resultados. O modelo selecionado revela um bom ajuste dos dados de acordo com o teste Hosmer-Lemeshow (X^2 = 8,272, p = 0,407) e uma área abaixo da curva de 0,829, o que revela uma boa capacidade preditiva do modelo.

Tabela 5.4 – Tabela de classificação, grupo de treino

Observados	Previstos		
	Não Ignição	Ignição	%
Não ignição	331	69	**82,8**
Ignição	65	135	**67,5**
	Classificação global		**77,7**

A capacidade preditiva do modelo foi ainda avaliada utilizando tabelas de classificação, comparando os valores observados e os previstos. Aqui foram testados diferentes pontos de corte, em que o valor de 0,44 foi aquele que obteve melhores resultados, com uma classificação global de 77,7% dos casos corretamente classificados.

A ocupação do solo e a orientação das encostas foram analisadas como variáveis categóricas e as restantes como variáveis contínuas. No caso das variáveis categóricas foi necessário escolher uma classe de referência, com a qual as restantes classes foram comparadas. Deste modo foi escolhida a floresta como a classe de referência da ocupação do solo e na exposição solar das vertentes foi o quadrante Noroeste, esta escolha incidiu sobre a expressão territorial de cada uma das classes, uma vez que eram estas as mais representativas.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 5.5, podemos verificar que as variáveis que possuem uma maior influência na explicação da probabilidade de ignição são a ocupação do solo, seguido da distância às áreas urbanas, a exposição solar das vertentes, o n.º de edifícios e a distância à rede viária, pelo que vão ser estas as selecionadas para a construção do modelo preditivo.

Tabela 5.5 - Resultados do modelo da regressão logística multivariada

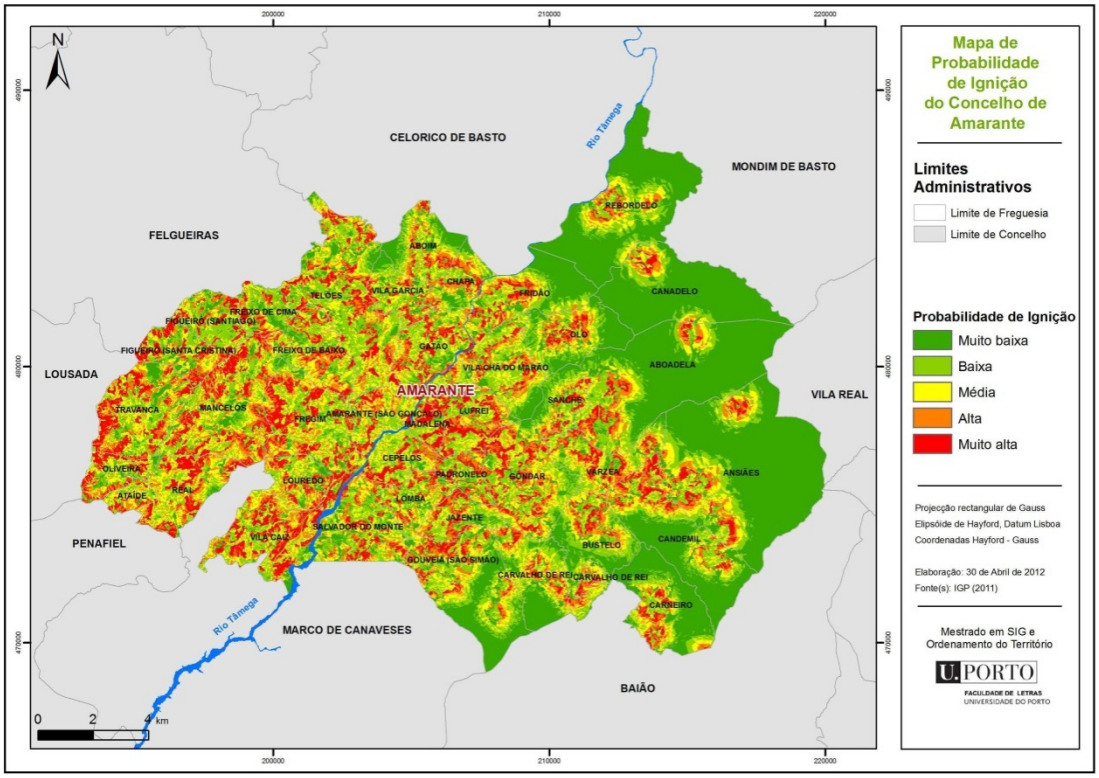
	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Ocupação do solo			71,691	4	0,000	
Agricultura	-2,018	0,296	46,318	1	0,000	0,133
Áreas sociais	-2,755	0,449	37,656	1	0,000	0,064
Vegetação esparsa	-0,805	1,455	0,306	1	0,580	0,447
Incultos	0,020	0,263	0,006	1	0,940	1,020
Distância às áreas urbanas	-0,004	0,001	39,899	1	0,000	0,996
Exposição			20,198	8	0,010	
Sul	-1,003	0,397	6,375	1	0,012	0,367
Norte	-0,910	0,424	4,607	1	0,032	0,402
Nordeste	-1,000	0,475	4,429	1	0,035	0,368
Oeste	-0,664	0,371	3,200	1	0,074	0,515
Sudoeste	-0,670	0,444	2,275	1	0,132	0,512
Sudeste	0,323	0,376	0,737	1	0,391	1,381
Plano	-0,271	0,464	0,342	1	0,559	0,762
Este	-0,102	0,398	0,065	1	0,798	0,903
N.º de edifícios	0,015	0,006	6,110	1	0,013	1,015
Distância à rede Viária	-0,002	0,001	4,031	1	0,045	0,998
Constante	1,207	0,357	11,468	1	0,001	3,344

O modelo final foi obtido através da seguinte equação:

P = 1 / (1 + EXP (- (1,207-0,004 Distância às áreas urbanas + 0,015 N.º de edifícios - 0,002 Distância à rede viária -2,018 Agricultura -2,755 Áreas sociais -0,805 Vegetação esparsa -1,003 Sul -0,910 Norte -1,000 Nordeste -0,664 Oeste -0,670 Sudoeste + 0,323 Sudeste -0,271 Plano -0,102 Este)))

A espacialização do modelo foi obtida através do cruzamento das variáveis independentes selecionadas, de acordo com os coeficientes obtidos através do modelo da regressão logística. Deste modo, aplicando a equação acima transcrita, foi possível obter um mapa final da probabilidade de ignição de incêndios florestais. O mapa produzido foi classificado em 5 classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Figura 5.3 – Mapa de probabilidade de ignição de incêndios florestais



A delimitação das classes de probabilidade de ignição baseou-se nos resultados da curva ROC com maior valor de área abaixo da curva (0,829), que foi obtida com o grupo de treino.

5.3.3 Validação do modelo

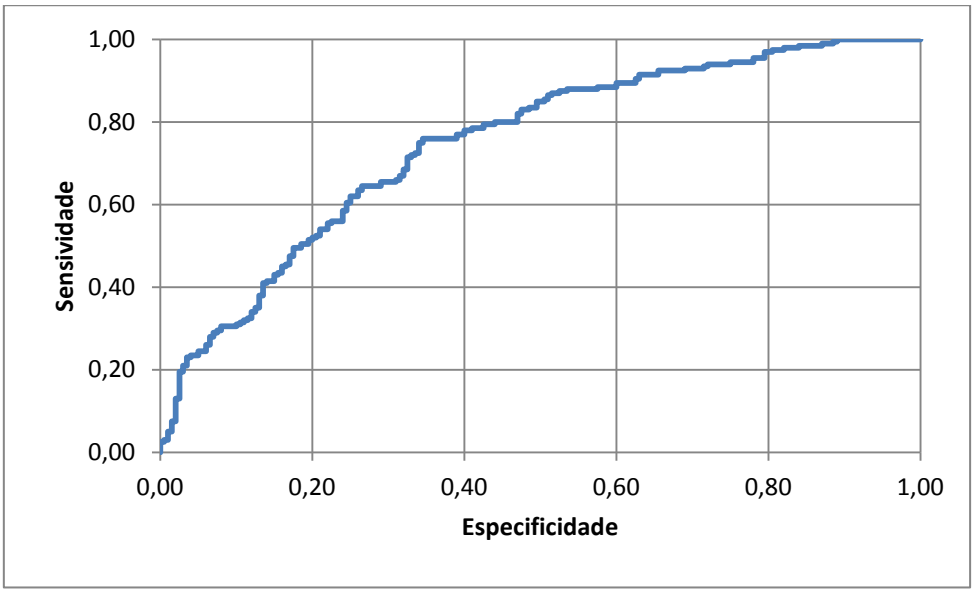
Uma vez criado o mapa de probabilidade foi necessário avaliar os resultados obtidos, no sentido de testar a sua validade. Deste modo foi efetuada uma análise independente utilizando o grupo de validação para verificar a eficácia do modelo preditivo.

Tabela 5.6 - Tabela de classificação, grupo de validação

Observados	Previstos		
	Não Ignição	Ignição	%
Não ignição	109	91	**54,5**
Ignição	40	160	**80,0**
	Classificação global		**67,3**

De acordo com os resultados obtidos na tabela de classificação, o modelo classificou corretamente 67,3% de todas as observações. Estes resultados significam uma descida quando comparados com os obtidos com o grupo de treino (77,7%). Cerca de 54,5% dos pontos de não ignição e 80% dos pontos de ignição foram corretamente classificados pelo modelo, o que significa uma inversão dos resultados comparativamente com os obtidos pelo grupo de treino, diminui a percentagem de pontos de não ignição corretamente classificados e aumentou a percentagem dos pontos de ignição.

Figura 5.4 – Área abaixo da Curva ROC, grupo de validação



O desempenho do modelo foi analisado através da curva ROC, utilizando o grupo de validação. A área abaixo da curva foi de 0,748, o que revela uma capacidade preditiva do modelo aceitável, baixando ligeiramente quando comparado com os resultados do grupo de treino (0,829), contudo evidencia ainda um resultado bastante satisfatório.

No sentido de avaliar a capacidade preditiva do mapa produzido, foi efetuada uma distribuição dos pontos de ignição, do grupo de validação, pelas classes do mapa de probabilidade de ignição.

Tabela 5.7 - Distribuição dos pontos de ignição por classe de probabilidade de ignição, grupo de validação

Probabilidade	Área do território (%)	Ignições observadas	Ignições observadas (%)
Muito baixa	32,6	13	6,5
Baixa	24,1	28	14,0
Média	18,9	35	17,5
Alta	13,1	44	22,0
Muito alta	11,3	80	40,0

De acordo com os resultados podemos verificar que apesar de a classe de probabilidade muito alta apenas representar 11,3% do território ela concentra 40% dos pontos de ignição. As duas classes de probabilidade mais elevadas ocupam apenas 24,4% da área em estudo, mas conseguem prever 62% do total dos pontos de ignição do grupo de validação. Por outro lado apenas 20,5% das ignições encontram-se localizadas nas classes mais baixas, que representam mais de metade do território (56,7%). Estes resultados permitem concluir que o mapa de probabilidade de ignição possui uma boa capacidade preditiva.

5.4 Discussão dos resultados e aplicação do modelo preditivo

Este trabalho de investigação procurou demonstrar as vantagens da utilização de ferramentas de análise espacial, conjugadas com algumas técnicas estatísticas, como um importante instrumento de planeamento do território, contribuindo de igual modo para uma melhor compreensão da distribuição espacial da ocorrência de ignições de incêndio florestal.

Conhecidas as lacunas existentes na base de dados oficial, que não permitem efetuar uma leitura correta à escala local, o projeto desenvolvido pela DUDEF Norte e pelos Gabinetes Técnicos Florestais do Distrito do Porto vem demonstrar que com o recurso a uma plataforma colaborativa, assente em ferramentas de código aberto, é possível registar com uma precisão bastante aceitável a ocorrência de incêndios florestais. Se até aqui as ilações eram meramente intuitivas, com base no conhecimento dos técnicos e operacionais da área, o que não significa necessariamente um ponto fraco, este tipo de registo permite quantificar e caracterizar os padrões espaciais da ocorrência de incêndios florestais. Contudo tratando-se de um projeto experimental e à semelhança de todos os outros carece de consistência e aperfeiçoamento. Num futuro

próximo este projeto necessita de um maior comprometimento por parte das instituições públicas, com a delimitação de objetivos e metas a atingir, e de todos os intervenientes que participam nas ações de DFCI no sentido de contribuírem para o aperfeiçoamento da base de dados, permitindo um incremento e homogeneidade dos dados registados. Deste modo será possível efetuar análises espaciais não só ao local de início, mas também às causas, tipologia e dimensão dos incêndios.

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho foi possível demonstrar que é possível desenvolver mapas de probabilidade de ignição de incêndios florestais, com uma boa capacidade preditiva. Este estudo demonstrou existir uma forte correlação entre a presença e a atividade humana e a probabilidade de ignição de incêndios florestais de acordo com as variáveis selecionadas, nomeadamente a ocupação do solo, a distância às áreas urbanas e à rede viária e ao número de edifícios.

O modelo obtido revelou uma boa capacidade preditiva com uma classificação global de 77,7% no grupo de treino e 67,3% no grupo de validação. Estas diferenças dos resultados obtidos entre o grupo de treino e o grupo de validação também se verificaram em outros estudos semelhantes. Vasconcelos (2001) registou uma classificação global de 84,1% utilizando o grupo de treino e 73,9% no grupo de validação, o modelo desenvolvido por Chuvieco (2009) classificou corretamente 85,4% dos casos no grupo de treino e 76,2% no grupo de validação. Um dos aspetos que merece algum destaque é o facto de que 80% dos pontos de ignição foram corretamente classificados pelo modelo, verificando-se uma diminuição da percentagem de pontos de não ignição corretamente classificados quando comparado com o grupo de treino, descendo este valor para 54,5% dos casos. Estes dados permitem concluir que o modelo revelou uma boa capacidade preditiva nos pontos de ignição, baixando na capacidade de classificação dos pontos de não ignição, o que poderá significar um excesso de áreas preditas. Este aspeto poderá em análises futuras ser ultrapassado com o aumento ou diminuição dos pontos de não ignição. Outro dos aspetos a salientar é a fiabilidade do mapa produzido, uma vez que as duas classes de probabilidade mais elevadas ocupam apenas 24,4% da área em estudo, mas conseguem prever 62% do total dos pontos de ignição do grupo de validação.

O modelo produzido e o mapa gerado poderão constituir uma importante ferramenta de prevenção funcionando como um instrumento auxiliar nas ações de defesa da floresta contra incêndios. Apesar de a maior parte das ações centrarem os seus recursos na propagação dos incêndios florestais, atendendo ao facto da necessidade de

racionalização dos meios disponíveis, torna-se necessário a definição de prioridades de defesa, atribuindo uma maior atenção às áreas onde existe uma maior probabilidade de ignição e daí poder dar origem a grandes incêndios florestais. A aplicação prática deste modelo poderá passar pela realização de ações de sensibilização, incidindo nas áreas mais problemáticas, no planeamento das ações de silvicultura preventiva, nomeadamente das faixas de gestão de combustível em torno do edificado e ao longo da rede viária procedendo deste modo ao isolamento de potenciais focos de ignição, na definição de áreas prioritárias e percursos de vigilância, na localização das equipas de 1ª intervenção, assim como no reforço da fiscalização nas áreas mais críticas.

Este trabalho, o primeiro a ser realizado a este nível à escala local, demonstrou ser possível elaborar um mapa de probabilidade de ignição de incêndios florestais com uma boa capacidade preditiva.

Capítulo 6 Suscetibilidade de incêndios florestais

6.1 Metodologia

A análise da suscetibilidade de incêndio florestal no Concelho de Amarante foi efetuada com o recurso à metodologia proposta por João Verde (2008), que serviu de base para a construção da respetiva cartografia de suscetibilidade. Selecionada a metodologia que irá permitir efetuar a construção do modelo preditivo, o passo seguinte passa pela identificação de um conjunto de fatores associados à ocorrência de incêndios florestais. Deste modo para avaliar a suscetibilidade quantitativamente foram integradas no modelo um conjunto de variáveis explicativas, nomeadamente a altimetria, o declive, a ocupação do solo, a exposição solar das vertentes, o histórico, a visibilidade dos postos de vigia, a densidade de caminhos e a distância à rede viária.

O contributo que cada uma das variáveis possui na construção do modelo preditivo foi determinado através do cálculo da favorabilidade de cada uma das classes das variáveis (Chung e Fabbri, 2003). O resultado dos scores de favorabilidade foi calculado ponderando o número de unidades matriciais ardidas pelo número de unidades matriciais disponíveis para arder, o resultado foi posteriormente multiplicado por 100 e arredondado, evitando assim efetuar operações em SIG com números decimais.

A fórmula expressa-se da seguinte forma:

$$sfx = \frac{umAx}{\Omega x} \text{ x } 100$$

Em que o valor sfx representa o score de favorabilidade, e o valor de $umAx$ corresponde ao total de unidades matriciais ardidas da variável e Ωx o total de unidades matriciais da variável.

Efetuado o cálculo da favorabilidade, as variáveis foram selecionadas e integradas no modelo, através da multiplicação dos resultados da favorabilidade de cada uma das classes das variáveis.

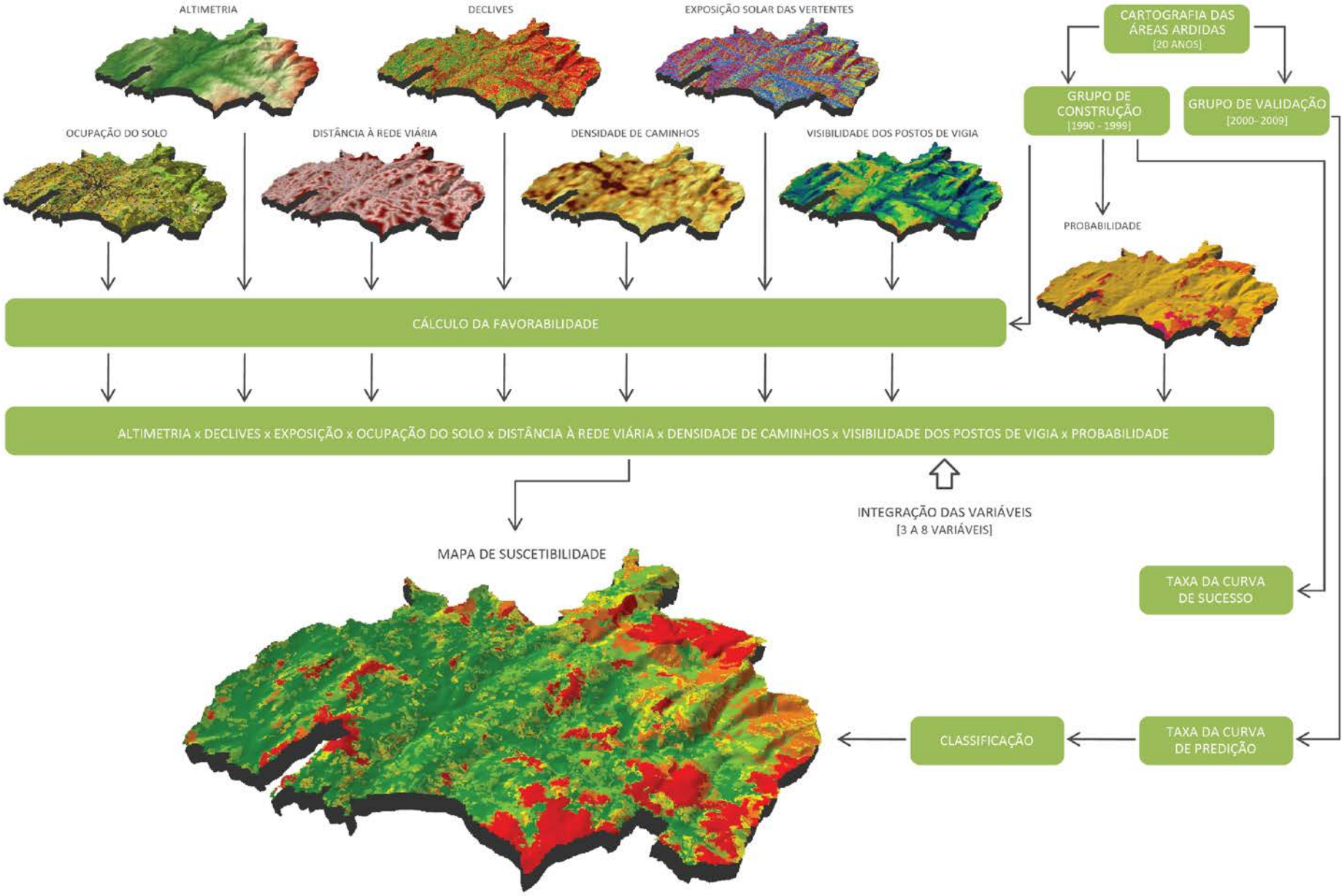
Com o recurso a uma série estatística de áreas ardidas de 20 anos (1990-2009, AFN), foram efetuados alguns ensaios com o objetivo de determinar qual a combinação mais sólida para a construção do modelo preditivo. Deste modo procedeu-se à divisão

da cartografia das áreas ardidas em duas séries temporais distintas, uma para a construção e outra para efetuar uma validação independente do modelo produzido. Como não dispomos de dados de futuras ocorrências, a opção passa por utilizar parte das ocorrências passadas como possíveis ocorrências no futuro. Neste contexto a partição temporal consiste na escolha mais lógica, uma vez que efetua a divisão das áreas ardidas em dois períodos: antes (áreas ardidas passadas) e depois (áreas ardidas futuras) de uma data específica. Esta técnica assume-se também como a mais isenta, uma vez que numa série de 10 anos existe uma grande possibilidade de serem selecionadas um conjunto de áreas ardidas que manifestem um padrão relativamente à sua distribuição e intensidade. Segundo Chung e Fabbri (2003) para efetuar a validação de uma imagem de predição, a partição temporal é a escolha mais natural e consistente, assim como a que permite de uma forma mais fácil criar vários períodos temporais.

