



Cartografia da paisagem natural do Parque Natural de Montesinho por Sensoriamento Remoto

Pedro Henrique Jandreice Magnoni

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

Orientado por

Professor Dr. José Castro
Professor Dr. Edivando Vitor do Couto

Bragança

2017



Cartografia da paisagem natural do Parque Natural de Montesinho por Sensoriamento Remoto

Pedro Henrique Jandreice Magnoni

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção
do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental através do acordo de Dupla
Diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.*

Orientado por

Professor Dr. José Castro
Professor Dr. Edivando Vitor do Couto

Bragança
2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais Antônio Francisco Magnoni e Maria José Jandreice pelo apoio durante meu período de estudos no exterior, sem eles, em todos os sentidos, isto não seria possível.

A minha companheira, Laís, por toda ajuda, leituras, revisões prestadas, e principalmente, pela paciência para escutar minhas ideias e reclamações ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Passar um ano em outro país, vivendo em uma diferente cultura, enfrentando novos desafios, é muito mais interessante quando temos alguém para viver estas experiências conosco. A felicidade é muito mais valiosa quando compartilhada.

Agradeço ao professor José Castro, orientador e agora amigo, que desde o início se mostrou disposto no auxílio para elaboração deste trabalho compartilhando seu vasto conhecimento sobre os assuntos tratados, com dedicação e atenção, para que este projeto pudesse ser finalizado.

Aos meus orientadores do Brasil, professores José Ferreira e Edivando Couto, pelos conhecimentos ensinados durante a graduação na UTFPR e o incentivo para meus estudos em Portugal. Dessa maneira, também posso atribuir o êxito deste intercâmbio a eles.

Aos meus amigos e companheiros de república em Bragança, João, Gleici e Maidana, pelo tempo passado juntos, experiências e brincadeiras compartilhadas ao longo da convivência que ajudaram a superar as dificuldades ao longo do caminho trilhado.

Aos amigos do Brasil, os quais me fazem falta, Otávio, Yuji, Luís (titi), Lucas (asdaf), Thiago, Caio (lee), Lucas (quejo), Raul, Henry, Caio (moita), Kerry, Marcelo, Júlia, Razera (primo), Ícaro, Aruani, Lorena e todos os demais, que mesmo longe, de alguma maneira demonstraram apoio nesta importante etapa de minha vida.

Finalmente, agradeço a UTFPR – Campo Mourão e ao Instituto Politécnico de Bragança pelo programa de dupla diplomação e o apoio financeiro oferecido pelas instituições.

RESUMO

Visando a utilização do sensoriamento remoto na monitorização de ecossistemas de elevado valor conservacionista, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia capaz de identificar de forma expedita a ocorrência dos carvalhais da *Quercus pyrenaica* Willd., espécie de valor ecológico alto no Parque Natural de Montesinho (PNM), localizado na região nordeste de Portugal, através de ferramentas do sensoriamento remoto e utilização de sistemas de informação geográficas livres. Com base em informação espectral de diferentes composições de bandas de uma imagem Landsat 5 Thematic Mapper (TM), foram aplicadas classificações não-supervisadas mediante o SPRING para diferentes índices de similaridade no processo de segmentação da imagem. Com a utilização do QGIS, as classificações foram comparadas com a cartografia de referência para determinar as classes que melhor representaram o carvalho, e foi verificado que o índice de similaridade 8, com a inserção de todas as bandas espectrais, foi aquela que melhor reconheceu a assinatura espectral do carvalho no parque. A partir dessas classes, foram extraídas regiões potenciais para a tomada de amostras para aplicação de um classificador supervisionado que possibilitou a elaboração de um mapa temático das áreas de carvalho no PNM. Mediante uma verificação no terreno, alguns resultados interessantes como a discriminação do carvalho em diferentes estágios de seu crescimento vegetal e abundância associado a outras espécies, mostram a capacidade de detecção da assinatura espectral do carvalho da metodologia aplicada.

Palavras-chave: *Quercus pyrenaica* Willd; SPRING; QGIS; ISOSEG; MAXVER;

ABSTRACT

Aiming the use of remote sensing in the monitoring of high conservation value ecosystems, the present work aimed a methodology able to identify the occurrence of the of the *Quercus pyrenaica* Willd., a specie of high ecological value in the Natural Park Of Montesinho, located in the northeast region of Portugal, through remote sensing tools and the use of free geographical information systems. Based on spectral information from different band compositions in Landsat 5 Thematic Mapper (TM) images, non-supervised classifications were applied using SPRING by different similarity indexes in the image segmentation process. Using the QGIS, the classifications were compared with the reference cartography to determine the most representative classes of the *Quercus pyrenaica* Willd., verifying that the classifications performed for the similarity 8 index with all image spectral bands was the one that best recognized the oaks spectral signature. From these classes, potential regions were extracted for the sampling and application of a supervised classifier that enabled the thematic map of the oak areas in the PNM. By field verification, interesting results such as the discrimination of the oak at different plant growth stages and abundance associated with other species, showed the ability of oak spectral signature detection by the applied methodology.

Keywords - *Quercus pyrenaica* Willd; SPRING; QGIS; ISOSEG; MAXVER;

ÍNDICE

RESUMO	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE QUADROS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VII
ESTRUTURA DO TRABALHO	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO	3
3.1.1 Espectro eletromagnético, assinaturas espectrais e janelas atmosféricas.....	4
3.1.2 Tipos de sensores	5
3.1.3 Características das imagens obtidas por sensores remotos	5
3.1.4 Classificação de Imagens	7
3.1.5 Classificadores por região e segmentação da imagem	8
3.1.6 Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING.....	8
3.1.7 Quantum GIS.....	9
3.1.8 Características da missão Landsat.....	9
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	10
3.2.1 Rede Nacional de Áreas Protegidas de Portugal.....	10
3.2.2 Parque Natural de Montesinho (PNM).....	11
3.3 VALORES NATURAIS DO PARQUE NATURAL DE MONTESINHO.....	12
3.3.1 Geologia	12
3.3.2 Fauna e biótipos	13
3.3.3 Flora e vegetação.....	13
4 METODOLOGIA	16
4.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E PRODUTOS UTILIZADOS	16
4.1.1 Aquisição das imagens	16
4.1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	17
4.2 OPERAÇÕES DESENVOLVIDAS	17
4.2.1 Recorte das imagens no QGIS	18
4.2.2 Rasterização da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS2007)	18
4.2.3 Classificações não-supervisadas	19