Os modelos de suscetibilidade produzidos foram testados e validados através da construção das curvas de sucesso e de predição, assim como do cálculo da área abaixo da curva. A curva de sucesso é obtida através do cruzamento do mapa de suscetibilidade obtido, com a cartografia das áreas ardidas utilizadas para a construção do modelo. O cálculo da curva de predição é efetuado mesmo modo, contudo com o recurso à cartografia de áreas ardidas que não foram incluídas na construção, de modo a possibilitar efetuar uma validação independente. Após a construção das respetivas curvas de sucesso e predição, a qualidade global do modelo produzido é calculada através da área abaixo da curva (A.A.C.), que verifica qual a curva que possui um melhor comportamento.

A construção do modelo preditivo realizou-se num Sistema de Informação Geográfica com base matricial, após a preparação e transformação para este formato da informação vetorial disponível, em que foi adotado um tamanho de pixel de 10 metros. A elaboração dos mapas baseou-se em operações de análise e modelação espacial.

Figura 6.1 - Esquema da metodologia da cartografia de suscetibilidade de incêndio florestal



6.2 Variáveis

6.2.1 Altimetria

A altitude é uma das características topográficas que afetam o comportamento dos incêndios florestais. Esta condiciona a temperatura e a precipitação (Ventura e Vasconcelos, 2006; cit. in Verde 2008:38), pelo que exerce desta forma uma forte influência na distribuição e na quantidade da vegetação existente.

O concelho de Amarante apresenta uma orografia complexa caracterizada pelos seus vales encaixados e pelas vertentes abruptas para o Rio Tâmega e Olo. A sua altitude varia entre os 60 e os 1 346 metros, onde predominam as formações com altitudes inferiores aos 400 metros de formas arredondadas e de declives suaves.

Como podemos verificar na Figura 6.2 é nas classes de altitude mais elevadas que a favorabilidade de incêndio florestal mais se manifesta, principalmente a partir dos 600 metros de altitude. Outro dos aspetos que merece algum destaque é o facto de a favorabilidade começar a diminuir acima dos 900 metros de altitude. Este aspeto poderá ser justificado com a quantidade e a distribuição da vegetação, uma vez que com o aumento da altitude reduzem-se os combustíveis e aumenta a humidade, tendo o fogo menor facilidade em propagar (Verde, 2008).

Figura 6.2 - Favorabilidade e frequência das classes de altimetria

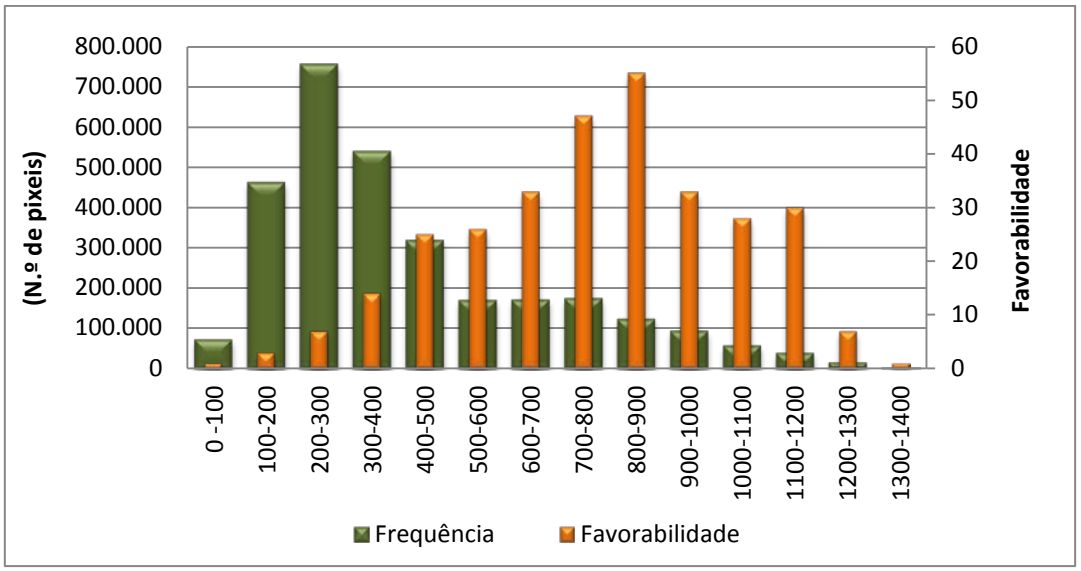
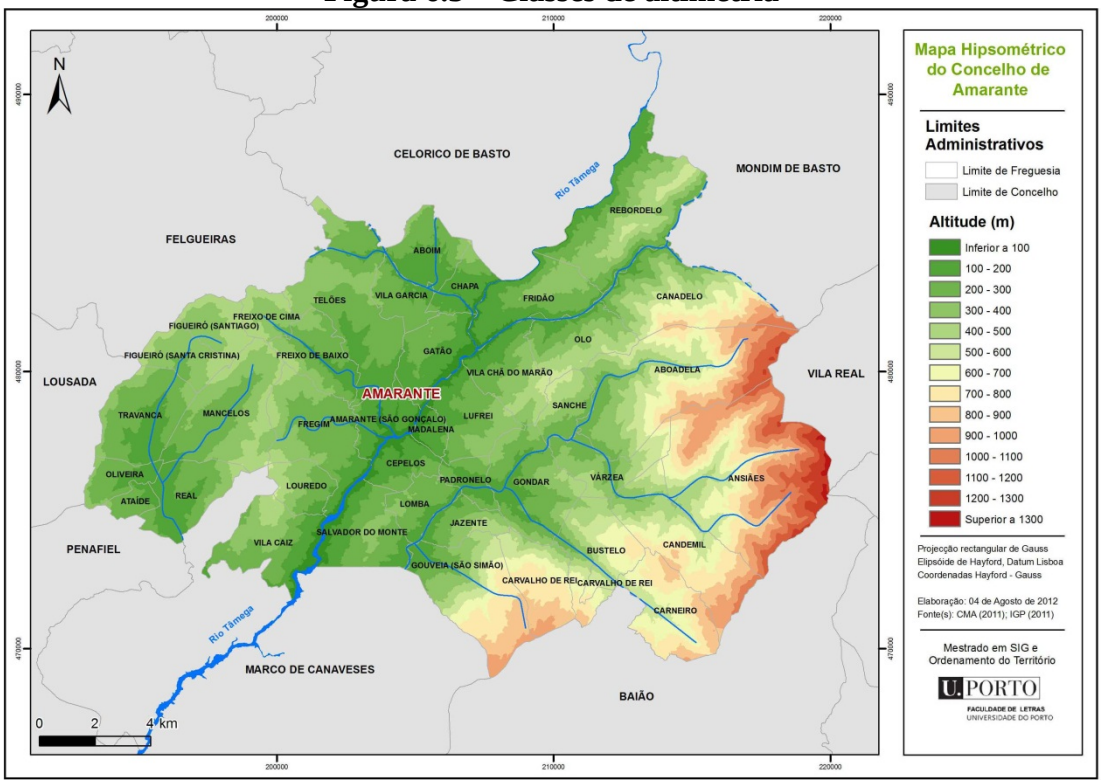


Figura 6.3 – Classes de altimetria



6.2.2 Declives

O declive é uma das características topográficas que mais condiciona o comportamento dos incêndios florestais, exercendo uma influência considerável sobre a velocidade de propagação. Deste modo, quanto mais inclinada for a vertente, maior será a velocidade de um fogo ascendente de encosta, assim como o comprimento da sua chama (Silva et al, 2002). As correntes de vento ascendentes e a inclinação natural das chamas sobre os combustíveis facilitam a transferência de energia por convecção na frente do fogo (Serra et al, 2006). No entanto a influência do declive no comportamento do fogo é variável consoante a carga de combustível. O incremento da velocidade de propagação do fogo com o declive deve-se ao facto de os combustíveis situados a montante da frente das chamas serem eficientemente secos e aquecidos até à temperatura de ignição.

Na Figura 6.4, podemos observar o resultado dos scores de favorabilidade calculados para as diferentes classes de declive. É nas classes que apresentam declives mais acentuados, que podemos encontrar a maior favorabilidade aos incêndios

florestais, pelo que é nestas classes que os incêndios encontram as melhores condições para propagar rapidamente.

Figura 6.4 – Favorabilidade e frequência das classes de declive (º)

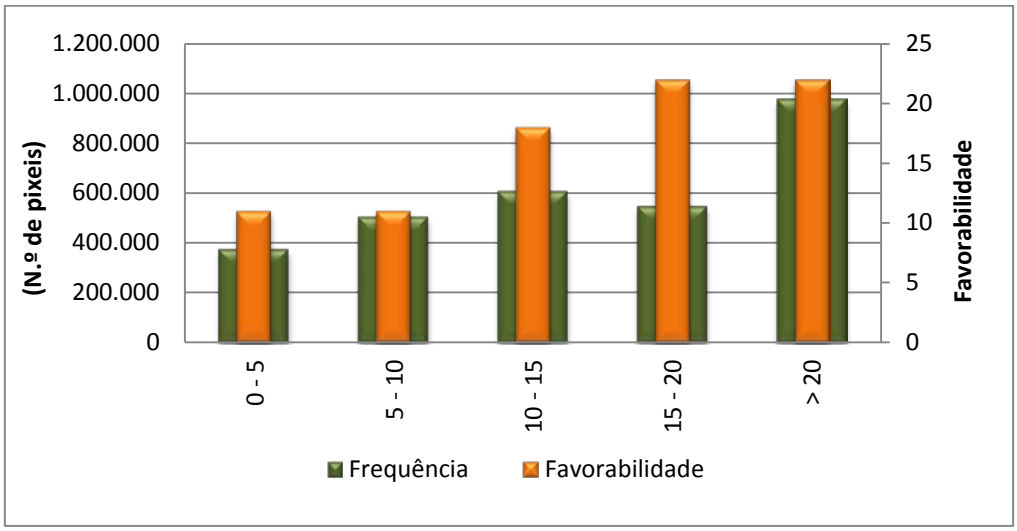
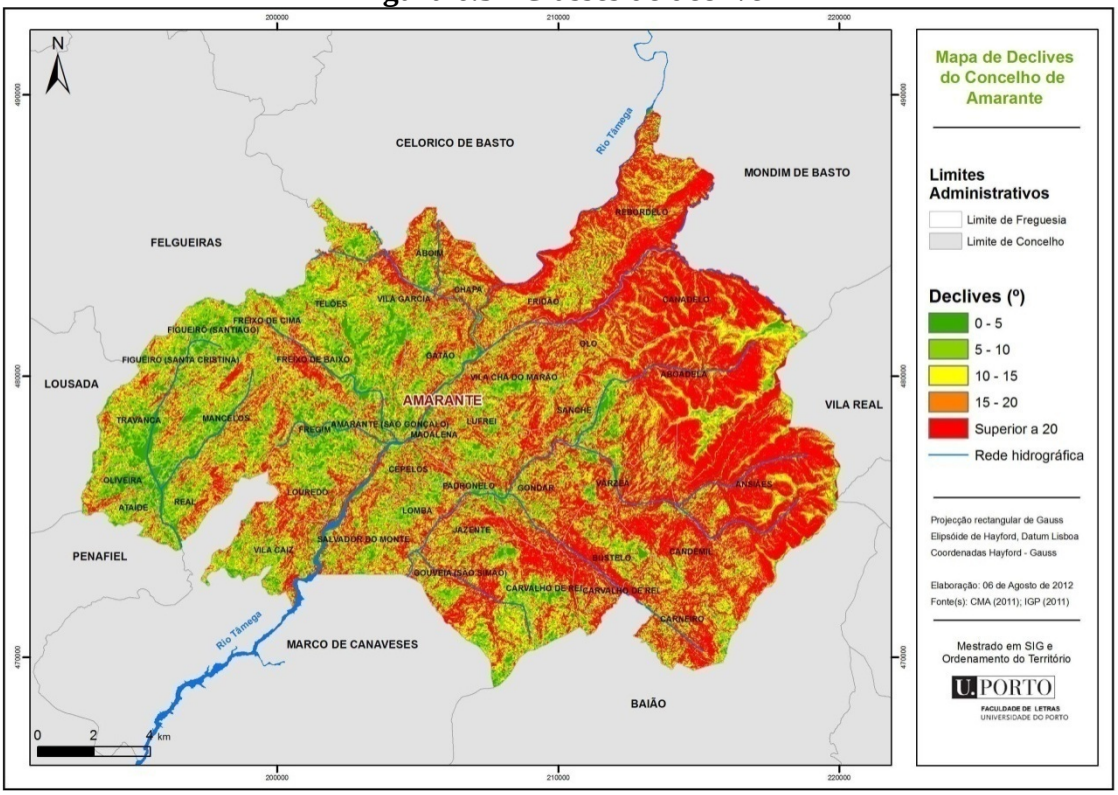


Figura 6.5 - Classes de declive



6.2.3 Exposição solar das vertentes

A exposição das vertentes é outro dos fatores considerados como relevantes para a propagação dos incêndios florestais, pois ela relaciona-se essencialmente com a quantidade de insolação, ou até mesmo com o vento e a humidade. A quantidade de radiação solar recebida varia consoante a exposição. Assim, o microclima, sobretudo humidade relativa, a temperatura e a direção dos ventos varia localmente, o que determina a existência ou predominância de algumas espécies florestais.

As vertentes voltadas a Sul e Sudoeste apresentam normalmente condições mais favoráveis à propagação dos incêndios florestais, uma vez que os combustíveis sofrem uma maior dissecação e o ar é também mais seco, devido à maior quantidade de radiação solar incidente (Silva et al, 2002).

Na Figura 6.6 podemos observar os resultados obtidos para as diferentes classes da exposição solar das vertentes. Através dos resultados obtidos, podemos constatar que as vertentes voltadas a Norte são aquelas que apresentam de uma maior favorabilidade. Esta aparente contradição com o que normalmente se verifica, poderá em parte ser justificada pela predominância destas vertentes nas grandes manchas florestais (Serra do Marão e Meia-Via, Aboboreira, Gondar e Marancinho), assim como a intervenção de outros fatores, como a dinâmica dos ventos, poderá exercer uma forte influência.

Figura 6.6 - Favorabilidade e frequência das classes de exposição

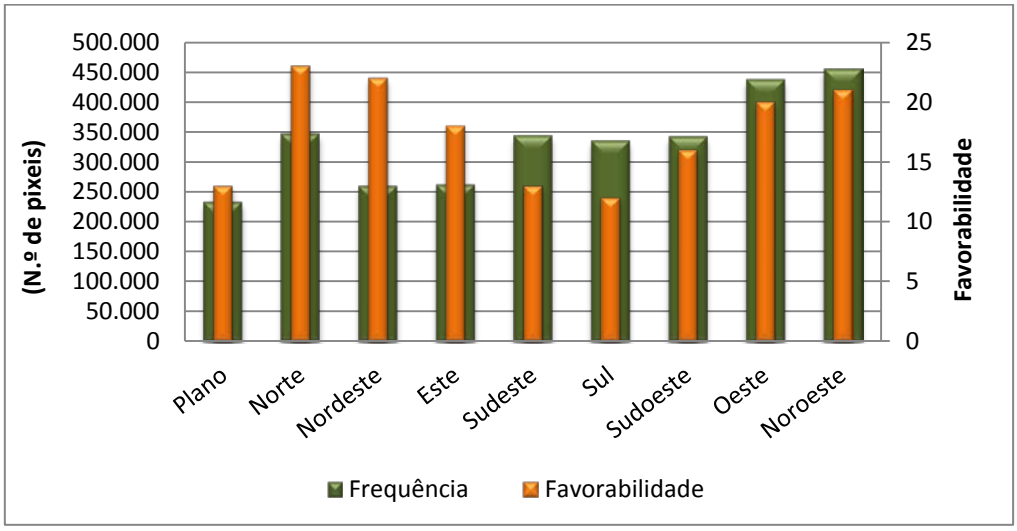
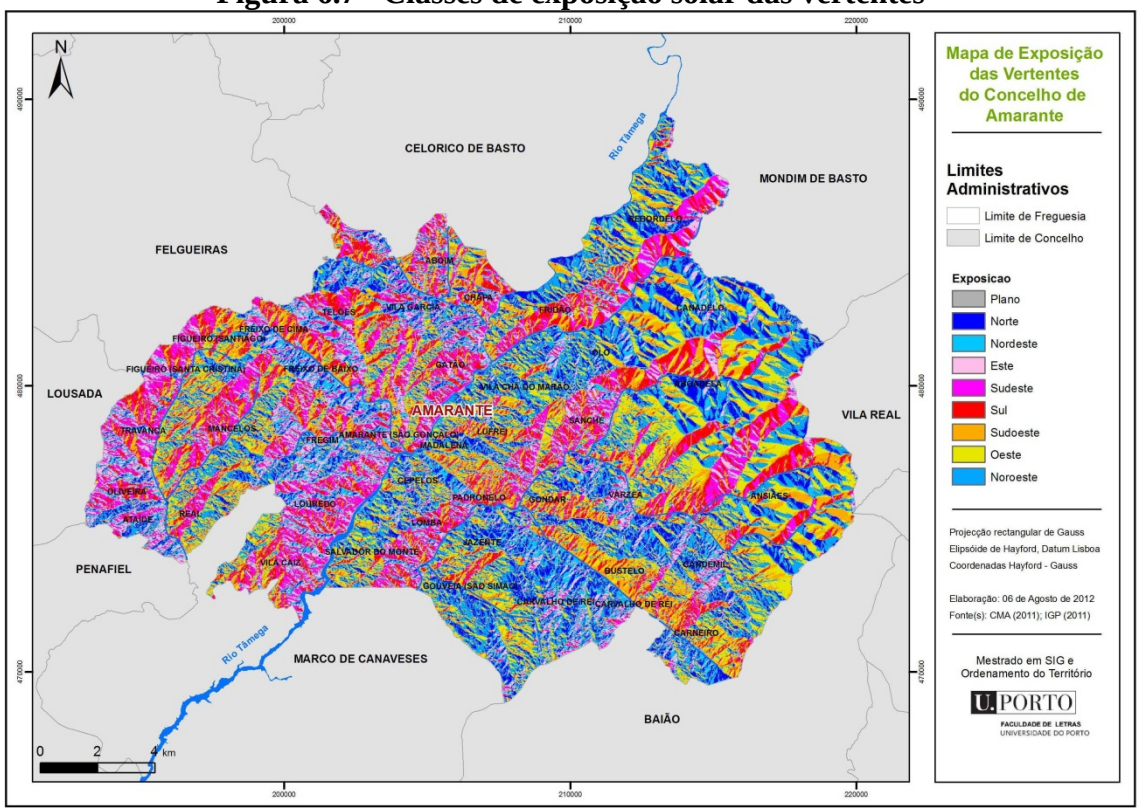


Figura 6.7 - Classes de exposição solar das vertentes



6.2.4 Ocupação do solo

Uma combustão necessita da presença de um combustível, de um comburente (oxigénio) e de uma energia de ativação, que neste caso poderá ter diversas origens. Estes três componentes constituem o chamado triângulo do fogo (Silva et al, 2002). Deste modo a ocorrência de incêndios florestais, porque ocorrem no espaço florestal, pressupõem a existência de combustíveis florestais. Contudo nem toda a vegetação possui a mesma suscetibilidade à ocorrência e propagação dos incêndios florestais, pelo que as suas características constituem um dos fatores principais a considerar.

Para a caracterização da ocupação do solo foi utilizado como base de trabalho, a carta de ocupação do solo elaborada pela Associação Florestal de Entre Douro e Tâmega, em 2005, com o recurso a técnicas de fotointerpretação e trabalho de campo. Na Figura 6.8 os diferentes tipos de ocupação foram classificados de acordo com a sua suscetibilidade através dos resultados dos scores de favorabilidade.

Tabela 6.1– Códigos das classes de ocupação do solo

Classe	Designação
211	Culturas anuais de sequeiro
212	Culturas anuais de regadio
221	Vinhas
222	Pomares
223	Olivais
241	Culturas anuais associadas a culturas permanentes
244	Sistemas agroflorestais
311.1	Eucalipto
311.2	Floresta de folhosas
312	Pinheiro bravo
313	Florestas mistas
322	Matos
324	Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações
333	Vegetação esparsa

As áreas ocupadas com vegetação esparsa são, de acordo com os resultados obtidos, a classe de ocupação que apresenta uma maior favorabilidade, apesar da pouca expressão territorial que possui. Também as áreas ocupadas com matos revelam-se como bastante favoráveis aos incêndios florestais. No sentido inverso podemos apontar as áreas ocupadas com florestas de folhosas, as que possuem uma maior resistência ao fogo.

Figura 6.8 - Favorabilidade e frequência das classes de ocupação do solo

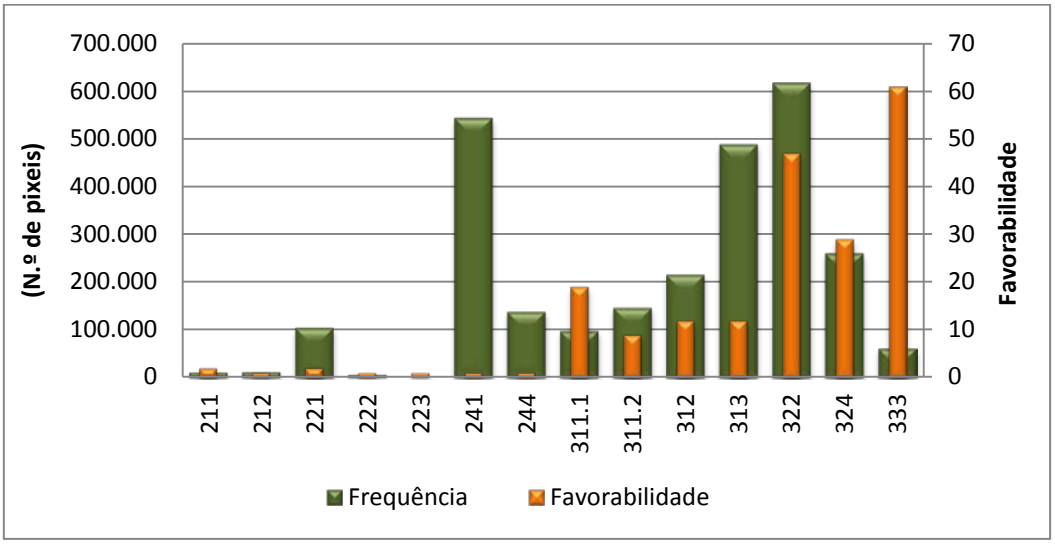
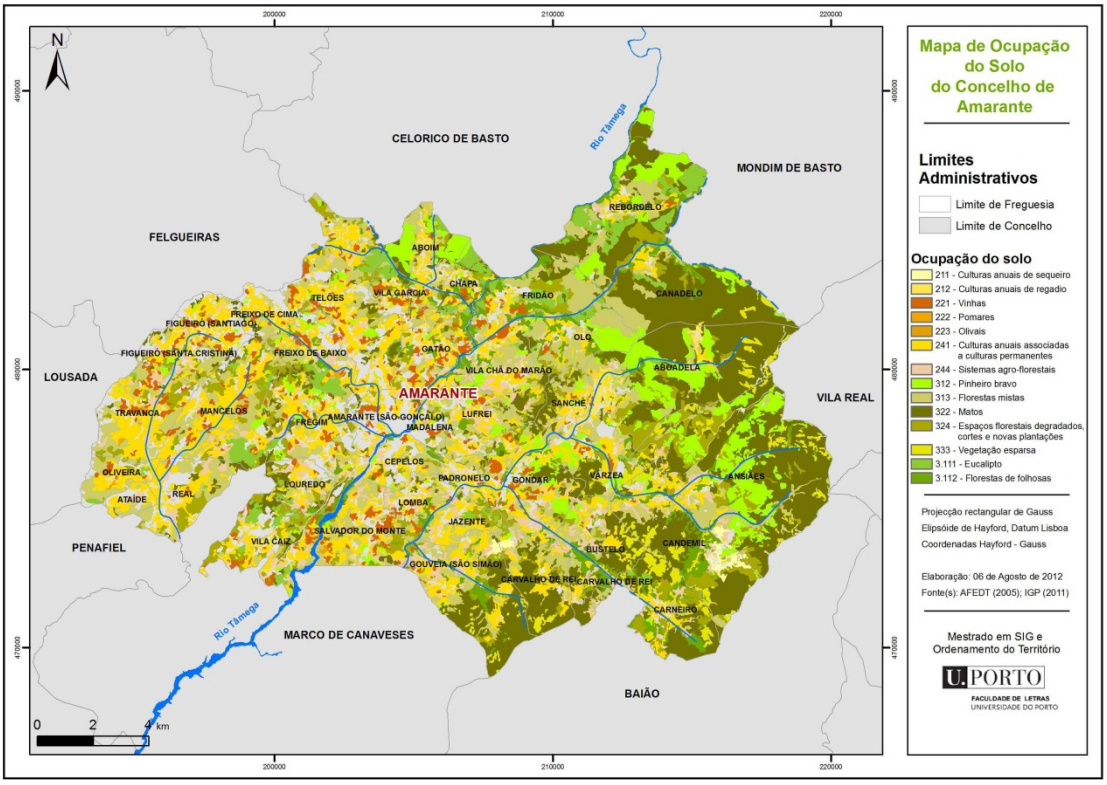


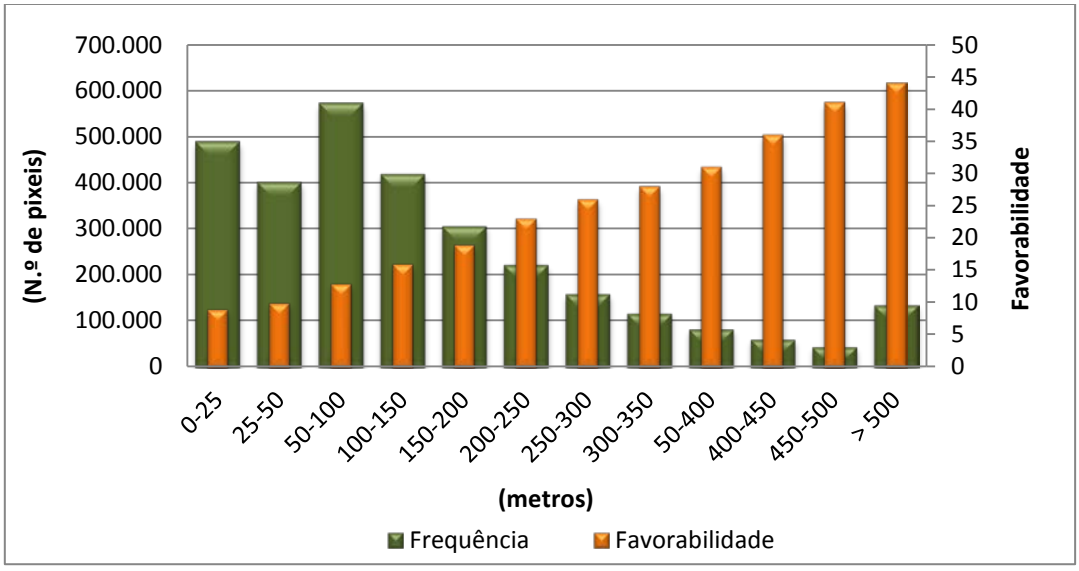
Figura 6.9 - Classes de ocupação do solo



6.2.5 Distância à rede viária

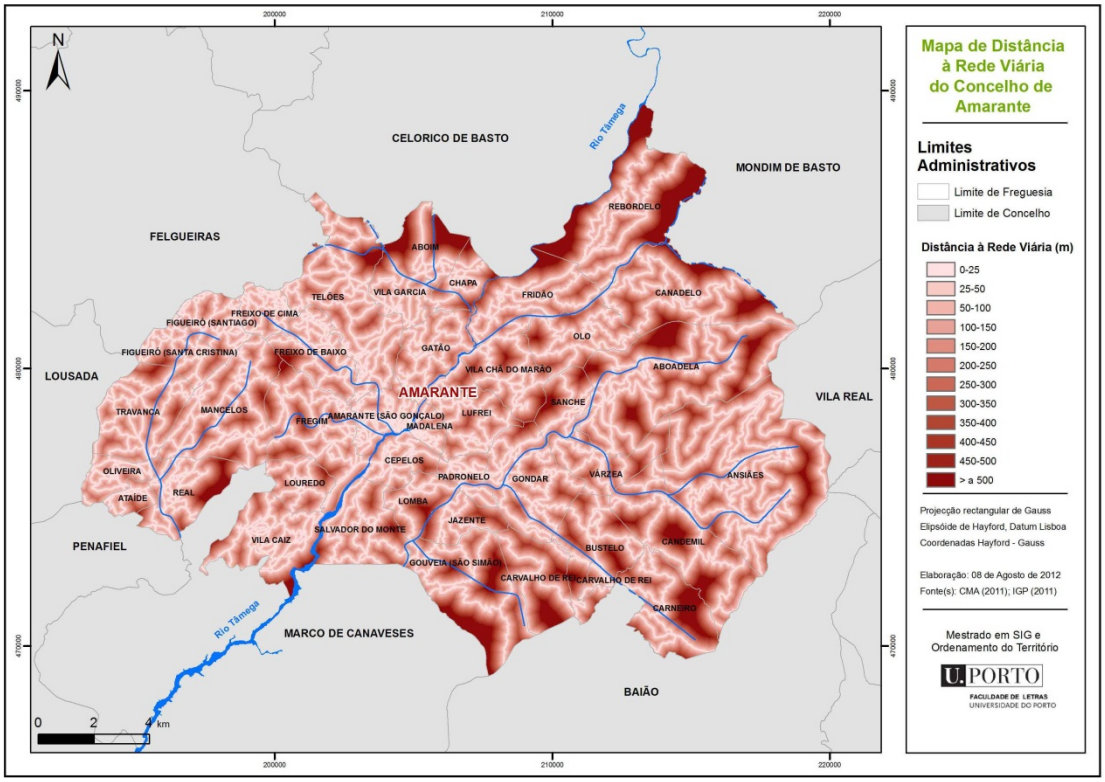
O critério da proximidade à rede viária é um dos elementos a considerar na análise da suscetibilidade. Este aspeto desempenha um importante papel nas manobras de combate dos incêndios florestais, permitindo o acesso das viaturas ao perímetro do fogo.

Figura 6.10 - Favorabilidade e frequência das classes da proximidade à rede viária



Através da análise da Figura 6.10, podemos constatar que é nas classes que apresentam uma maior distância à rede viária que podemos encontrar os valores mais elevados de favorabilidade, principalmente a partir dos 200 metros de distância. De facto à medida que aumenta a distância à rede viária, verifica-se um aumento da suscetibilidade aos incêndios florestais, pelo que podemos considerar que é nestas classes que o fogo encontra as melhores condições para propagar rapidamente.

Figura 6.11 - Classes de distância à rede viária (m)



6.2.6 Densidade de caminhos

A existência de uma rede viária suficientemente densa e com boas condições de acessibilidade é um elemento fundamental para a redução da suscetibilidade aos incêndios florestais (DGRF, 2006). Por um lado constitui uma infraestrutura indispensável a uma correta gestão florestal, funcionando como auxílio às diversas operações silvícolas, por outro desempenha um importante papel na compartimentação do espaço florestal, quebrando a continuidade horizontal dos combustíveis florestais. Este aspeto poderá desempenhar um importante papel nas ações de DFCI, através da implementação de faixas de gestão de combustível ao longo dos caminhos florestais. Trata-se assim de aproveitar a descontinuidade existente para aumentar a sua largura e deste modo a sua eficácia (Silva, 2002).

A rede viária pode ser avaliada através da sua densidade, sendo esta determinada pelo comprimento da rede viária por unidade de área. A unidade aqui utilizada é m/ha e o valor de referência, segundo a DGRF é de 25 m/ha para áreas planas e de 40 m/ha para áreas mais declivosas.

Figura 6.12 - Favorabilidade e frequência das classes da densidade de caminhos

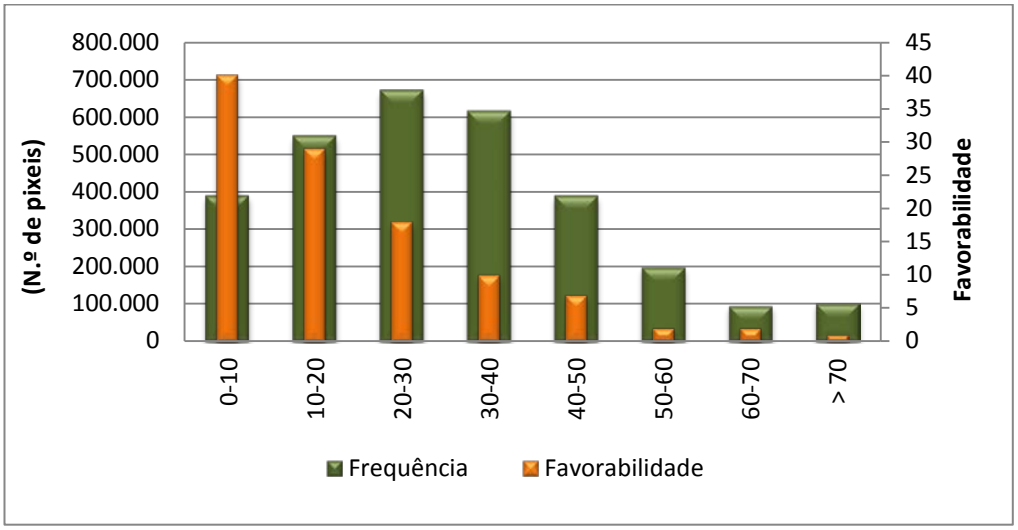
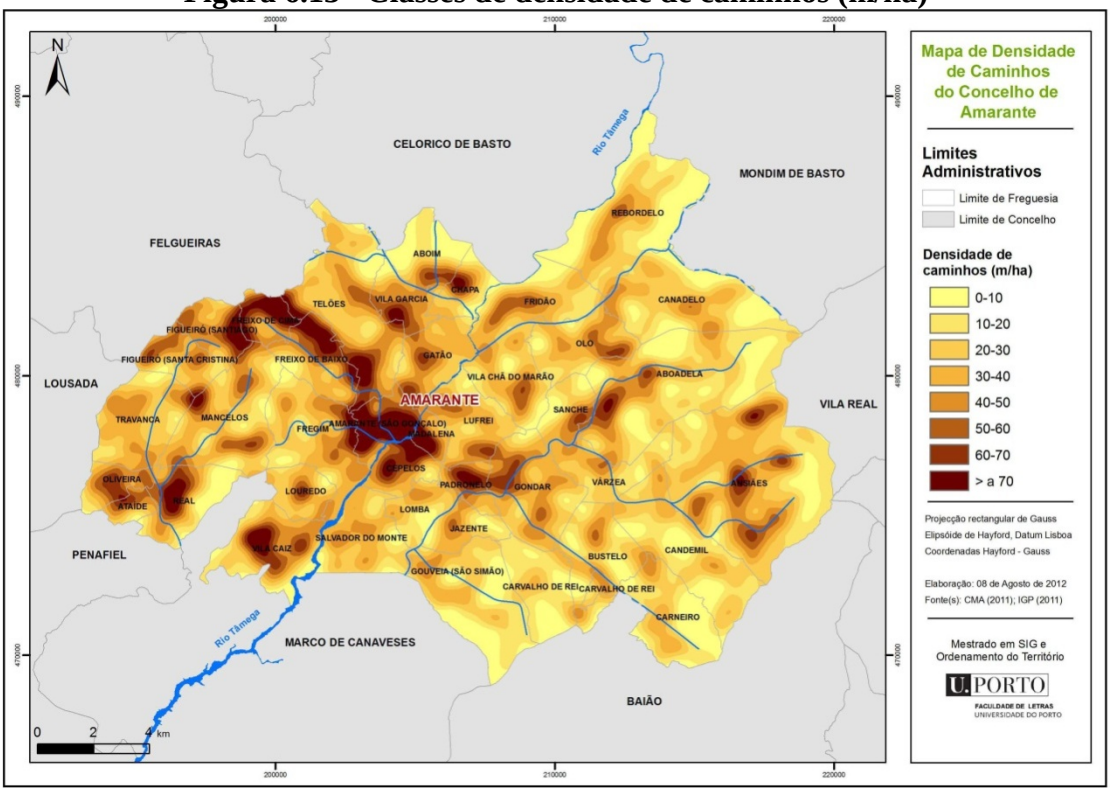


Figura 6.13 - Classes de densidade de caminhos (m/ha)



Como podemos verificar na Figura 6.12 é nas áreas que possuem uma densidade de caminhos menor que se verifica uma maior favorabilidade aos incêndios florestais. Uma baixa densidade de caminhos poderá significar um certo abandono da propriedade ou ausência de gestão, reunindo as condições ideais para uma rápida propagação do

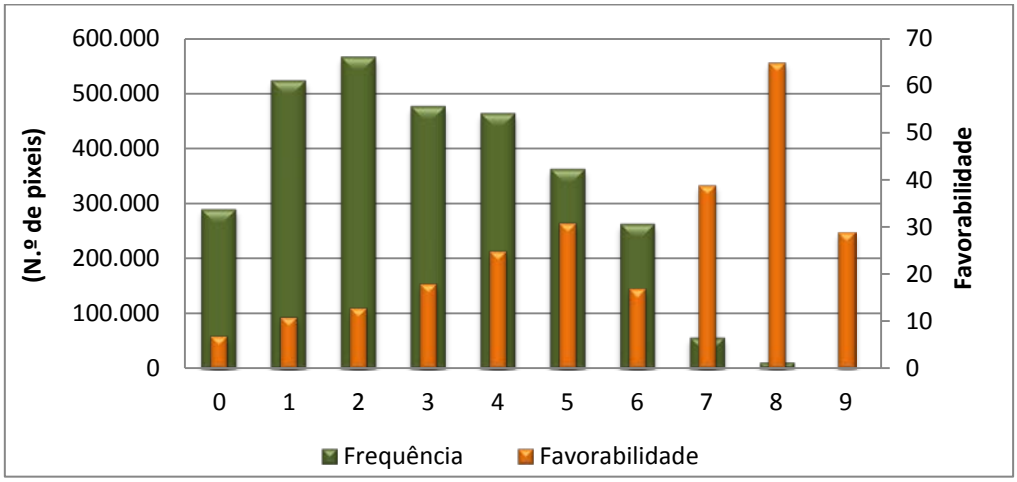
fogo. De facto à medida que se verifica um aumento da densidade de caminhos, assistimos a uma diminuição da favorabilidade.

6.2.7 Visibilidade dos postos de vigia

Uma deteção eficaz de um foco de incêndio na sua fase inicial constitui um fator de extrema importância para o sucesso do combate e controlo do mesmo (Catryet al, 2004). Deste modo a avaliação das áreas que são visíveis pelos postos de vigia, assim como aquelas que se encontram ocultas, poderá contribuir para a determinação da suscetibilidade dos incêndios florestais.

Uma determinada área só está eficazmente coberta quando esta é visível, pelo menos, por dois postos de vigia, uma vez que só deste modo é possível determinar a precisa localização de um incêndio através do cruzamento das visadas. No que se refere à vigilância fixa, o Concelho de Amarante encontra-se bem coberto pelos postos de vigilância da Rede Nacional de Postos de Vigia, pelo que a sua área é visível, de acordo com o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, por um total de 9 postos de vigia.

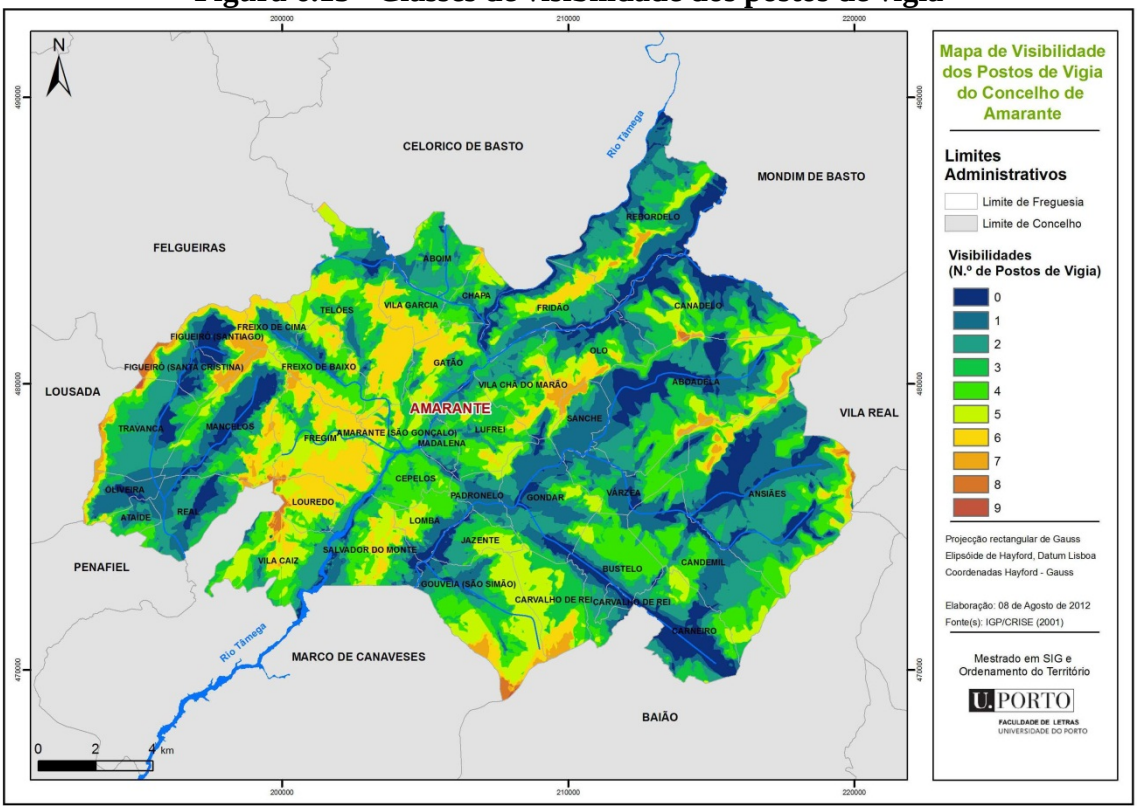
Figura 6.14 - Favorabilidade e frequência das classes de visibilidade dos postos de vigia



O mapa de visibilidades foi obtido através da sobreposição das bacias de visão dos respetivos postos de vigia. Posteriormente foi efetuado o cruzamento deste mapa com a cartografia das áreas ardidas, com o intuito de calcular a favorabilidade aos

incêndios florestais desta variável. Seria espectável que fossem as áreas ocultas ou aquelas que possuem uma menor cobertura, que apresentassem uma maior favorabilidade à rápida propagação dos incêndios florestais. Contudo e de acordo com os resultados obtidos este cenário não se verifica, pelo que são as áreas que são visíveis por um maior número de postos de vigia, aquelas que apresentam os valores de favorabilidade mais elevados.