4.2.4 Determinação das classes representativas para o carvalhal	19
4.2.5 Classificações Supervisadas	21
4.2.6 Verificação no terreno	21
5 RESULTADOS.....	23
5.1 CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISADA	23
5.2 DETERMINAÇÃO DAS CLASSES REPRESENTATIVAS PARA O CARVALHAL .	23
5.3 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISADA – MAXVER.....	28
6 DISCUSSÃO	30
6.1 CLASSIFICAÇÕES	30
6.2 VERIFICAÇÃO NO TERRENO.....	35
6.2.1 Situação de matos densos	35
6.2.2 Situação de floresta de carvalhos com outras folhosas	37
6.2.3 Situação de florestas de outras folhosas	40
6.2.4 Situação de floresta de castanheiro com folhosas	43
7 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Captação da Energia Eletromagnética por um Sensor Remoto.....	3
Figura 2 - Comprimentos de onda e frequências do espectro eletromagnético	4
Figura 3 - Janelas Atmosféricas e absorção causada pelos gases atmosféricos	5
Figura 4 - Imagem Landsat 5 ETM relativa ao PNM em níveis de cinza	6
Figura 5 - Localização do Parque Natural de Montesinho	12
Figura 6 - Valor das unidades de vegetação do PNM	14
Figura 7 - Bosque de carvalho-negral	15
Figura 8 - Imagem do PNM Landsat 5	17
Figura 9 - Diagrama da metodologia desenvolvida	18
Figura 10 - Pontos verificados em verificação ao terreno.....	22
Figura 11 - Imagem classificada do PNM.....	23
Figura 12 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B432	25
Figura 13 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B4321	25
Figura 14 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B54321	26
Figura 15 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B654321	26
Figura 16 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B7654321	26
Figura 17 - Cartografia da frequência para similaridade 5.....	27
Figura 18 - Cartografia da frequência para similaridade 8.....	28
Figura 19 - Cartografia da presença do carvalhal no PNM.....	29
Figura 20 – Mapa de intersecção da classe 4 com a classe COS - outros carvalhos.....	32
Figura 21 - Áreas 100% para o índice de similaridade 8	33
Figura 22 - Intersecção da cartografia da presença do carvalho no PNM com classe outros carvalhos da COS2007	33
Figura 23 - Matos densos associado ao carvalhal	36
Figura 24 - Carvalhiça associada a matos	36
Figura 25 - Regeneração do carvalhal em área de matos densos	37
Figura 26 - Carvalho-negral	38
Figura 27 - Carvalhal associado a outras folhosas	39
Figura 28 - Vegetação ripícola sem a presença de carvalho	39
Figura 29 - Carvalhal associado a outras folhosas	40
Figura 30 - Carvalhal no sub-bosque de outras espécies de folhosas	41
Figura 31 - Folhas de Carvalho negral (Fendidas) e outras espécies folhosas.....	42
Figura 32 - Jovens carvalhos entre outras espécies folhosas	42
Figura 33 - Carvalhos, castanheiros e matos.....	43
Figura 34 - Castanheiro (primeiro plano), seguindo carvalho e resinosas (fundo).....	44
Figura 35 - Carvalhos e castanheiros	44

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de resolução em Sensoriamento Remoto	6
Quadro 2 - Características da imagem LANDSAT 5.....	10
Quadro 3 - Imagem Landsat 5 utilizada	16
Quadro 4 - Características e resultados das classificações com índice de similaridade 05	24
Quadro 5 - Características e resultados das classificações com índice de similaridade 08..	24
Quadro 6 - Classe 5 da segmentação 5 com todas as bandas em comparação a classes da COS	31
Quadro 7 - Classe 4 da segmentação 8 com todas as bandas em comparação a classes da COS	31
Quadro 8 - Área coincidente entre a classificação MAXVER e demais classes COS200734	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCRS – Canada Center for Remote Sensing

COS2007 – Carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental 2007

CS05L5_B432 – Classificação com índice de segmentação 5 e bandas 4, 3 e 2

CS05L5_B4321 – Classificação com índice de segmentação 5 e bandas 4, 3, 2 e 1

CS05L5_B54321 – Classificação com índice de segmentação 5 e bandas 5, 4, 3, 2 e 1

CS05L5_B654321 – Classificação com índice de segmentação 5 e bandas 6, 5, 4, 3, 2 e 1

CS05L5_B7654321 – Classificação com índice de segmentação 5 e bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1

CS08L5_B432 – Classificação com índice de segmentação 8 e bandas 4, 3 e 2

CS08L5_B4321 – Classificação com índice de segmentação 8 e bandas 4, 3, 2 e 1

CS08L5_B54321 – Classificação com índice de segmentação 8 e bandas 5, 4, 3, 2 e 1

CS08L5_B654321 – Classificação com índice de segmentação 8 e bandas 6, 5, 4, 3, 2 e 1

CS08L5_B7654321 – Classificação com índice de segmentação 8 e bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PNM – Parque Natural de Montesinho

USGS – United States Geological Survey

ESTRUTURA DO TRABALHO

O seguinte trabalho foi estruturado sete partes principais: introdução, objetivos, revisão bibliográfica, material e métodos, resultados, discussão e conclusão.