Figura 6.15 - Classes de visibilidade dos postos de vigia



6.2.8 Histórico

A variável histórico é integrada neste modelo sob a forma de probabilidade anual, constituindo a única variável do modelo preditivo em que não foram calculados os scores de favorabilidade.

"*A probabilidade traduz a verosimilhança de ocorrência de um fenómeno num determinado local em determinadas condições. A probabilidade far-se-á traduzir pela verosimilhança de ocorrência anual de um incêndio em determinado local*" (DGRF, 2007).

Para o cálculo da probabilidade teve-se em conta o histórico da área ardida do território, utilizada na construção do modelo, calculando-se para o efeito a percentagem média anual para a série de observações, o que irá permitir avaliar a suscetibilidade no tempo.

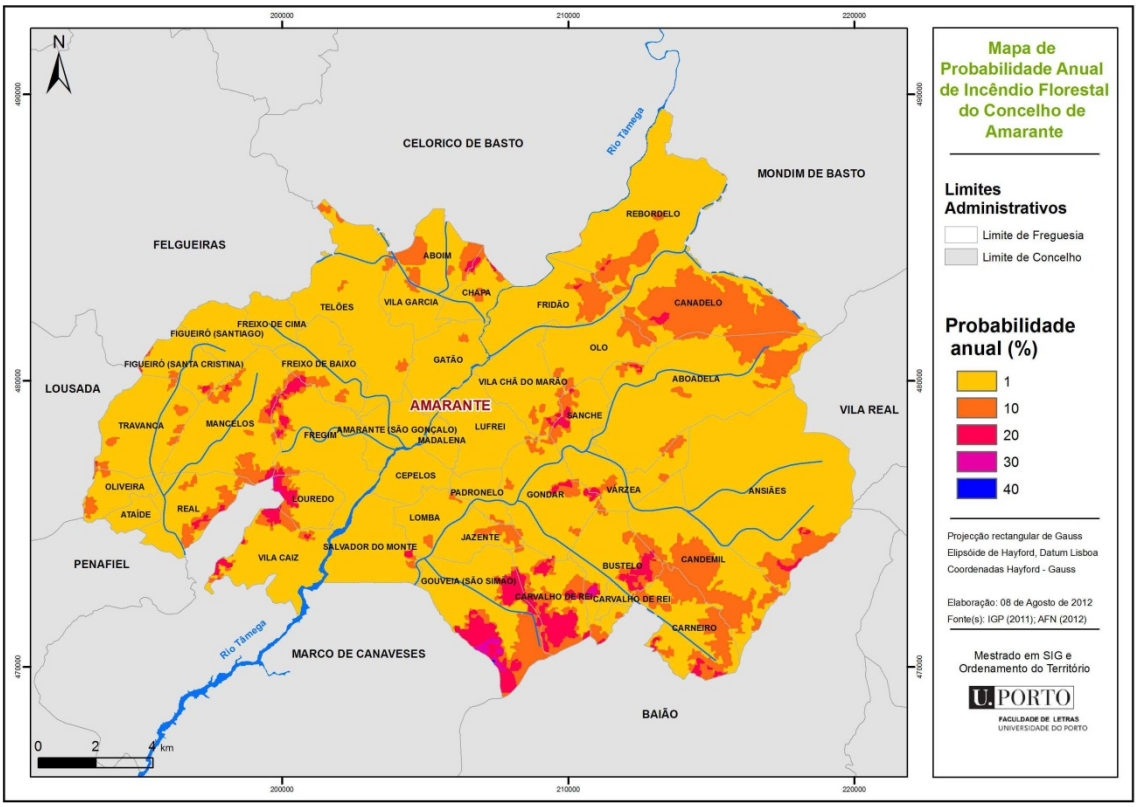
Esta probabilidade anual determina-se, para cada pixel, da seguinte forma:

$$P = \frac{f}{N} x\ 100$$

Em que P é a probabilidade anual, f o número de vezes que cada pixel ardeu, e N o número de anos da série.

Um pixel que ardeu todos os anos terá uma probabilidade de 100%, enquanto um pixel que nunca ardeu terá a probabilidade de zero. A probabilidade de zero não quer dizer que essa unidade matricial nunca irá arder, uma vez que perante a existência de combustível significa apenas que a sua probabilidade é reduzida. Atendendo ao facto que estamos a utilizar um modelo multiplicativo, o valor de zero funciona como um elemento absorvente, pelo que todos os pixéis com este valor foram reclassificados com um de forma a serem considerados neutros no resultado final.

Figura 6.16 - Probabilidade anual (%) de incêndio florestal



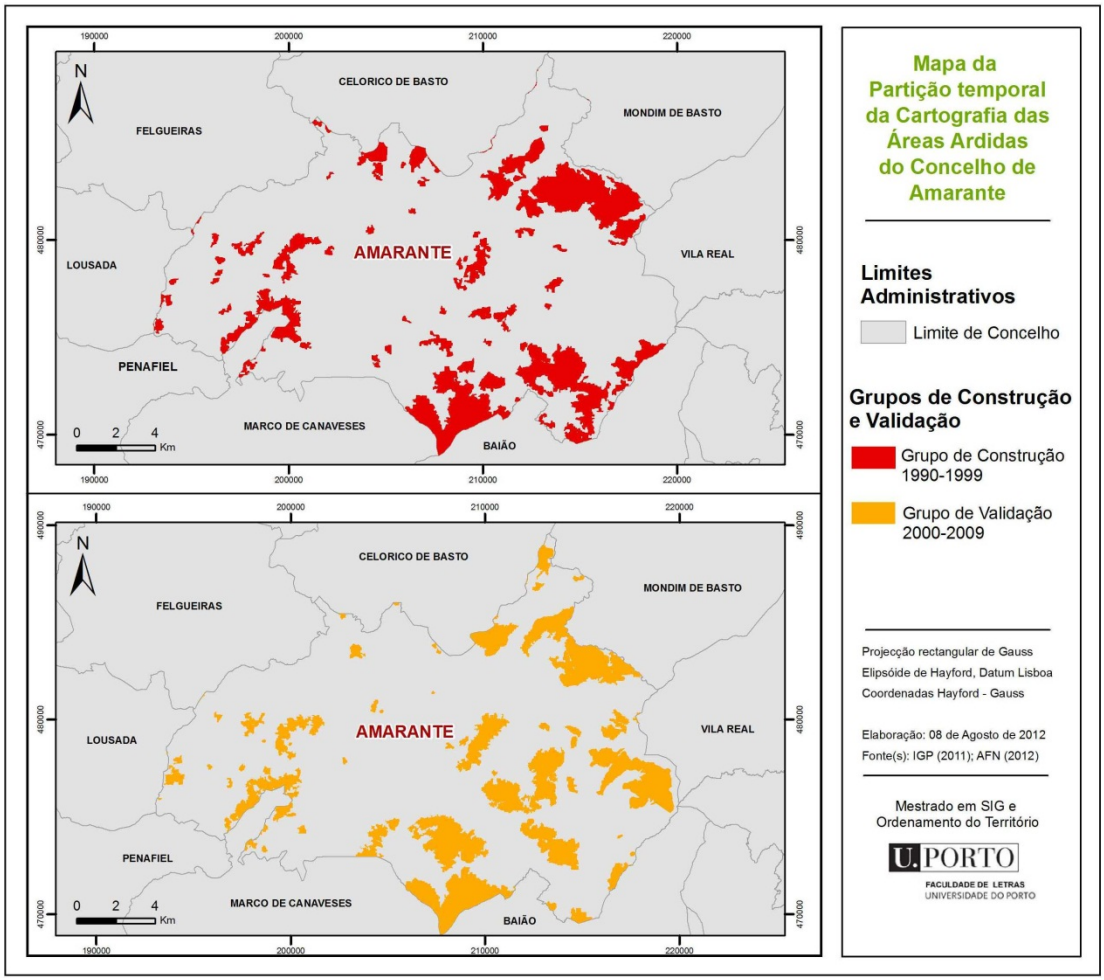
6.3 Resultados

6.3.1 Modelação e validação da suscetibilidade

Na análise da suscetibilidade de incêndio florestal no Concelho de Amarante foram utilizadas um conjunto de 8 variáveis. Contudo nem todas as variáveis possuem a mesma importância na explicação da suscetibilidade de incêndio florestal. Neste sentido, foi efetuada uma análise sensitiva, com o objetivo de determinar qual a combinação mais sólida na construção do modelo preditivo de suscetibilidade.

Deste modo procedeu-se à divisão da cartografia das áreas ardidas em duas séries temporais distintas, uma para a construção e outra para efetuar uma validação independente do modelo produzido. A escolha pela partição temporal implica a divisão das áreas ardidas em dois períodos: antes (áreas ardidas passadas) e depois (áreas ardidas futuras) de uma data específica.

Figura 6.17 -Grupos de construção e validação do modelo preditivo



Efetuado o cálculo da favorabilidade, as variáveis foram reclassificadas e integradas no modelo, através da multiplicação dos resultados da favorabilidade de cada uma das classes das variáveis. Após a construção dos modelos de suscetibilidade, estes foram validados com o recurso às áreas ardidas não incluídas na construção, com o objetivo de determinar qual a combinação que apresenta melhores resultados.

Com o objetivo de identificar os modelos produzidos, foi atribuído um código a cada uma das variáveis. Assim sendo, a letra "A" refere-se à altimetria, a "C" à ocupação do solo, a "D" aos declives, a "E" à exposição solar das vertentes, a "P" à probabilidade anual, a "R" à distância à rede viária, a "S" à densidade dos caminhos florestais e a "V" à visibilidade dos postos de vigia.

Tabela 6.2 - Scores de favorabilidade das variáveis (os valores mais significantes estão a negrito)

Variável	Classe	Nº de pixéis		Proporção	Favorabilidade
		Disponíveis	Ardidos		
Altimetria (metros)	Inferior a 100	73796	396	0,0054	1
	100-200	463520	14590	0,0315	3
	200-300	755814	49571	0,0656	7
	300-400	541102	77380	0,1430	14
	400-500	319557	80232	0,2511	25
	500-600	171451	44217	0,2579	26
	600-700	172908	57178	0,3307	33
	700-800	176362	83163	0,4715	47
	800-900	124592	68465	0,5495	**55**
	900-1000	95690	31225	0,3263	33
	1000-1100	58296	16122	0,2766	28
	1100-1200	40584	12042	0,2967	30
	1200-1300	16659	1127	0,0677	7
	Inferior a 1300	3076	0	0	1
Declives (º)	0-5	376977	39863	0,1057	11
	5-10	504671	57106	0,1132	11
	10-15	606875	110265	0,1817	18
	15-20	547016	118167	0,2160	**22**
	Superior a 20	977868	210307	0,2151	**22**
Exposição	Plano	232720	30222	0,1299	13
	Norte	346686	79568	0,2295	**23**
	Nordeste	259352	57181	0,2205	22
	Este	261727	47106	0,1800	18
	Sudeste	343962	44835	0,1303	13
	Sul	335056	39975	0,1193	12
	Sudoeste	342129	55933	0,1635	16
	Oeste	437148	86885	0,1988	20
	Noroeste	454627	94003	0,2068	21

Ocupação do solo	211	10740	197	0,0183	2
	212	11618	0	0	1
	221	105157	2210	0,0210	2
	222	6158	0	0	1
	223	195	0	0	1
	241	543623	6868	0,0126	1
	244	138891	1422	0,0102	1
	311.1	98539	18918	0,1920	19
	311.2	147046	13314	0,0905	9
	312	215794	25355	0,1175	12
	313	488162	59433	0,1217	12
	322	618086	290670	0,4703	47
	324	260868	74503	0,2856	29
	333	61384	37506	0,6110	**61**
Distância à rede viária (metros)	0-25	488970	44023	0,0900	9
	25-50	401783	41548	0,1034	10
	50-100	572593	72225	0,1261	13
	100-150	419763	66530	0,1585	16
	150-200	306048	59624	0,1948	19
	200-250	221830	50480	0,2276	23
	250-300	158674	41095	0,2590	26
	300-350	117513	33483	0,2849	28
	50-400	83747	26155	0,3123	31
	400-450	61154	22018	0,3600	36
	450-500	45338	18782	0,4143	41
	> 500	135980	60376	0,4440	**44**
Densidade de caminhos (m/ha)	0-10	389786	155599	0,3992	**40**
	10-20	549547	161871	0,2946	29
	20-30	672099	123351	0,1835	18
	30-40	616201	62467	0,1014	10
	40-50	389459	26426	0,0679	7
	50-60	198688	4494	0,0226	2
	60-70	95482	1800	0,0189	2
	> 70	102131	331	0,0032	1
Visibilidade dos postos de vigia	0	289557	19095	0,0659	7
	1	522931	55404	0,1059	11
	2	566151	74740	0,1320	13
	3	476073	85700	0,1800	18
	4	463191	113802	0,2457	25
	5	363076	111899	0,3082	31
	6	263315	45737	0,1737	17
	7	56932	22311	0,3919	39
	8	11553	7472	0,6468	**65**
	9	614	179	0,2915	29

A primeira combinação de variáveis foi efetuada com a combinação da ocupação do solo, declives e probabilidade (CPD).

Figura 6.18 – Curvas de sucesso e predição param a combinação "CDP"

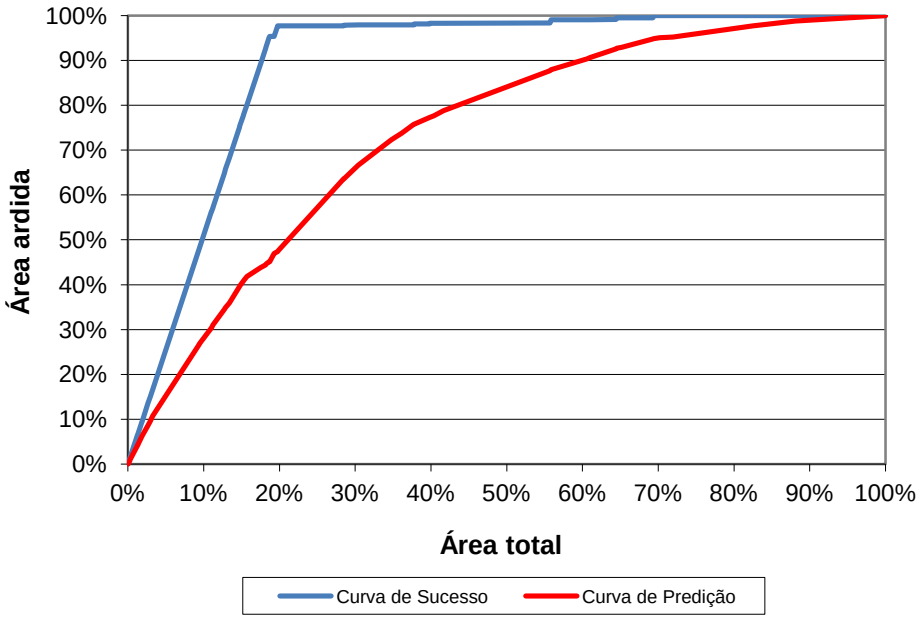


Tabela 6.3 – Taxas sucesso e predição para a combinação "CDP"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	56,10	97,68	97,89	98,29	98,32	99,10	99,99	99,99	100,00
Predição	30,27	47,68	66,65	77,64	87,75	90,36	95,10	97,73	98,80

Como podemos verificar nos valores acima apresentados (Figura 6.18, Tabela 6.3) este modelo apresenta taxas de sucesso e predição elevadas. Isolando 30% do território, classificado pelo modelo como mais suscetível, verifica-se que a taxa de sucesso engloba 97,89% da área ardida, pelo que se pode afirmar que existe um bom ajuste dos dados ao modelo. A predição apesar de registar valores mais baixos, o resultado continua a ser bastante satisfatório. Para os mesmos 30% do território engloba 66,65% da área ardida, pelo que apenas 33,35% da nova área ardida não foram enquadradas no modelo.

O passo seguinte consistiu em adicionar novas variáveis, procurando deste modo melhorar a capacidade preditiva do modelo. A primeira variável a ser acrescentada foi a altimetria (ACDP).

Figura 6.19 - Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDP"

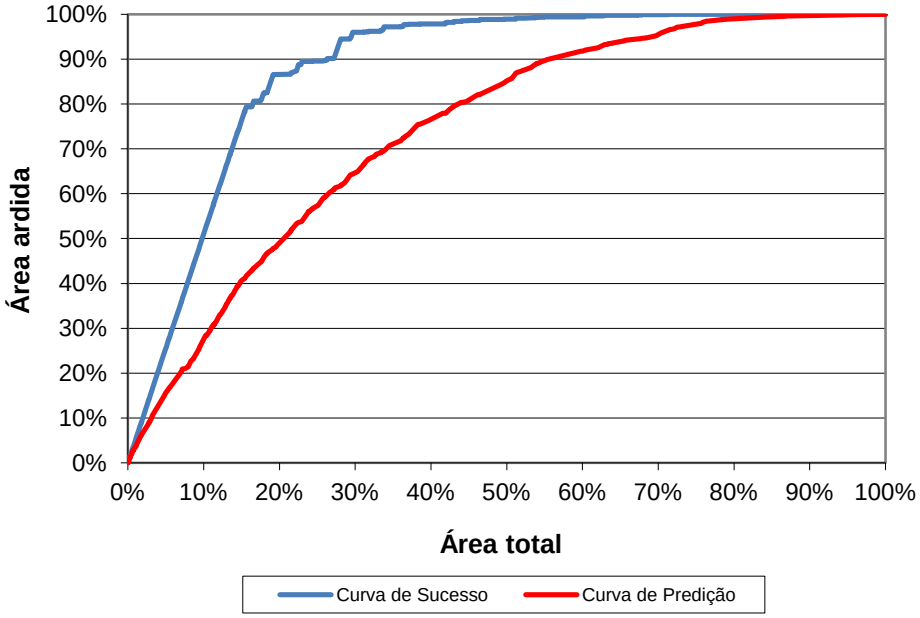


Tabela 6.4 - Taxas sucesso e predição para a combinação "ACDP"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	52,39	86,61	95,99	97,84	98,93	99,41	99,92	100	100
Predição	28,41	48,32	64,96	76,32	85,23	91,82	95,84	98,82	99,76

A integração da variável altimetria não significou uma melhoria do modelo, contudo os valores continuam elevados. Com efeito, verifica-se que aos 30% do território, tanto a taxa de sucesso como a de predição são inferiores às obtidas na combinação anterior.

A exposição solar das vertentes foi a variável que a seguir se inclui no modelo. Com a inclusão de cinco variáveis as taxas de sucesso pioram em relação aos modelos anteriores, pelo que parece indicar que a adição de novas variáveis não introduz melhorias ao modelo preditivo.

Figura 6.20 - Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDEP"

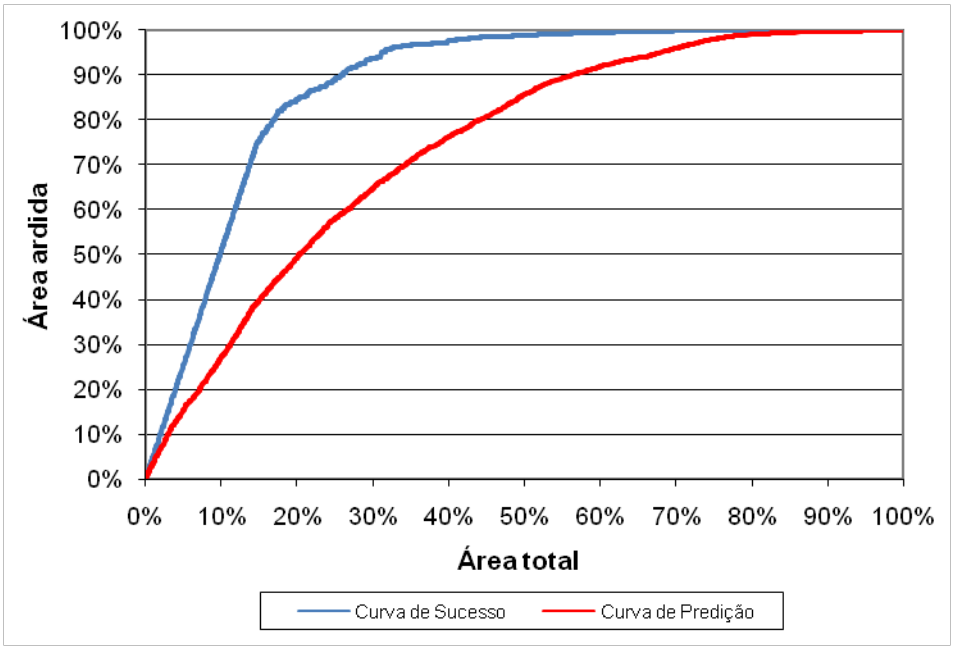


Tabela 6.5 - Taxas sucesso e predição para a combinação "ACDEP"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	51,06	84,70	93,79	97,74	98,80	99,51	99,87	100	100
Predição	27,23	49,66	64,91	76,38	85,70	91,93	96,05	99,12	99,71

A inclusão da proximidade à rede viária apresenta taxas similares às anteriores. Analisando os 30% do território, classificado como mais suscetível, verifica-se uma ligeira descida de 0,1% da taxa de sucesso. Em relação à taxa de predição verifica-se o inverso, a adição desta variável proporcionou uma melhoria dos resultados obtidos, com ganhos de cerca de 1% relativamente aos modelos "ACDP" e "ACDEP". Comparativamente com o modelo "CDP" o aumento é muito discreto, verificando-se um ganho de apenas 0,26%.