Na introdução foi realizada uma contextualização do carvalho-negral e sua importância, o sensoriamento remoto no estudo de ecossistemas terrestres e o objetivo geral do trabalho. Em seguida, os objetivos abordaram as metas gerais e específicas visadas no trabalho.

A revisão bibliográfica compreendeu o sensoriamento remoto, sendo abordado seus principais conceitos para melhor compreensão das técnicas de processamento digital de imagens multiespectrais, características sobre a área de estudo e o carvalho-negral.

O tópico material métodos abordou a descrição da informação geográfica utilizada e os principais processos necessários para o desenvolvimento do trabalho. Os dados obtidos pela metodologia foram expostos em seguida na parte dos resultados e discutidos no tópico discussão.

Finalmente, a conclusão apresentou as principais considerações observadas ao longo do trabalho.

1 INTRODUÇÃO

O carvalho-negral (*Quercus pyrenaica* Willd.) é uma espécie encontrada na península ibérica. Em Portugal, esta espécie encontra-se como característica dominante das florestas e paisagens naturais em grande parte dos territórios do norte e centro interior do País e, além de proporcionar matéria-prima ao homem, desempenha importantes funções de conservação dos recursos físicos, ambientais e biológicos. Ademais, o carvalho-negral, amplamente utilizado pelo homem para diversas finalidades ao longo da história, hoje se encontra integrado em paisagens antropizadas, o que salienta a importância das medidas de conservação, gestão e conscientização para sua preservação (Carvalho *et al.*, 2005a).

A evolução das ferramentas de sensoriamento remoto proporcionou uma capacidade da monitorização contínua e periódica das mudanças dos meios naturais a diferentes escalas espaciais e temporais. O lançamento dos satélites imageadores, como a série Landsat, fornece informações para estudos sobre biodiversidade, conservação da natureza e outros campos de aplicação, atuando como ferramentas de auxílio à tomada de decisão e gestão do meio ambiente (Lunetta e Elvidge, 1999; Blaschke, 2010).

Uma das maneiras de extrair informação útil das imagens geradas por sensores remotos é sua classificação temática mediante sistemas de informação geográfica (SIG). Este processo pode ser realizado através de algoritmos de classificação supervisionados e não-supervisionados de acordo com a necessidade do usuário.

As metodologias de classificação podem ser realizadas através de análises dos valores espectrais píxel a píxel ou por regiões, processo que leva em conta também características espaciais da imagem, proporcionando um resultado menos ruidoso. O sistema de informação geográfica SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE), apresenta ferramentas úteis para a aplicação de classificações em imagens multiespectrais. Ao ser disponibilizado gratuitamente na internet, torna-se um software interessante na pesquisa e gestão do meio ambiente (Meneses *et al.*, 2012; Camara *et al.*, 1996).

Finalmente, devido à grande importância do carvalho-negral nos ecossistemas existentes na península ibérica, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia capaz de identificar de forma expedita a área de ocorrência da *Quercus pyrenaica* Willd. no Parque Natural de Montesinho em Portugal.

2 OBJETIVOS

É objetivo geral deste trabalho desenvolver uma metodologia capaz de identificar de forma expedita a ocorrência dos carvalhais da *Quercus pyrenaica* Willd., espécie de valor ecológico alto no PNM, através de ferramentas do sensoriamento remoto e utilização de sistemas de informação geográficas livres. Uma vez determinada a melhor metodologia para reconhecer as áreas ocupadas por esta espécie – carvalhais – esta poderá ser utilizada para uma monitorização atenta, rápida e frequente da evolução da sua distribuição ao longo do tempo.