Figura 6.21 - Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDEPR"

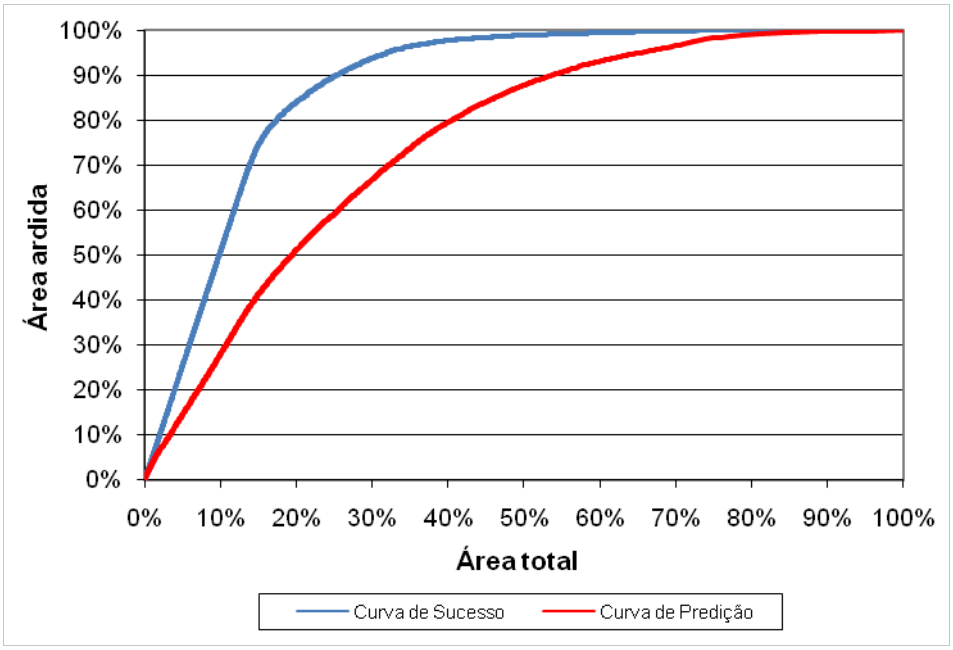


Tabela 6.6 - Taxas sucesso e predição para a combinação "ACDEPR"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	51,07	84,09	93,89	97,79	98,91	99,46	99,87	100	100
Predição	28,15	51,16	66,91	79,66	87,89	93,14	96,79	99,25	99,72

No modelo seguinte (ACDEPRS), procurou-se avaliar o efeito da densidade de caminhos florestais.

Figura 6.22 - Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDEPRS"

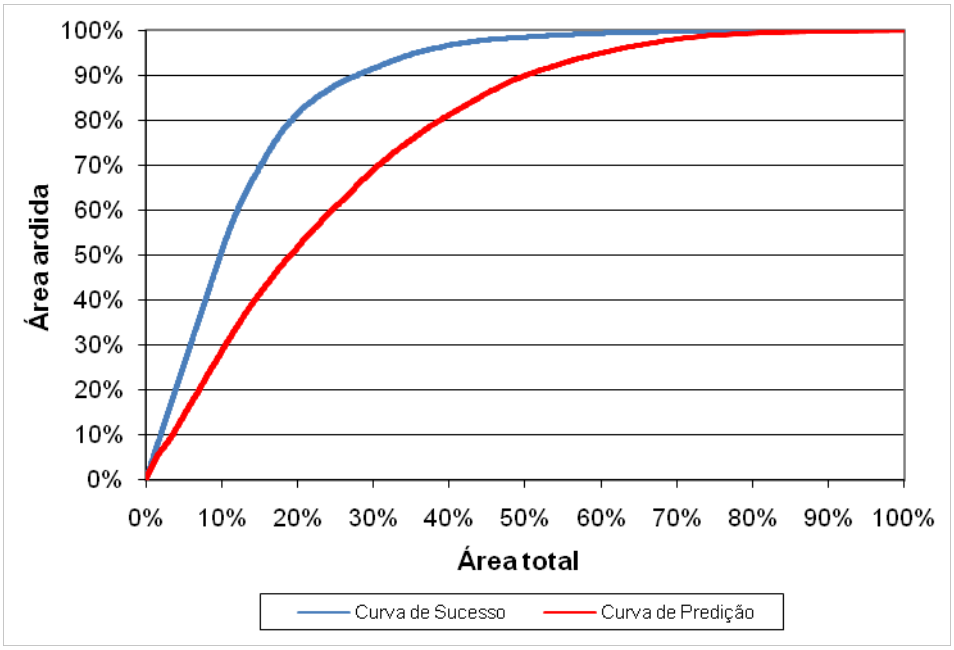


Tabela 6.7 - Taxas sucesso e predição para a combinação "ACDEPRS"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	50,93	81,53	91,52	96,76	98,54	99,38	99,76	99,96	100
Predição	28,58	51,78	69,00	81,26	89,98	94,98	98,20	99,53	99,96

Isolando os 30% do território verifica-se a tendência de diminuição da taxa de sucesso à medida que vamos adicionando novas variáveis ao modelo inicial (CDP). A taxa de predição deste modelo regista melhorias face aos modelos anteriores.

A última variável a ser introduzida no modelo é a visibilidade dos postos de vigia. A curva de sucesso para a combinação de todas as variáveis é claramente a pior, revelando um menor ajuste dos dados ao modelo. Analisando os 30% do território, classificado como mais suscetível, verifica-se uma descida de 6% quando comparado com o modelo inicial (CDP). Relativamente aos valores da taxa de predição, estes registam um ligeiro decréscimo face ao modelo anterior, cerca de 0,5%, contudo constitui o segundo valor mais elevado.

Figura 6.23 - Curvas de sucesso e predição para a combinação "ACDEPRSV"

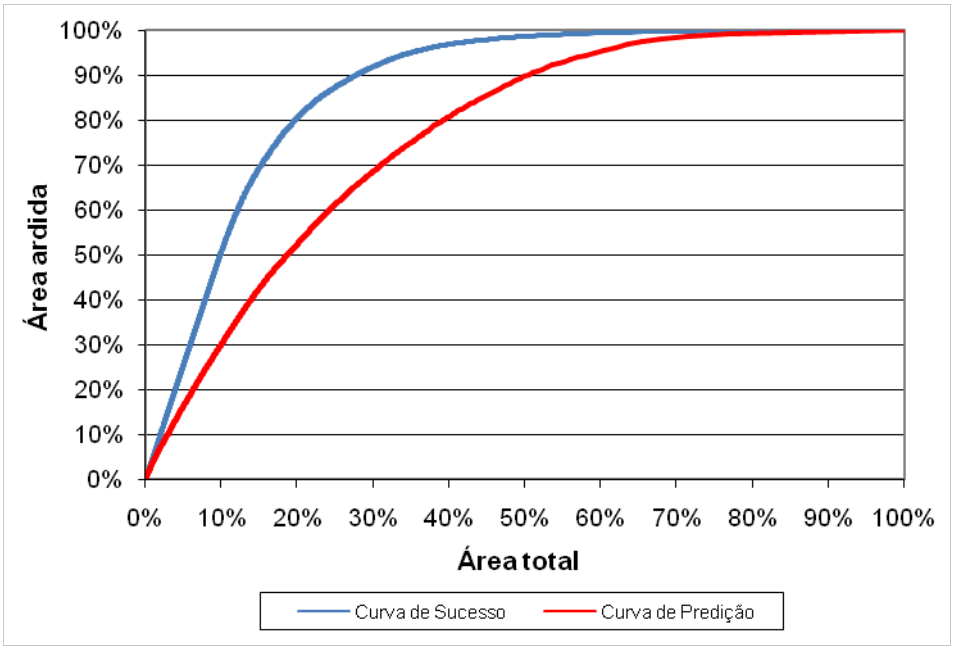


Tabela 6.8 - Taxas sucesso e predição para a combinação "ACDEPRSV"

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sucesso	50,78	80,50	91,87	96,90	98,65	99,39	99,77	100	100
Predição	30,14	52,40	68,51	80,89	90,11	95,46	98,46	99,09	100

Após a análise das combinações possíveis, a qualidade global do modelo produzido foi calculada através da área abaixo da curva (A.A.C.), que verifica qual a curva que possui um melhor comportamento. De acordo com os resultados obtidos na Tabela 6.9, podemos verificar que é a combinação "CDP", que engloba um menor número de variáveis, aquela que apresenta melhores resultados da taxa de sucesso. De facto à medida que vamos incluindo novas variáveis verifica-se, de uma forma sistemática, uma diminuição da área abaixo da curva. Em relação à área abaixo da curva para a predição verifica-se uma situação inversa, pelo que a inclusão de mais variáveis traduz-se num aumento da capacidade preditiva do modelo. Deste modo é a combinação que integra um maior número de variáveis (ACDEPRSV), aquela que apresenta uma a.a.c. superior. No entanto o acréscimo de variáveis ao modelo de suscetibilidade não produz um aumento significativo dos resultados obtidos, pelo que no modelo em que foram utilizadas 3 variáveis (CDP) o resultado é aproximado do obtido com 8 variáveis, verificando-se apenas um aumento de cerca de 3%.

Tabela 6.9 - Áreas Abaixo da Curva resultantes dos testes de modelação e validação da suscetibilidade

	CDP	ACDP	ACDEP	ACDEPR	ACDEPRS	ACDEPRSV
Sucesso	**89,36**	88,31	88,06	88,02	87,23	87,16
Predição	73,78	74,33	74,35	75,54	76,56	**76,74**

Perante os resultados obtidos o modelo escolhido para a produção da carta de suscetibilidade é a combinação "CDP". Este modelo possui a melhor área abaixo da curva para a taxa de sucesso e, apesar de não ser a que possui a melhor taxa de predição, é aquela que até aos 10% do território engloba mais área ardida. Deste modo assume-se que a suscetibilidade de incêndio florestal, para o Concelho de Amarante, é determinada pelos combustíveis, pelo declive e pelo histórico das ocorrências.

A delimitação das classes de suscetibilidade foi efetuada com o recurso à curva da taxa de predição do modelo selecionado (CDP). A partir das ruturas de declive da curva de predição, foram delimitadas 5 classes de suscetibilidade, assim como foi calculada a respetiva percentagem da área em estudo e das áreas ardidas previstas.

Figura 6.24 - Classificação da suscetibilidade do modelo "CDP"

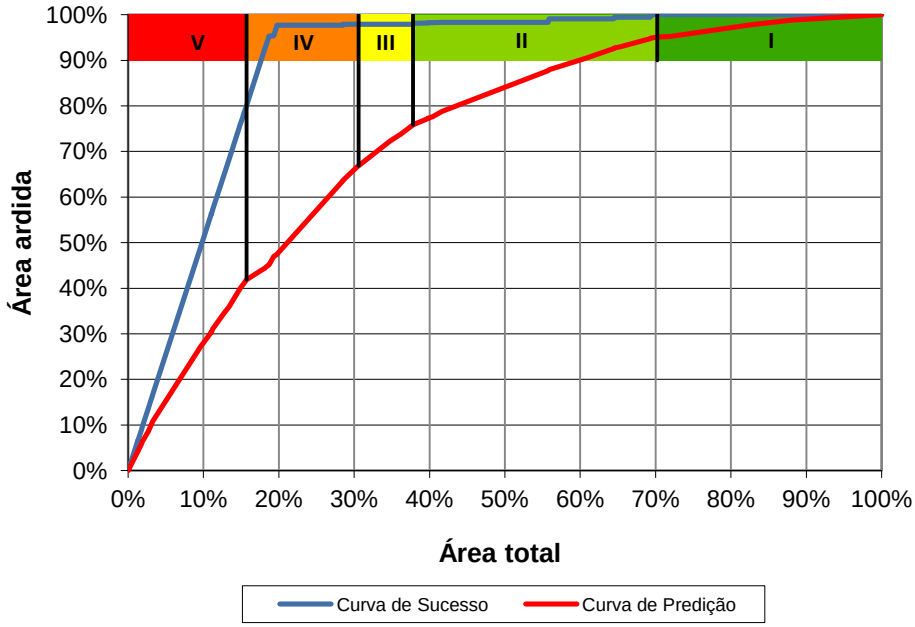
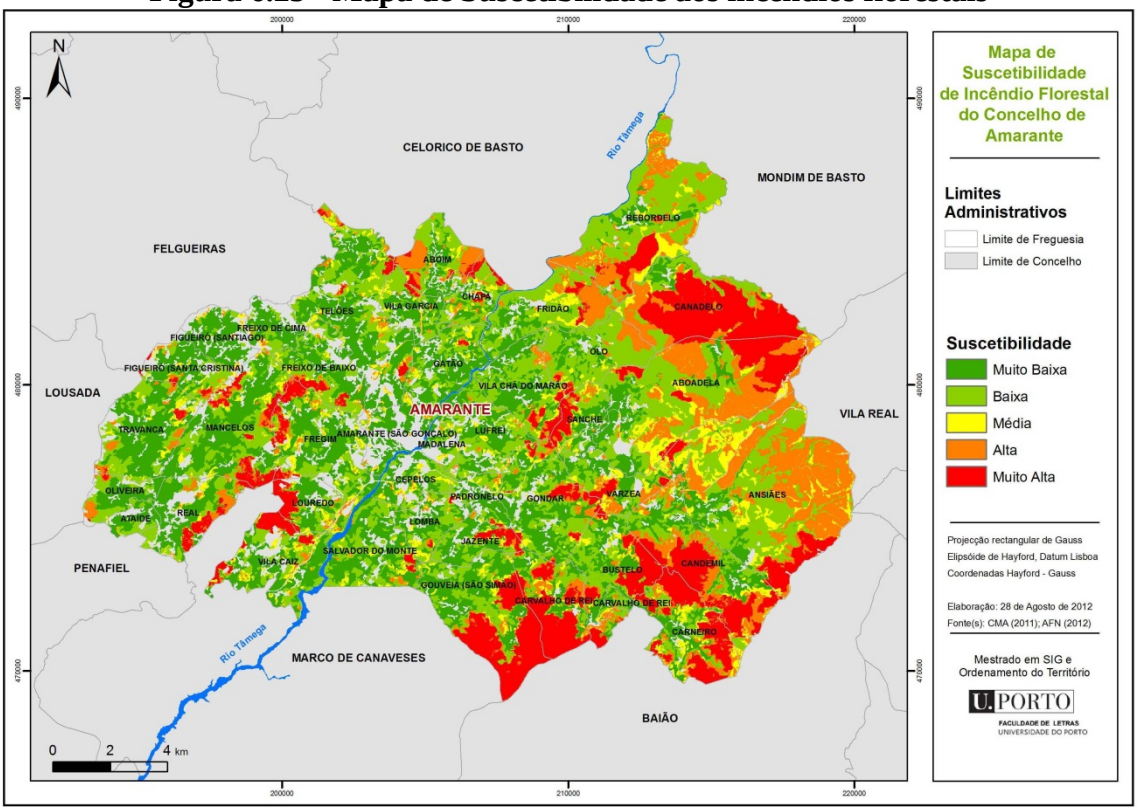


Figura 6.25 - Mapa de Suscetibilidade aos incêndios florestais



No sentido de avaliar a capacidade preditiva do mapa produzido, foi efetuada uma distribuição das áreas ardidas, do grupo de validação, pelas classes do mapa de suscetibilidade de incêndio florestal.

Tabela 6.10 - Distribuição das áreas ardidas por classe de suscetibilidade

Suscetibilidade	Área do território (%)	Área ardida (%)
Muito baixa	30,60	5,13
Baixa	31,64	19,09
Média	7,33	9,16
Alta	15,05	25,53
Muito alta	15,38	41,09

De acordo com os resultados obtidos, podemos verificar que a classe de suscetibilidade muito alta concentra mais de 40% das áreas ardidas, apesar da sua fraca expressão territorial. As duas classes de suscetibilidade mais elevadas ocupam apenas 30,43% da área em estudo, mas conseguem prever cerca de 66% das novas áreas ardidas. Por outro lado apenas 24,22% das áreas ardidas encontram-se localizadas nas classes mais baixas, que representam mais de metade do território (62,24%). Estes resultados permitem concluir que o mapa de suscetibilidade possui uma boa capacidade preditiva.

6.3.2 Discussão dos resultados

Neste capítulo foi efetuada uma análise à suscetibilidade de incêndio florestal do Concelho de Amarante, com o recurso à metodologia proposta por João Verde (2008), que serviu de base para a construção da respetiva cartografia de suscetibilidade. Esta metodologia foi inicialmente desenvolvida para a escala nacional pelo que pretendia-se aqui verificar, se esta possuía o mesmo comportamento à escala local, atendendo às especificidades do território.

De acordo com os resultados obtidos foi possível demonstrar que é possível avaliar a suscetibilidade de incêndio florestal, com o recurso a poucas variáveis. Deste modo assume-se que a suscetibilidade de incêndio florestal, para o Concelho de Amarante, é determinada pelos combustíveis, pelo declive e pelo padrão de recorrência das áreas ardidas. Ficou também demonstrado que a inclusão de um maior número de variáveis não significa necessariamente a obtenção de melhores resultados. Embora a integração de novas variáveis não possa ser negligenciada, uma vez que estas são consideradas válidas em outros estudos, no nosso caso a sua inclusão não se traduziu

num aumento significativo dos resultados obtidos, face ao esforço necessário e à complexidade do modelo gerado.

A combinação “CDP” possui a melhor área abaixo da curva para a taxa de sucesso, pelo que à medida que vamos adicionando novas variáveis os resultados da área abaixo da curva diminuem. Em relação à a.a.c. para a predição verifica-se uma situação inversa, pelo que a inclusão de mais variáveis traduz-se num aumento da capacidade preditiva do modelo.

O modelo obtido revelou uma boa capacidade preditiva com uma a.a.c. de 89,36% na taxa de sucesso, e 73,78% na taxa de predição. Apesar de não ser a que possui a melhor taxa de predição, é aquela que até aos 10% do território engloba mais área ardida. Outro dos aspetos a salientar é a fiabilidade do mapa produzido, uma vez que as duas classes de suscetibilidade mais elevadas ocupam apenas 30,43% da área em estudo, mas conseguem prever cerca de 66% das novas áreas ardidas. Deste modo podemos concluir que os resultados obtidos, na análise da suscetibilidade de incêndio florestal, revelaram-se bastante satisfatórios.

Capítulo 7 Considerações finais

A floresta representa a base de um sector da economia que gera cerca de 113 mil empregos diretos, 2% da população ativa, responsável por 10% das exportações e 3% do valor acrescentado bruto. A produção económica anual do sector florestal é de 1,3 mil milhões de euros, contribuindo com 4% para o PIB Nacional e 14% para o PIB Industrial (DGRF, 2006). Os espaços florestais representam um importante património natural e cultural, constituindo locais ideais para a realização de atividades de lazer e recreio. Ao nível ambiental são responsáveis pela melhoria da qualidade da água, pela proteção contra a erosão dos solos, pelo armazenamento do Dióxido de Carbono (CO2) e pela preservação da biodiversidade.

No entanto, em Portugal, onde os espaços florestais constituem dois terços do território continental, tem-se assistido nas últimas décadas, a uma perda de rentabilidade e competitividade da floresta portuguesa. Os incêndios florestais são os principais responsáveis pela destruição anual de uma área considerável da floresta nacional, constituindo deste modo uma grave ameaça ao desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa.

A existência de um grande número de estudos relacionados com a temática dos incêndios florestais, é um indicador da importância que este tema tem merecido por parte da comunidade científica. Esta tomada de consciência possibilitou o desenvolvimento de várias abordagens e metodologias de análise da suscetibilidade de incêndio florestal. Contudo a maior parte destes estudos tem centrado as suas atenções na análise da propagação, pelo que são poucos os trabalhos que tentam modelar e prever as ignições de incêndio florestal.

Partindo do princípio de que nenhum incêndio ocorre sem que haja ignição, uma correta avaliação deste fenómeno implica o conhecimento e análise dos fatores que influenciam a ocorrência de incêndios florestais e o seu comportamento. Neste sentido o presente projeto de investigação teve como objetivo, para além da tradicional avaliação da suscetibilidade, efetuar uma análise dos padrões espaciais dos incêndios florestais, propondo a elaboração de um modelo preditivo. Procurou-se aqui demonstrar as vantagens da utilização de ferramentas de análise espacial, conjugadas com algumas técnicas estatísticas, como um importante instrumento de planeamento do território,

contribuindo de igual modo para uma melhor compreensão da distribuição espacial da ocorrência de ignições de incêndio florestal.

Conhecidas as lacunas existentes na base de dados oficial, que não permitem efetuar uma leitura correta à escala local, os dados referentes aos pontos de ignição adotados neste trabalho foram provenientes do projeto desenvolvido pela DUDEF Norte e pelos Gabinetes Técnicos Florestais do Distrito do Porto. Este projeto teve início em 2009 com vista à criação de uma plataforma online colaborativa que permitisse o cruzamento da informação entre os corpos de bombeiros, na identificação aproximada do ponto de início, a GNR e os GTF na validação do ponto provável de ignição (PPI) e marcação da área ardida, e a AFN, na gestão da informação (AFN, 2009).

Neste trabalho foram analisados os padrões espaciais de 400 ignições de incêndio florestal que ocorreram entre 2009 e 2011, sendo proposto um modelo preditivo que possibilitou a elaboração de um mapa de probabilidade de ignição para o Concelho de Amarante. O modelo selecionado revelou uma boa capacidade preditiva com uma classificação global 67,3% no grupo de validação, e uma área abaixo da curva ROC de 0,748.

Este estudo demonstrou ainda existir uma forte correlação entre a presença e a atividade humana e a probabilidade de ignição de incêndios florestais. A maior parte dos pontos de ignição localizam-se a menos de 200 metros das áreas urbanas (75%), e cerca de 70% ocorreram dentro de um raio de 50 metros em torno do edificado. A proximidade à rede viária também foi considerada como potencial fator de contributo para a ocorrência de incêndios florestais, em que 47,3% das ocorrências localizam-se a menos de 50 metros da rede viária. A distribuição dos pontos de ignição pelas classes de ocupação do solo revela-nos que cerca de 81% das ocorrências localizam-se nas áreas florestais, em que 54,5% diz respeito a floresta e 26,5% a incultos.

Apesar dos bons resultados obtidos, este trabalho teve por base os dados de ignição provenientes de um projeto experimental, que à semelhança de outros carece de consistência e aperfeiçoamento dos dados registados. A capacidade preditiva do modelo poderá ainda ser melhorada com a inclusão de um maior número de variáveis e com a utilização de dados mais atuais. Espera-se também que este estudo possa despoletar o interesse da realização de outro tipo de trabalhos, onde seja efetuada a análise espacial não só do local de início, mas também das causas, tipologia e dimensão dos incêndios. Contudo para a realização deste tipo de estudos é necessário dispor de uma base de

dados fiável e abrangente, que possua exatidão na localização dos pontos de ignição e coerência dos dados registados.

O projeto desenvolvido pela DUDEF Norte e pelos Gabinetes Técnicos Florestais do Distrito do Porto demonstrou que é possível registar com uma precisão bastante aceitável a ocorrência de ignição de incêndios florestais. Os dados provenientes deste projeto permitiram quantificar e caracterizar os padrões espaciais da ocorrência de incêndios florestais, pelo que se pretende que os resultados atingidos neste trabalho possam ter contribuído para o incremento da importância que estes projetos possuem.

Este trabalho, o primeiro a ser realizado a esta escala, demonstrou ser possível elaborar um mapa de probabilidade de ignição de incêndios florestais com uma boa capacidade preditiva. O modelo produzido e o mapa gerado poderão constituir uma importante ferramenta de prevenção funcionando como um instrumento auxiliar nas ações de defesa da floresta contra incêndios.

A capacidade de compreensão e de previsão do comportamento dos incêndios florestais constitui uma ferramenta imprescindível de apoio à decisão no que diz respeito às ações de prevenção e combate dos incêndios florestais. Contudo uma correta avaliação do fenómeno em causa implica um conhecimento dos locais onde é mais provável a ocorrência de um incêndio de acordo com as características do território, ou seja a suscetibilidade.

A análise da suscetibilidade de incêndio florestal no Concelho de Amarante foi efetuada com o recurso à metodologia proposta por João Verde (2008), que serviu de base para a construção da respetiva cartografia de suscetibilidade. Foram selecionadas um conjunto de 8 variáveis, em que o seu contributo foi efetuado através do cálculo da favorabilidade de cada uma das classes das variáveis, com a exceção para o histórico, que foi antes calculada sob a forma de probabilidade anual. O resultado da suscetibilidade foi obtido através da multiplicação simples dos resultados da favorabilidade. Os modelos de suscetibilidade produzidos foram testados e validados através do cálculo das curvas de sucesso e de predição, assim como da área abaixo da curva.

De acordo com os resultados obtidos foi possível demonstrar que é possível avaliar a suscetibilidade de incêndio florestal, com o recurso a poucas variáveis. A relação entre as variáveis selecionadas, como o histórico, a ocupação do solo e os declives permitiram identificar as áreas com maior suscetibilidade. O modelo obtido revelou uma boa capacidade preditiva com uma a.a.c. de 89,36% na taxa de sucesso, e

73,78% na taxa de predição. Este obteve a melhor taxa de sucesso, e apesar de não ser a que possui a melhor taxa de predição, é aquela que até aos 10% do território engloba mais área ardida.

Este modelo revelou uma boa relação entre a qualidade dos resultados obtidos e o esforço necessário para o produzir. Ficou também demonstrado que a inclusão de um maior número de variáveis não significa uma melhoria substancial dos resultados obtidos.

A avaliação da suscetibilidade de Incêndio Florestal surge como uma ferramenta imprescindível para o planeamento das diferentes ações de DFCI, pois permite a aplicação de medidas preventivas, nomeadamente faixas e mosaicos de gestão de combustível, a execução de planos de fogo controlado, ordenamento florestal, assim como possibilita a otimização dos recursos e infraestruturas disponíveis para a defesa e combate de incêndios florestais.

Os temas abordados no presente projeto de investigação, probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndios florestais, não devem ser interpretados meramente como produtos distintos. Apesar da importância que cada um dos temas possui, as ações de prevenção que se revelam necessárias para uma correta gestão do risco, assenta em duas vertentes: o controlo das ignições e o controlo da propagação, assim estes temas podem e devem ser encarados como complementares. Atendendo ao facto da necessidade de racionalização dos meios disponíveis, torna-se necessário a definição de prioridades de defesa, atribuindo uma maior atenção às áreas onde existe uma maior probabilidade de ignição e daí poder dar origem a grandes incêndios florestais, servindo deste modo como princípio orientador para a aplicação e prossecução dos planos de prevenção, fiscalização, vigilância e combate.

Bibliografia

AFN (2009) Georreferenciação de Incêndios Florestais, Guia de procedimentos Google Maps, Direção de Unidade de Defesa da Floresta do Norte. Autoridade Florestal Nacional.

AFN (2010) Relatório Final do 5.º Inventário Nacional 2005/2006. Direção Nacional de Gestão Florestal, Autoridade Florestal Nacional.

AFN (2011) Relatório Anual de Áreas Ardidas e Ocorrências, 2010. Direção de Unidade de Defesa da Floresta. Autoridade Florestal Nacional.

Almeida, R., Caridade, Redinha, J., Grilo, F., M., António, R., Castro, M. Vinagre, P., Pinheiro, D., Guerreiro, J. Sousa e C. Mendonça, M. (1995) Relatório do Projeto-piloto de Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal, Centro Nacional de Informação Geográfica, 60 pp., Lisboa.

Bachmann, A., Allgöwer, B. (2001) A Consistent Wildland Fire Risk Terminology Is Needed. Fire Management today. Volume 6. No. 4: pp 28-33. Forest Service of the U. S. Department Of Agriculture. Washington D. C.

Bonazountas, M., D. Kallidromitou, (2007) A decision support system for managing forest fire casualties. Journal of Environmental Management 84(4): 412-418.

Botelho, Hermínio (2003) Portugal 2003, Os Incêndios Florestais ou o Desastre Anunciado. In Forestis. Incêndios 2003. Boletim Forestis. Associação Florestal de Portugal. Porto.

Cardille JA, Ventura SJ, Turner MG (2001) Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, USA. Ecological Applications11(1), 111-127.

Catry, Filipe X., Almeida, Rui Manuel, Rego Francisco C. (2004) Produção de Cartografia de Visibilidades para Portugal Continental. A Importância da sua Utilização na Vigilância Contra Incêndios Florestais. Silva Lusitânia 12 (2): 227-241.

Catry, Filipe X., (2007) Modelação Espacial do Risco de Ignição em Portugal Continental. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica. Universidade Nova de Lisboa.

Catry, Filipe X., Rego Francisco C., Bação Fernando L., Moreira Francisco (2009) Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal, International Journal of Wildland Fire 18(8) 921–931.

Chung, C. F., & Fabbri, A. G. (2003) Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. Natural Hazards, 30, 451-472.

Chuvieco, E. e Congalton G. (1989) Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Forest Fire Hazard Mapping. Remote Sensing of Environenmet. Vol. 29: pp. 147-159.

Coelho, Inocêncio Seita (2003) Propriedades da Terra e Política Florestal em Portugal. Silva Lusitana. 185-199 pp.

Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Município de Amarante (2008), Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios.

Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Município de Amarante (2009) Plano Operacional Municipal.

DGRF (2006) Estratégia Nacional para as Florestas. Direção Geral dos Recursos Florestais. Lisboa.

DGRF (2006) Plano Regional de Ordenamento Florestal do Tâmega. Direção Geral dos Recursos Florestais.

DGRF (2007) Guia Técnico para a elaboração do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Direção Geral dos Recursos Florestais.

Freire, S., Carrão, H., Caetano, Mário R. (2002) Produção de Cartografia de Incêndio Florestal com Recurso a Imagens de Satélite e Dados Auxiliares. VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica – ESIG 2002.

Gonçalves, A. B. (2007) Geografia dos Incêndios em Espaços Silvestres de Montanha – o caso da Serra da Cabreira; Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.

Hosmer, David W., Lemeshow, Stanley (200) Applied logistic Regression, Second Edition. John Wiley and Sons, New York.

IGP (2007) Cartografia de Risco de Incêndio Florestal, Relatório do Distrito do Porto. Instituto Geográfico Português. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

IGP (2010) Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS 2007), Memória Descritiva. Lisboa.

ISA (2005) Proposta Técnica do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Julião, R. P., Nery, F., et al. (2009) Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal. Autoridade de Proteção Civil.

Lourenço, L. (1992) Avaliação de Risco de Incêndio nas Matas e Florestas de Portugal Continental. Finisterra. XXVII, 53-54: pp. 115-140.

Lourenço, L. (1996) Risco de Incêndio Florestal. Encontro Pedagógico sobre Fogos Florestais. ASEPIF. Pp 56-61.

Martínez Jesús, Vega-Garcia Cristina, Chuvieco Emilio (2008) Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, Journal of Environmental Management 90, p. 1241–1252.

Mendes, A.S.C., (2002) Financial instruments of forest policy in Portugal in the 80s and 90s. EFI Forest Policy Research Forum: Cross-Sectoral Policy Impacts on Forests, 4-6 April, Sanvonlinna.

Mercer DE, Prestemon, JP (2005) Comparing production function models for wildfire risk analysis in the wildland-urban interface. Forest Policy and Economics 7, 782-795.

Preisler HK, Brillinger DR, Burgan RE, Benoir JW (2004) Probability based models for estimation of wildfire risk. International Journal of Wildland Fire 13, 133–142.

Serra, G., Paúl, J., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., Mota, L. (2006) Manual de Combate a Incêndios Florestais para Equipas de Primeira Intervenção, 3ª edição, Escola Nacional de Bombeiros, Sintra.

Silva Joaquim Sande, Rego Francisco, Fernandes Paulo, Rigolot Eric (2010) Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox, European Forest Institute Research Report 23.

UCLA. Introduction to SAS.UCLA: Academic Technology Services, Statistical Consulting Group. From http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/notes2/ (acedido 30 de Março de 2012).

Van Wagner, C.E., (1987) Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35, Otawa.

Vasconcelos MJP, Silva S, Tomé M, Alvim M, Pereira JMC (2001) Spatial Predition of Fire Ignition Probabilities: Comparing Logistic Regression and Neural Networks. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 67 (1): 73-81.

Verde, J.(2008) Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal, Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.

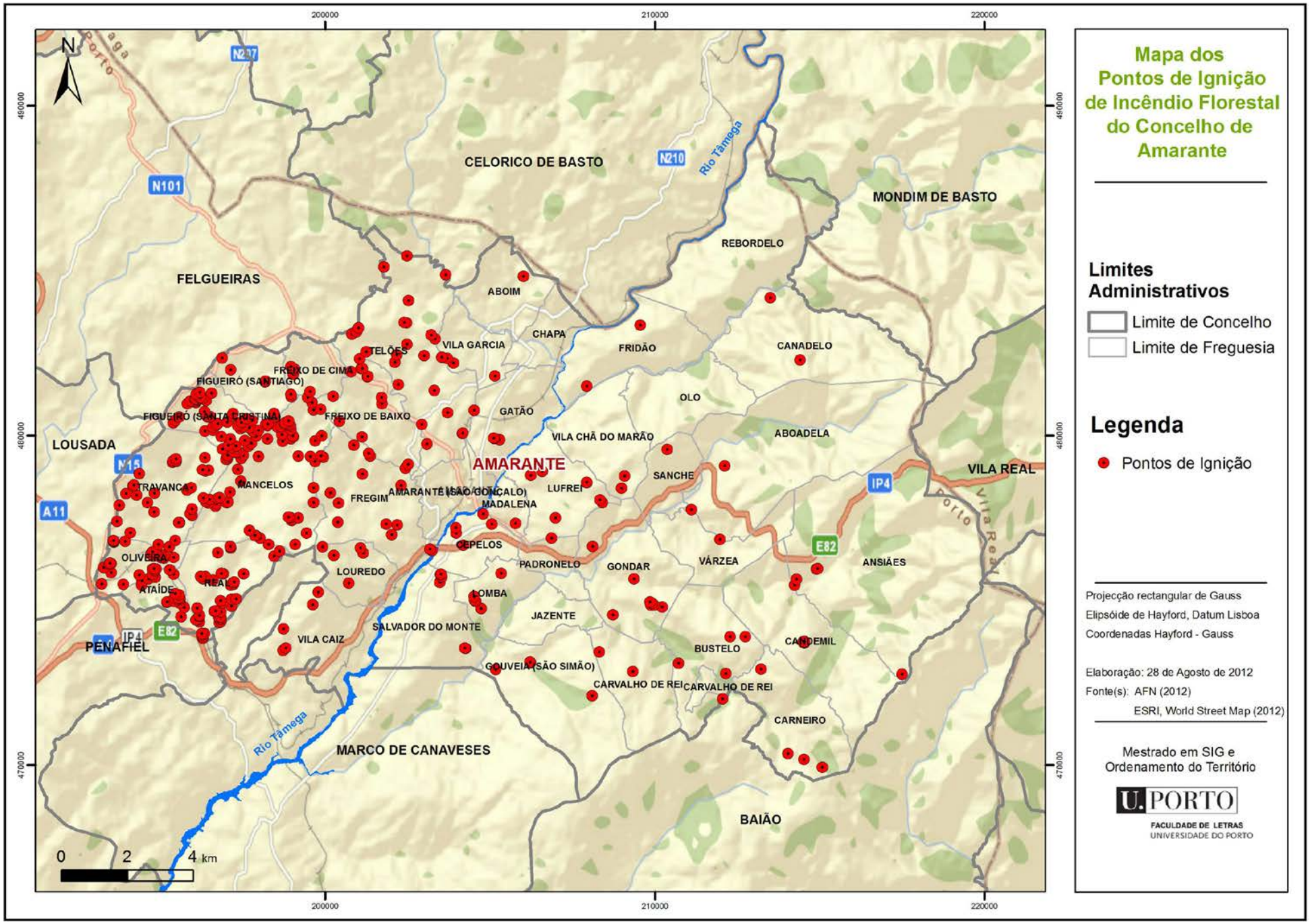
Vettorazzi, C. (2000) Forest Hazard Mapping in a GIS Environment for a River Basin in São Paulo State, Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Piracicaba – Brazil.

Viegas, D. X., Gomes, F., Páscoa, F., Lima, I., Lopes, J. Silva, J. S., Vasco, P., Vasconcelos, T. (2002) Manual de Silvicultura para a Prevenção de Incêndios. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa.

Viegas, D. X., Reis, R. M., et al. (2004) Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. Silva Lusitano. 12: pp. 77-93.

Zêzere, J. L., Piedade, A., Garcia, R. A. C., Oliveira, S. C. (2011) Modelos de Suscetibilidade a Deslizamentos Superficiais Translacionais na Região a Norte de Lisboa. Finisterra, XLVI, 91, 2011, pp. 9-26.

Anexos



Mapa dos Pontos de Ignição de Incêndio Florestal do Concelho de Amarante

Limites Administrativos

- Limite de Concelho
- Limite de Freguesia

Legenda

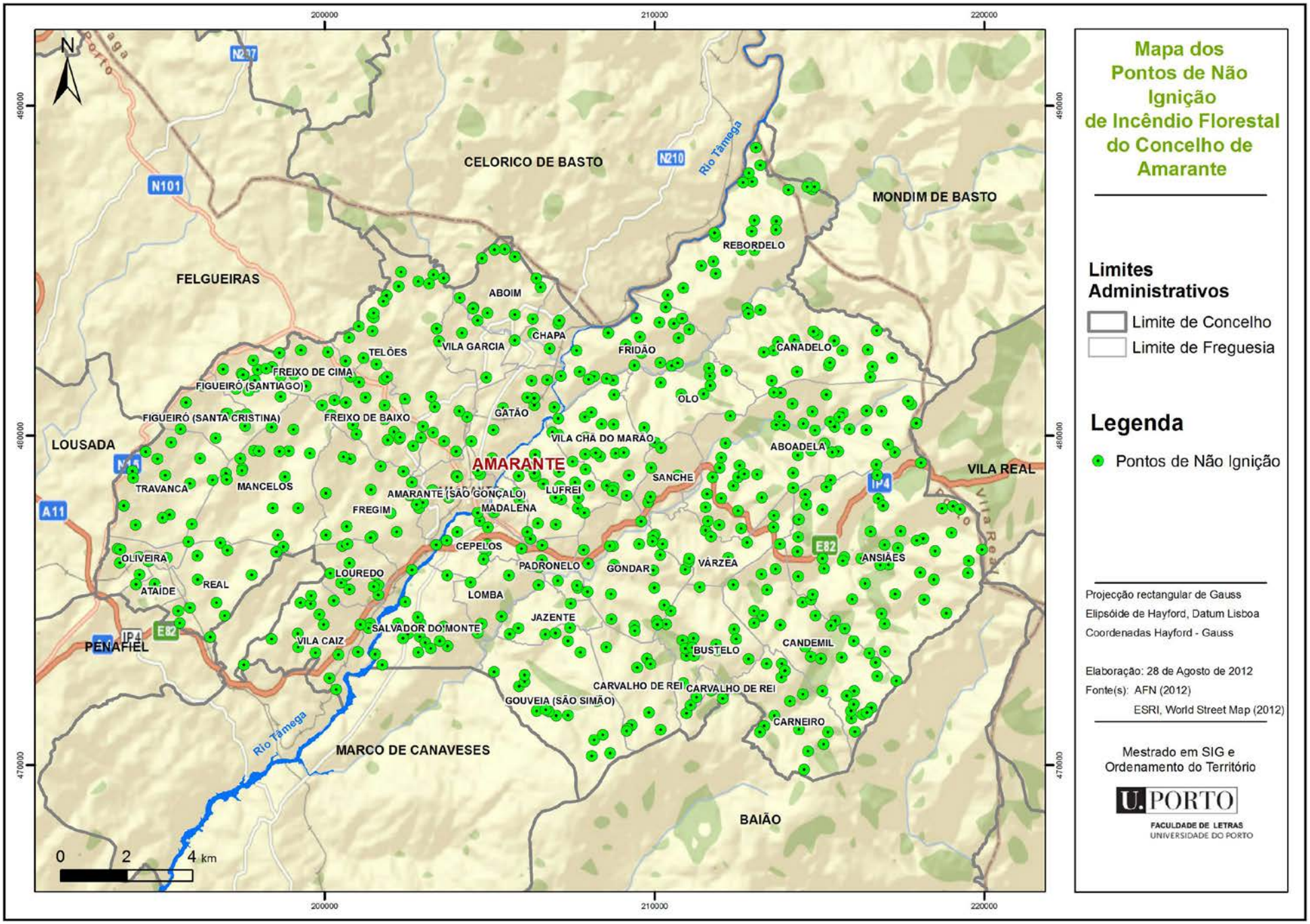
- Pontos de Ignição

Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss

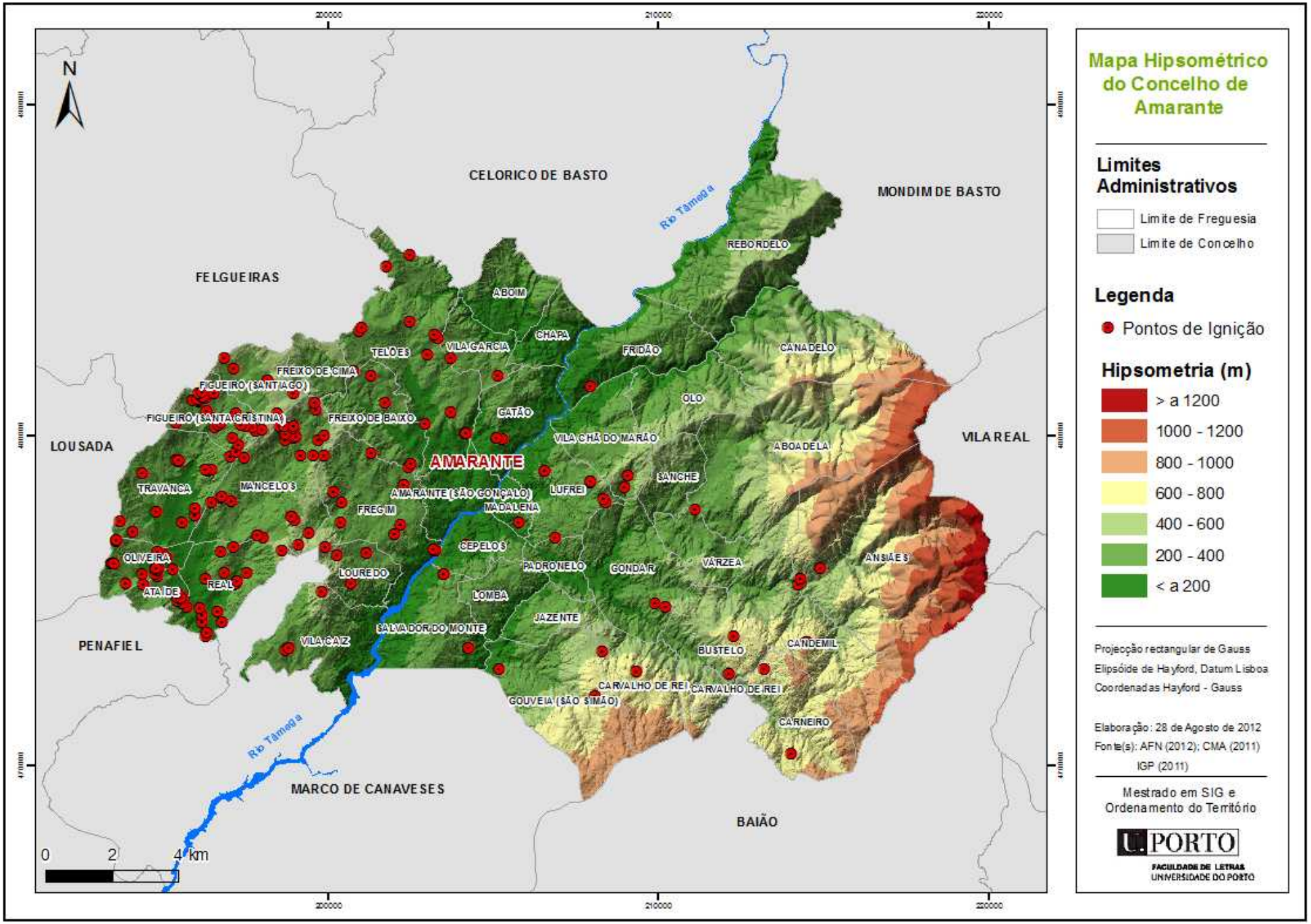
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012)
ESRI, World Street Map (2012)