Para alcançar o objetivo proposto em este trabalho, torna-se necessário a execução dos seguintes objetivos específicos:

- Definir a paisagem a estudar e seus componentes a identificar (carvalhais);
- Inventariar os produtos de Sensoriamento Remoto que podem ser utilizados;
- Decidir sobre os softwares e técnicas a serem aplicadas;
- Aplicar técnicas de classificação de imagens multiespectrais;
- Avaliar os mapeamentos obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico irá abordar conceitos básicos sobre o sensoriamento remoto e técnicas de processamento de imagens necessários para a realização deste trabalho.

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é uma alternativa viável para o empreendimento de estudos e aplicações que envolvem o meio ambiente e os recursos naturais terrestres. Segundo o CCRS (2016), este, pode ser definido como:

“A Ciência da aquisição de informação sobre a superfície terrestre sem estar em contato direto com ela. Isso é realizado através da detecção e registro da energia emitida ou refletida, processamento, análise e aplicação da informação” (CCRS, 2016).

Os materiais existentes na superfície da Terra apresentam a capacidade de emitir, refletir, transmitir e absorver a radiação eletromagnética. Através da razão entre a energia refletida e a energia incidente em uma determinada superfície, verifica-se a refletância espectral do meio e discrimina-se distintos materiais de acordo com a informação final captada pelos sistemas de sensores (Figura 1) (IBGE, 2001).

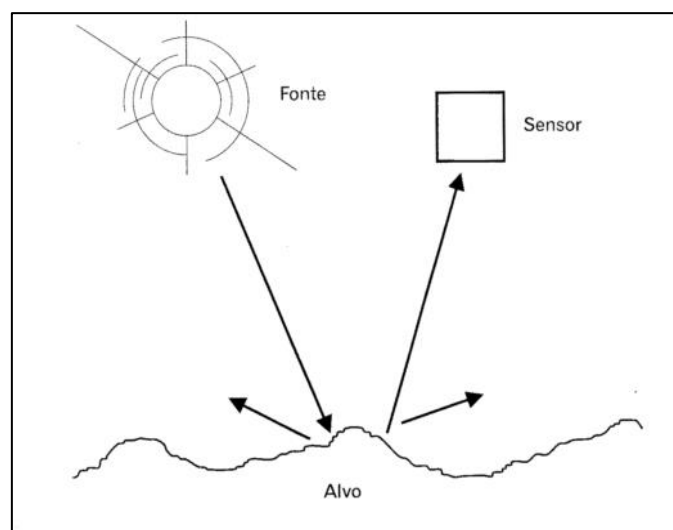


Figura 1 - Captação da Energia Eletromagnética por um Sensor Remoto
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001)

3.1.1 Espectro eletromagnético, assinaturas espectrais e janelas atmosféricas

Como a captação da informação pelo sensor acontece através da detecção e análise da radiação eletromagnética, torna-se necessária a compreensão do espectro eletromagnético. Este (Figura 2), pode ser compreendido pelo intervalo das frequências da radiação eletromagnética e é ordenado em função do comprimento de uma onda eletromagnética e sua frequência (IBGE, 2001).

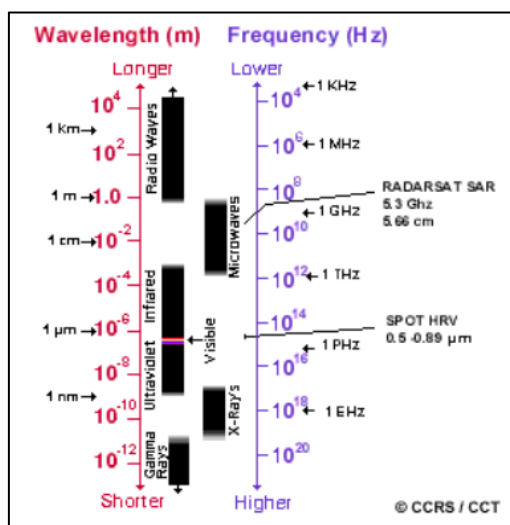


Figura 2 - Comprimentos de onda e frequências do espectro eletromagnético
Fonte: CCRS (2016)

Dentro do espectro eletromagnético, os comprimentos de onda que podemos distinguir e observar a olho nu fazem parte do chamado espectro visível, sendo interessante verificar que esta parte do espectro abrange apenas uma pequena gama de frequências, compreendida por comprimentos de onda entre 0,4 e 0,7 μ m e é a única associada ao conceito de cor. Porém, as demais ondas de frequências não-visíveis pelo homem podem ser detectadas pelos sensores remotos e utilizadas na geração de informação útil, como por exemplo as ondas da faixa do infravermelho que são muito utilizadas em estudos sobre a vegetação e agricultura (CCRS, 2016; Muñoz e Ponce, 2005).

Diferentes materiais refletem e absorvem a radiação eletromagnética diferentemente em distintos comprimentos de ondas. O gráfico da fração de radiação refletida ao longo do espectro fornece as propriedades radiométricas de um material e serve como uma assinatura única para este (IBGE, 2001; Konecny, 2003).

Os sinais de radiação eletromagnéticos coletados pelos sensores dos satélites sofrem modificação devido à absorção e espalhamento provocados pela interação da radiação solar

com gases e aerossóis presentes na atmosfera. A relação entre a radiação que atravessa a atmosfera pelo total de energia incidente é conhecida como transmitância e os locais onde a energia passa e pode ser captada pelos sensores, são conhecidas como janelas atmosféricas (Figura 3) (Song *et al.*, 2001; IBGE, 2001; Konecny, 2003).

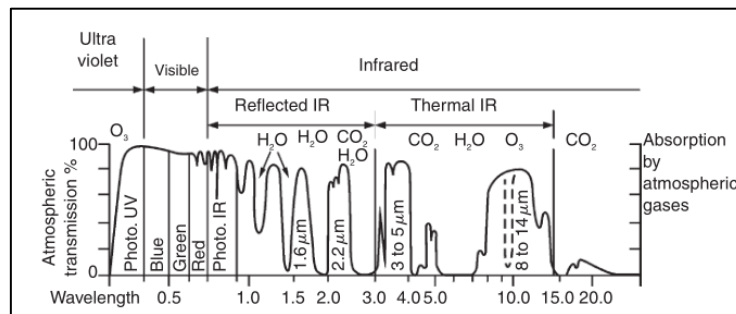


Figura 3 - Janelas Atmosféricas e absorção causada pelos gases atmosféricos
Fonte: Konecny (2003)

3.1.2 Tipos de sensores

Sensores remotos são aqueles capazes de detectar, transformar em sinais elétricos e registrar a energia eletromagnética proveniente de um alvo para posterior conversão em informações úteis sobre o objeto analisado. Um critério de classificação dos sensores é a partir da fonte de energia utilizada. Assim, são classificados como ativos e passivos (Florenzano, 2007).

Os sensores ativos são caracterizados por emitir um sinal próprio que reflete no objeto de interesse e retorna ao sensor. Já os passivos se caracterizam por receber a radiação eletromagnética natural refletida (luz solar) nos objetos presentes na superfície terrestre, apresentando maior valor na avaliação dos recursos naturais (Muñoz e Ponce, 2005).

3.1.3 Características das imagens obtidas por sensores remotos

A imagem digital é formada através de um sensor que detecta a radiação eletromagnética (energia) refletida pela superfície dos objetos alvos, realiza medições e registra cada valor de refletância espectral como um número digital. Posteriormente, esses números são reconvertidos a níveis de cinza e dispostos sobre a forma de uma matriz (linhas x colunas) definido por um sistema de coordenadas “x” e “y”, criando assim a imagem final (Muñoz e Ponce, 2005; IBGE, 2001).