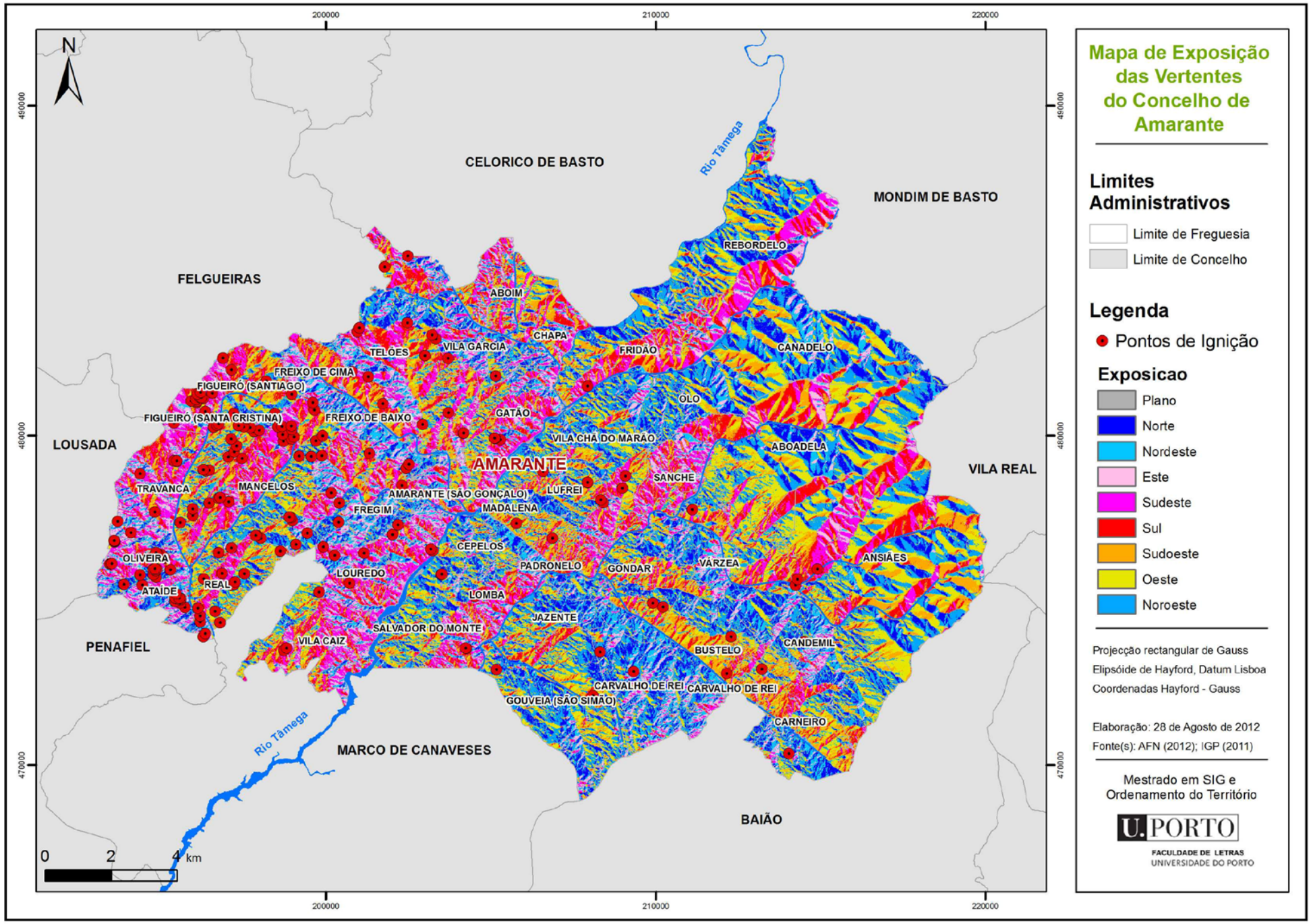
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território

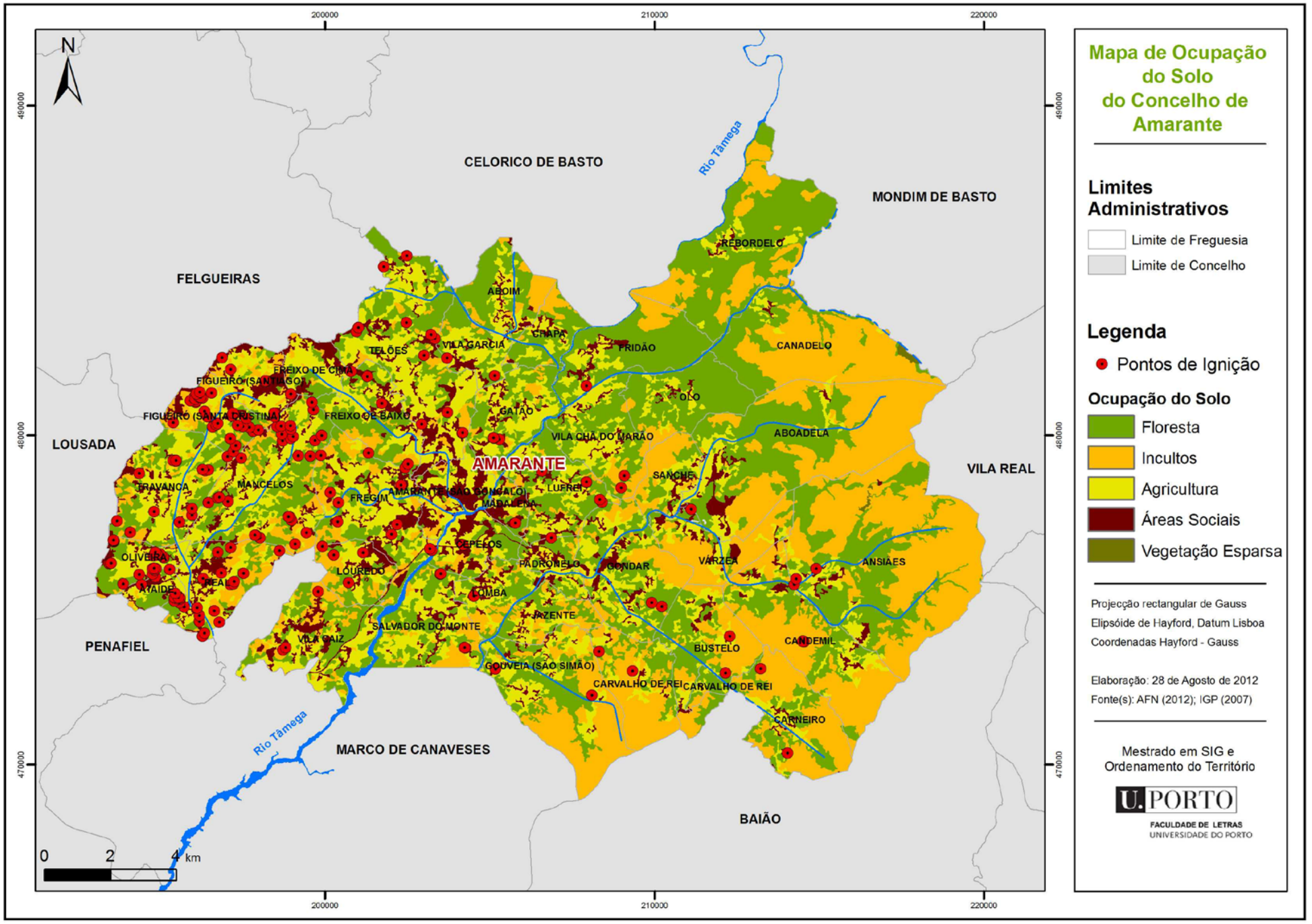
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

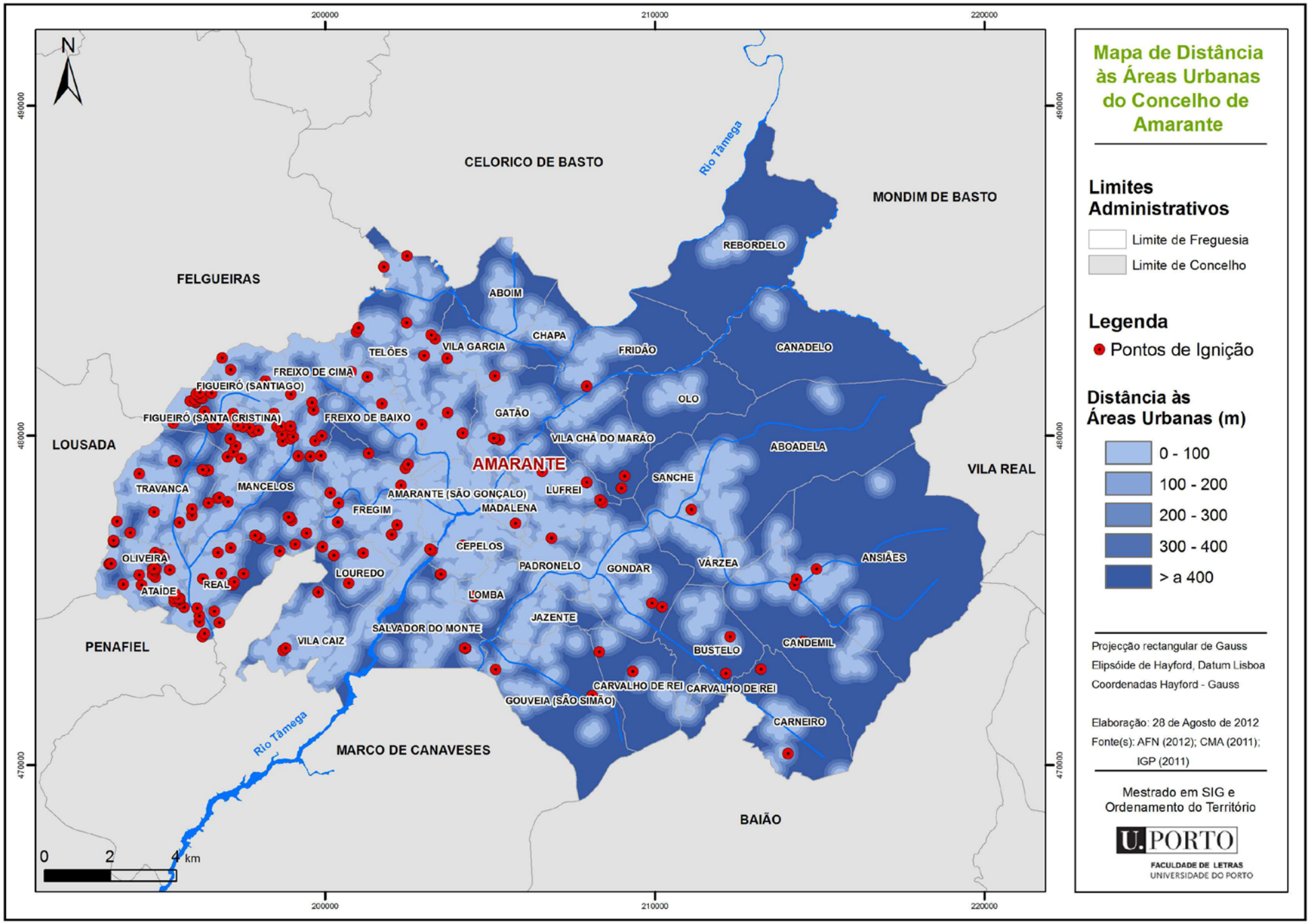


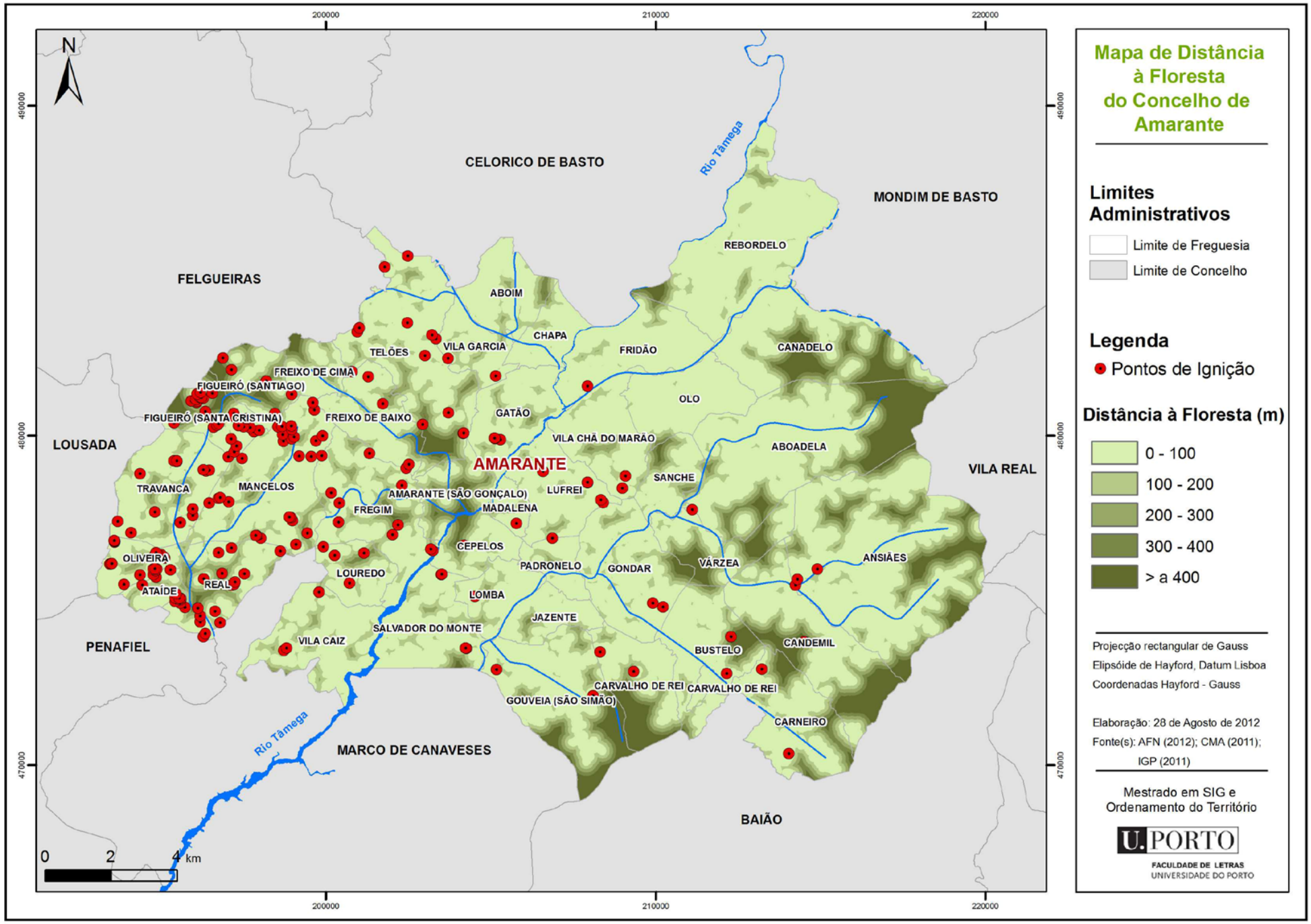
Mapa dos Pontos de Não Ignição de Incêndio Florestal do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Concelho
Limite de Freguesia
Legenda
Pontos de Não Ignição
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012)
ESRI, World Street Map (2012)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
VILA REAL
AMARANTE
Rio Tâmega
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
VILA GARCIA
TELÕES
FRIDÃO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
SANCHE
FREGIM
MADALENA
CEPELOS
OLIVEIRA
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOUREDO
ATAÍDE
REAL
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO
N101
N210
N237
A11
IP4
E82
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km

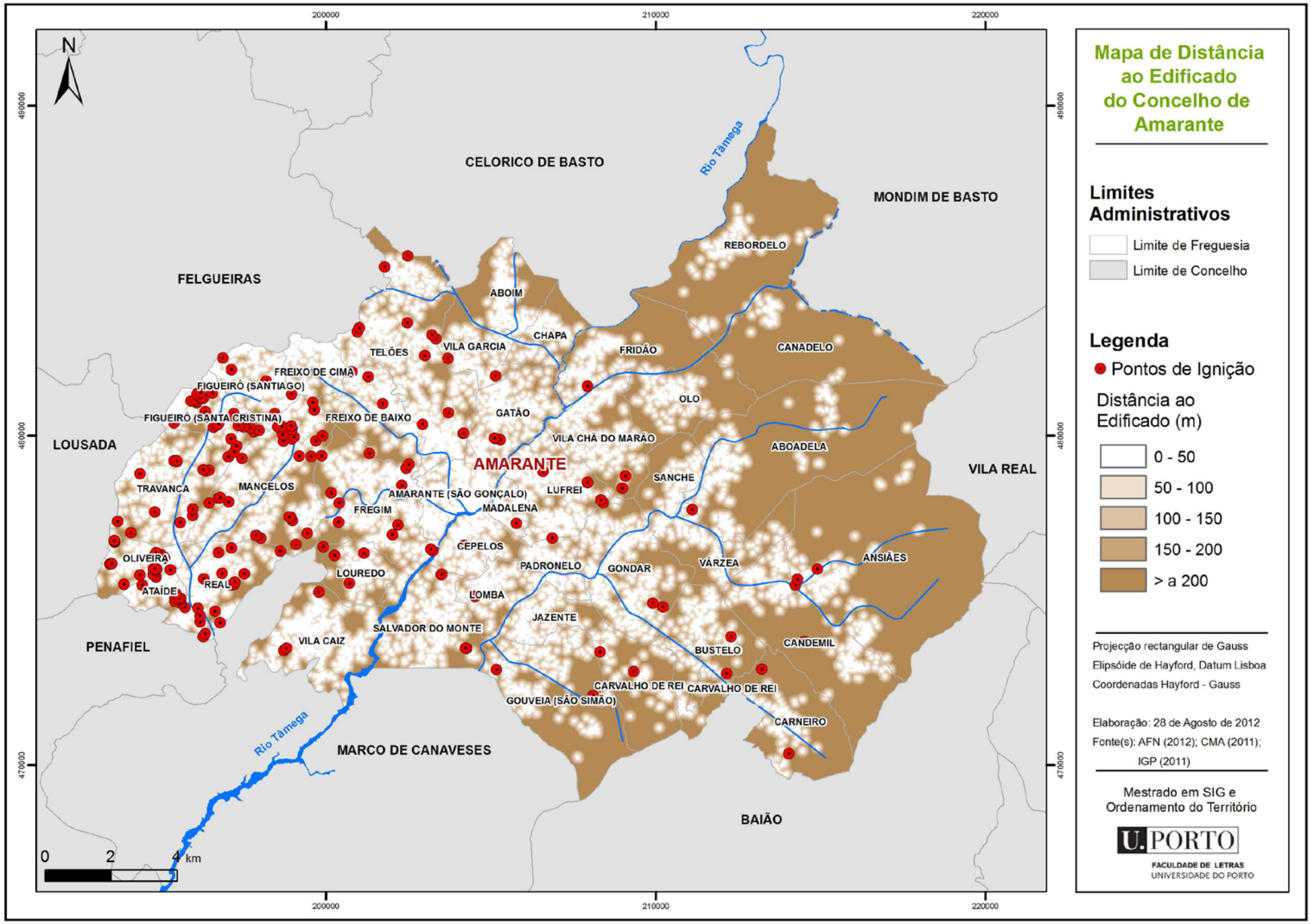

Mapa Hipsométrico do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Hipsometria (m)
> a 1200
1000 - 1200
800 - 1000
600 - 800
400 - 600
200 - 400
< a 200
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); CMA (2011)
IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
ABOIM
CHAPA
TELÕES
VILA GARCIA
FRIDÃO
REBORDELO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
MADALENA
LUFREI
SANCHE
FREGIM
CEPELOS
OLIVEIRA
ATAÍDE
REAL
LOUREDO
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO
Rio Tâmega
Rio Tâmega
0
2
4 km
200000
210000
220000