Nesta matriz de números digitais, denomina-se o elemento individual como píxel, sendo este uma representação de uma área da superfície terrestre que está associada a um valor de intensidade da radiação eletromagnética refletida. Esta intensidade convertida em números digitais pode ser representada por níveis de cinza que variam do preto (menor nível de intensidade) ao branco (maior nível de intensidade), formando assim, a imagem digital (Figura 4) (IBGE, 2001).

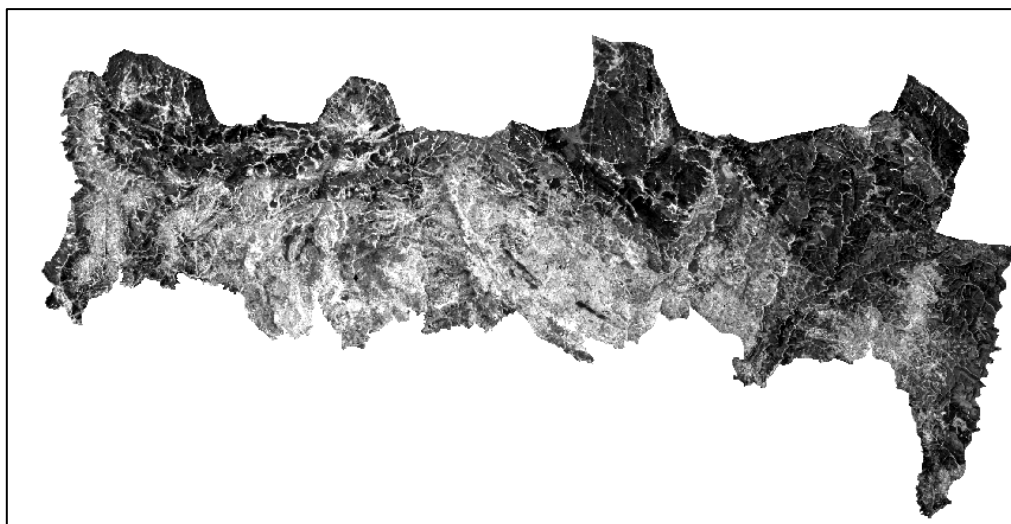


Figura 4 - Imagem Landsat 5 ETM relativa ao PNM em níveis de cinza

As imagens geradas através de técnicas de sensoriamento remoto possuem quatro tipos de resoluções distintas: espacial, espectral, radiométrica e temporal. O valor da informação obtida está diretamente relacionado com essas resoluções cabendo ao usuário definir qual produto melhor para representar o processo a ser estudado.

O Quadro 1, apresenta as características de cada uma das resoluções.

Quadro 1 - Tipos de resolução em Sensoriamento Remoto. Adaptado de CCRS, 2016; IBGE, 2001

Resolução	Características
Espacial	Refere-se as dimensões do menor elemento detectável possível (Píxel).
Espectral	Refere-se a habilidade do sensor em distinguir intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético.
Radiométrica	Refere-se a intervalo de máximo e mínimo níveis de cinza representados por números digitais na imagem gerada.
Temporal	Refere-se a periodicidade do imageamento de um mesmo local realizado por um sensor.

3.1.4 Classificação de Imagens

Em uma imagem digital verifica-se a existência de píxeis associados a um sistema de coordenadas “x” e “y”, que por sua vez, estão relacionados a um valor espectral representante da radiância do alvo em um determinado comprimento de onda do espectro eletromagnético. Assim, existe uma correspondência espacial entre píxeis nas diferentes faixas/bandas do espectro, ou seja, para cada uma das bandas existentes na imagem, vão existir o mesmo número de níveis de cinza associados a cada píxel (Camara *et al.*, 1996).

É a partir deste valor associado a cada píxel que se realiza a classificação de uma imagem, processo que consiste na obtenção de informações para reconhecer padrões e individualizar objetos. Este método é utilizado para definir áreas da superfície terrestre que apresentem o mesmo significado em imagens digitais geradas por sensores produzindo como resultado um mapa temático distribuído em classes (Camara *et al.*, 1996; IBGE, 2001).