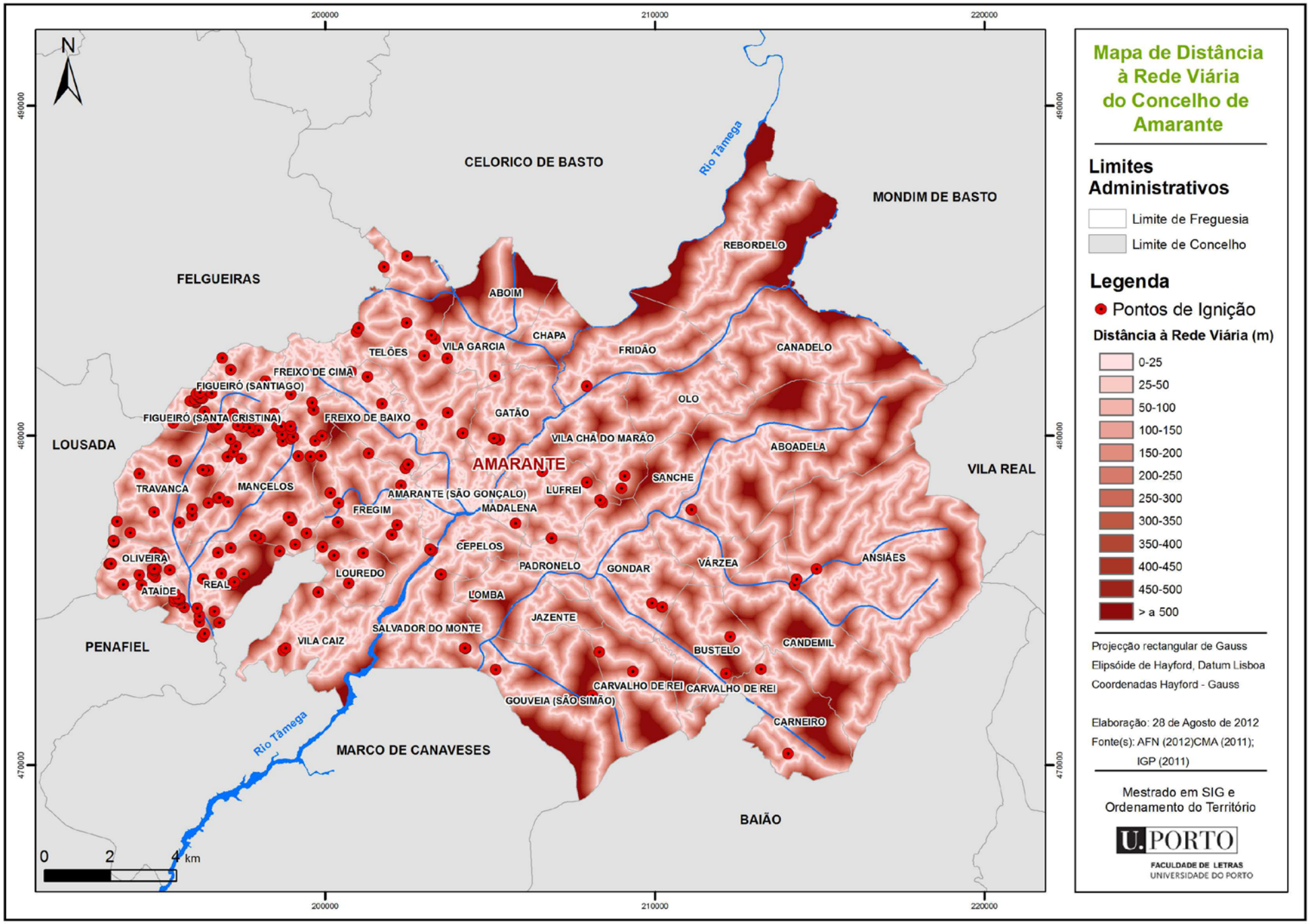

Mapa de Exposição das Vertentes do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Exposicao
Plano
Norte
Nordeste
Este
Sudeste
Sul
Sudoeste
Oeste
Noroeste
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
VILA GARCIA
TELÕES
FRIDÃO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
SANCHE
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
FREGIM
MADALENA
CEPELOS
OLIVEIRA
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOUREDO
ATAÍDE
REAL
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO
Rio Tâmega
Rio Tâmega
0
2
4 km

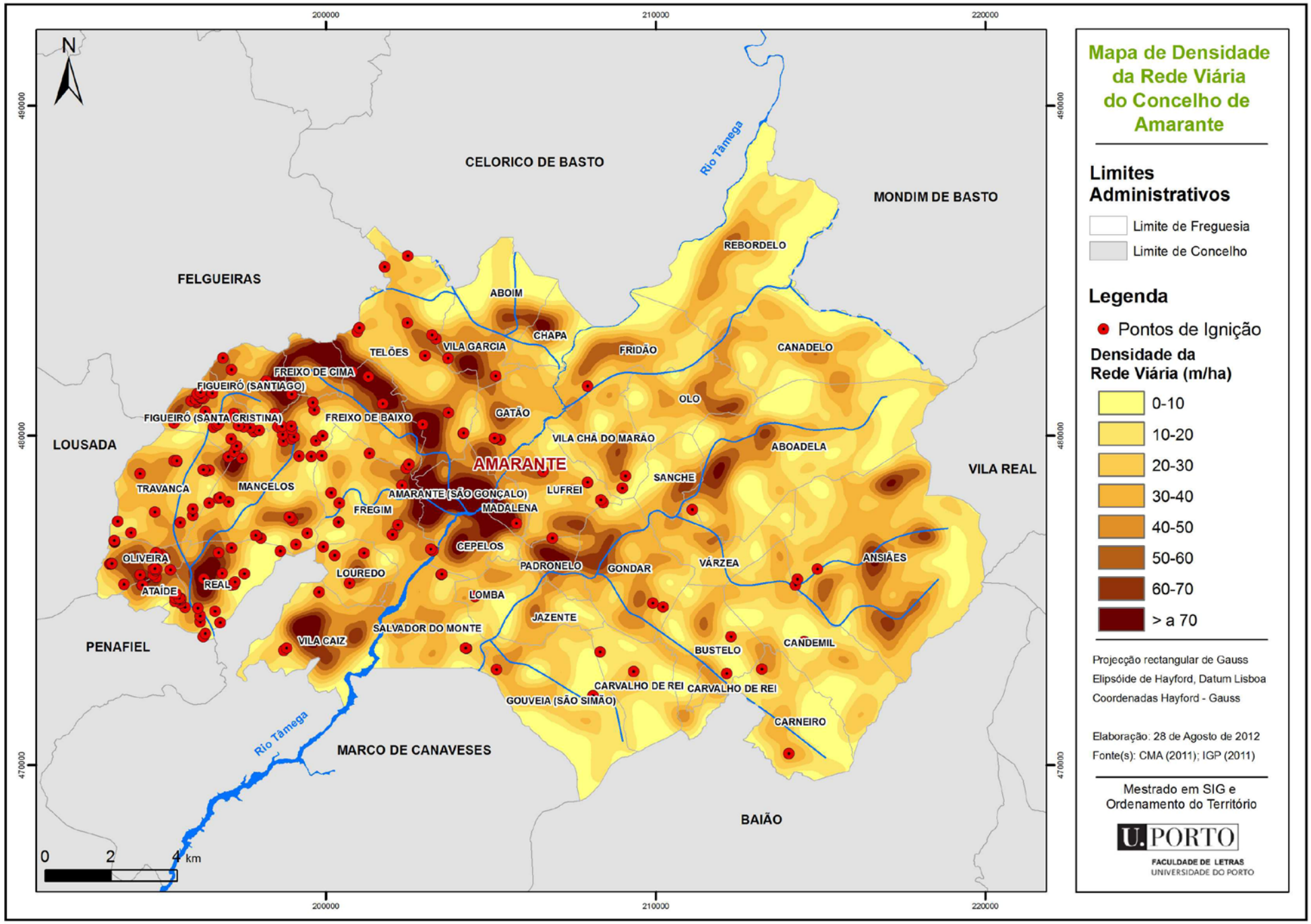

Mapa de Ocupação do Solo do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Ocupação do Solo
Floresta
Incultos
Agricultura
Áreas Sociais
Vegetação Esparsa
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); IGP (2007)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km
Rio Tâmega
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
FRIDÃO
CANADELO
TELÕES
VILA GARCIA
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRO (SANTIAGO)
FIGUEIRO (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
FREGIM
MARCO
SÃO GONÇALO
MADALENA
LUFREI
SANCHE
OLIVEIRA
AVAIDE
REAL
LOUREDO
CEPELOS
PADRONELO
CONDAR
VARZEA
ANSIÃES
COMBA
AZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARVALHO DE REI
BUSTELO
CANDEMIL
CARNEIRO

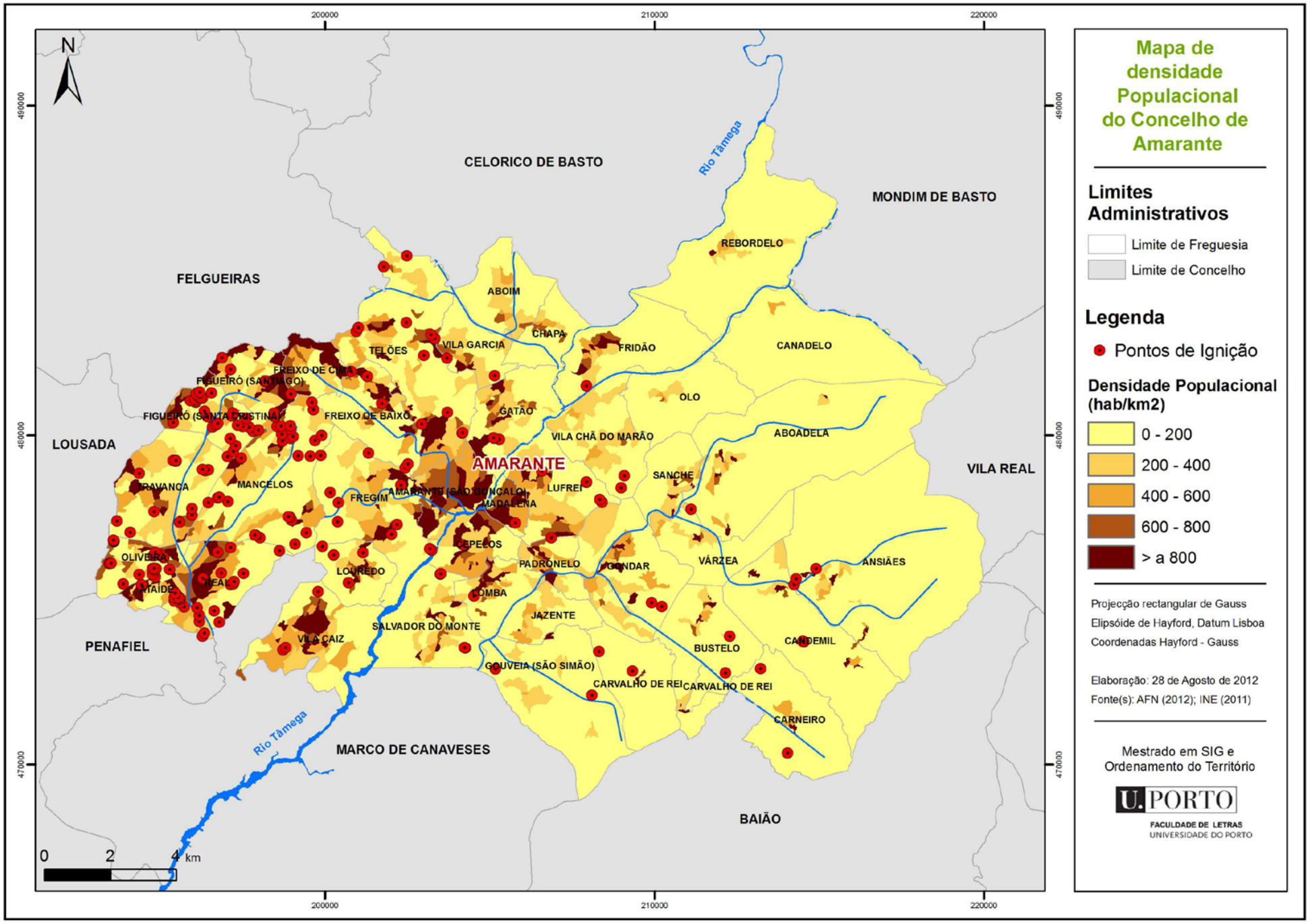

Mapa de Distância às Áreas Urbanas do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Distância às Áreas Urbanas (m)
0 - 100
100 - 200
200 - 300
300 - 400
> a 400
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); CMA (2011); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
0 2 4 km
200000
210000
220000
490000
480000
470000
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
Rio Tâmega
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
FRIDÃO
CANADELO
TELÕES
VILA GARCIA
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
SANCHE
FREGIM
MADALENA
OLIVEIRA
CEPELOS
ATAÍDE
REAL
LOURIDO
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO

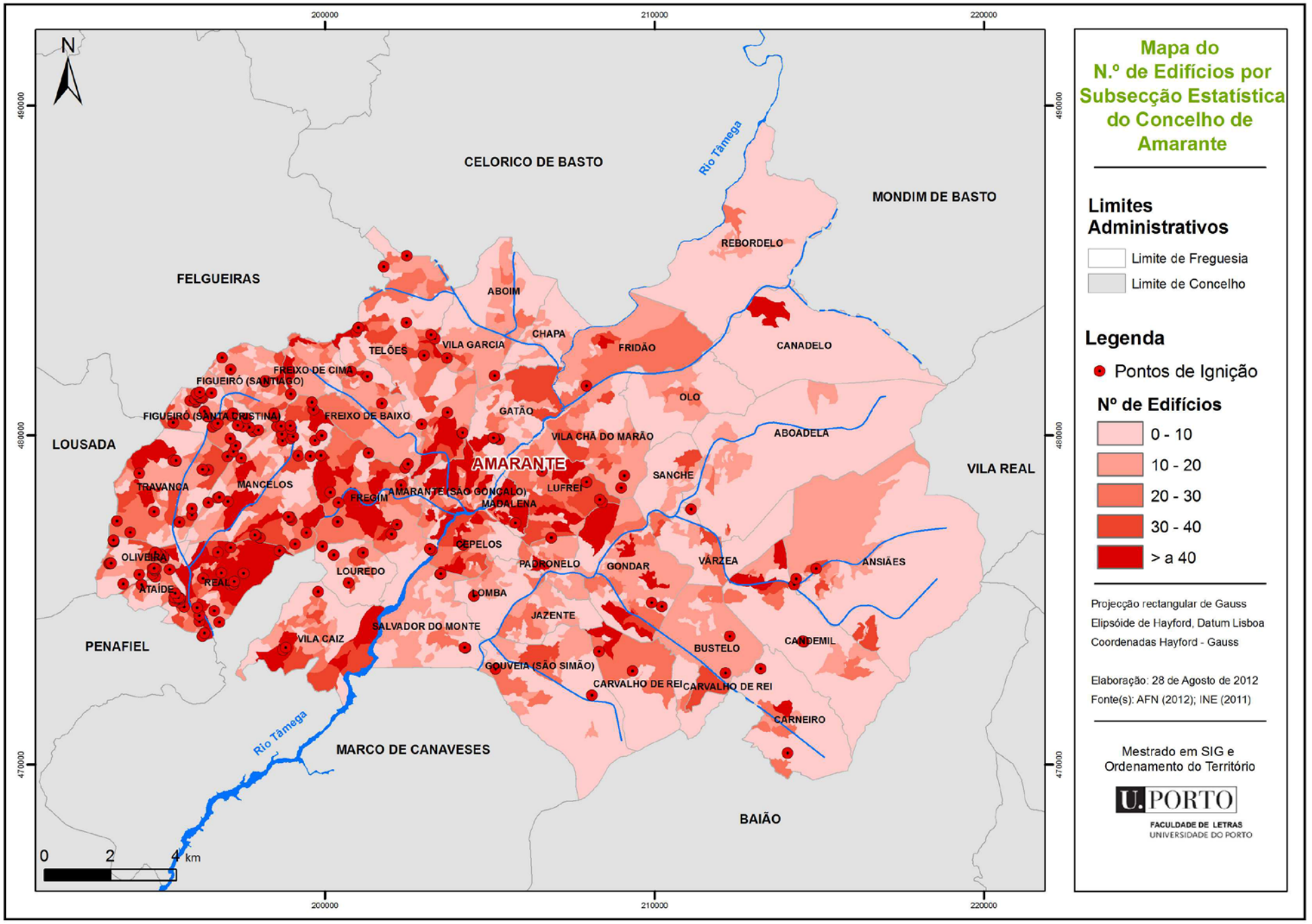

Mapa de Distância à Floresta do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Distância à Floresta (m)
0 - 100
100 - 200
200 - 300
300 - 400
> a 400
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); CMA (2011); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
0 2 4 km
200000
210000
220000
490000
480000
470000
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
Rio Tâmega
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
FRIDÃO
CANADELO
TELÕES
VILA GARCIA
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
SANCHE
FREGIM
MADALENA
CEPELOS
OLIVEIRA
ATAÍDE
REAL
LOUREDO
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO


Mapa de Distância ao Edificado do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Distância ao Edificado (m)
0 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
> a 200
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); CMA (2011); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
Rio Tâmega
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
VILA GARCIA
TELÕES
FRIDÃO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
SANCHE
FREGIM
MADALENA
OLIVEIRA
REAL
ATAÍDE
LOUREDO
CEPELOS
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO


Mapa de Distância à Rede Viária do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Distância à Rede Viária (m)
0-25
25-50
50-100
100-150
150-200
200-250
250-300
300-350
350-400
400-450
450-500
> a 500
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012)CMA (2011); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
Rio Tâmega
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
VILA GARCIA
TELÕES
FRIDÃO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
SANCHE
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
FREGIM
MADALENA
OLIVEIRA
CEPELOS
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOUREDO
ATAÍDE
REAL
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO


Mapa de Densidade da Rede Viária do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Densidade da Rede Viária (m/ha)
0-10
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-70
> a 70
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): CMA (2011); IGP (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km
Rio Tâmega
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
TELÕES
VILA GARCIA
FRIDÃO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
LUFREI
SANCHE
FREGIM
MADALENA
CEPELOS
OLIVEIRA
ATAÍDE
REAL
LOUREDO
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
CARVALHO DE REI
CARVALHO DE REI
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARNEIRO


Mapa de densidade Populacional do Concelho de Amarante
Limites Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Densidade Populacional (hab/km2)
0 - 200
200 - 400
400 - 600
600 - 800
> a 800
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); INE (2011)
Mestrado em SIG e Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
0
2
4 km
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
Rio Tâmega
ABOIM
CHAPA
TELÕES
VILA GARCIA
FRIDÃO
REBORDELO
CANADELO
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
VILA CHÃ DO MARÃO
ABOADELA
TRAVANCA
MANCELOS
FREGIM
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
MADALENA
LUFREI
SANCHE
OLIVEIRA
REAL
MAIDE
LOUREDO
CEPELOS
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARVALHO DE REI
CARVALHO DE REI
CARNEIRO


Mapa do
N.º de Edifícios por
Subsecção Estatística
do Concelho de
Amarante
Limites
Administrativos
Limite de Freguesia
Limite de Concelho
Legenda
Pontos de Ignição
Nº de Edifícios
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
> a 40
Projecção rectangular de Gauss
Elipsóide de Hayford, Datum Lisboa
Coordenadas Hayford - Gauss
Elaboração: 28 de Agosto de 2012
Fonte(s): AFN (2012); INE (2011)
Mestrado em SIG e
Ordenamento do Território
U.PORTO
FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO
N
200000
210000
220000
490000
480000
470000
CELORICO DE BASTO
MONDIM DE BASTO
FELGUEIRAS
LOUSADA
VILA REAL
PENAFIEL
MARCO DE CANAVESES
BAIÃO
AMARANTE
REBORDELO
ABOIM
CHAPA
FRIDÃO
CANADELO
TELÕES
VILA GARCIA
FREIXO DE CIMA
FIGUEIRÓ (SANTIAGO)
FIGUEIRÓ (SANTA CRISTINA)
FREIXO DE BAIXO
GATÃO
OLO
ABOADELA
VILA CHÃ DO MARÃO
SANCHE
TRAVANCA
MANCELOS
FREGIM
AMARANTE (SÃO GONÇALO)
MADALENA
LUFREI
CEPELOS
OLIVEIRA
REAL
ATAÍDE
LOUREDO
PADRONELO
GONDAR
VÁRZEA
ANSIÃES
LOMBA
JAZENTE
SALVADOR DO MONTE
VILA CAIZ
BUSTELO
CANDEMIL
GOUVEIA (SÃO SIMÃO)
CARVALHO DE REI
CARVALHO DE REI
CARNEIRO
Rio Tâmega
Rio Tâmega
0
2
4 km