Uma classificação pode ser unidimensional, quando se baseia em apenas um canal espectral, ou multiespectral, quando se baseia na distribuição dos níveis de cinza em vários canais espectrais, sendo a segunda a mais interessante para o mapeamento temático devido à heterogeneidade da generalidade das paisagens (Camara *et al.*, 1996).

Para realizar a classificação multiespectral de uma imagem, o primeiro passo é o reconhecimento das assinaturas espectrais de cada classe, processo denominado treinamento. Este treinamento pode ocorrer de maneira supervisionada, onde o usuário irá reconhecer as áreas representativas de uma classe de interesse, ou de maneira não-supervisionada, quando o reconhecimento das classes é realizado por um algoritmo de agrupamento (Camara *et al.*, 1996; IBGE, 2001).

As metodologias empregadas para classificação podem ser divididas entre classificadores “píxel a píxel” e por região, sendo o primeiro caracterizado pela utilização isolada da informação espectral correspondente a cada píxel para a detecção de regiões homogêneas em uma imagem, e o segundo, por relacionarem a informação de um píxel e seus vizinhos baseando-se em suas características espectrais e espaciais da imagem (Meneses *et al.*, 2012; Camara *et al.*, 1996).

Exemplos de classificadores comuns são: Máxima Verossimilhança e Distância Euclidiana, para processos “píxel a píxel”, e Iseseg, Battacharya, Clatex para processos de classificação por região (Meneses *et al.*, 2012).

3.1.5 Classificadores por região e segmentação da imagem

Nos classificadores por região, inicialmente é realizada a segmentação manual ou automática da imagem, processo que estabelece polígonos de áreas consideradas homogêneas pelo algoritmo de segmentação. Estas áreas (regiões) serão usadas pelo algoritmo de classificação ao invés dos valores individuais de cada píxel. A maioria dos algoritmos de segmentação apresentam como regra geral a definição de um limiar de similaridade e área mínima a ser segmentada pelo usuário do software. A similaridade entende-se pela semelhança entre o píxel candidato a ser incluso em um segmento e os parâmetros estatísticos dos píxeis já existentes no segmento em questão (Meneses *et al.*, 2012).

No software SPRING (ver ponto 3.1.6), pode-se realizar a segmentação de uma imagem através do algoritmo “crescimento por regiões”, onde verifica-se a similaridade através da distância euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada região. Esta técnica agrupa as regiões espacialmente adjacentes sendo a inclusão dependente de o limiar (similaridade) definido pelo usuário está ou não dentro da distância entre as médias. Já o valor de área mínima a ser segmentada define a menor área escolhida pelo usuário para ser absorvida pelas regiões adjacentes mais similares a estas (Meneses *et al.*, 2012; Camara *et al.*, 1996).

3.1.6 Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING

Denominado como Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) e desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE), este *software* opera como um banco de dados geográficos capaz de administrar dados vetoriais e matriciais, e a integração de dados de sensoriamento remoto. O projeto deste software foi iniciado em 1991, com o lançamento da versão 1.0 em 1993 e atualmente, na versão 5.4.3, apresenta diversas ferramentas para processamento digital de imagens, como algoritmos classificadores por região, se tornando uma ferramenta atrativa para o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, pois está disponível gratuitamente na *internet* (Meneses *et al.*, 2012; Camara *et al.*, 1996).

Entre as ferramentas de processamento digital disponíveis no SPRING, estão os algoritmos classificadores supervisionados e não-supervisionados como o de Máxima Verossimilhança (MAXVER) e o ISOSEG.

Assumindo que todas as bandas tenham distribuição normal, o classificador supervisionado MAXVER calcula a probabilidade de um píxel pertencer a uma determinada classe pela ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos píxeis de cada classe candidata utilizando parâmetros estatísticos. Já o classificador ISOSEG, realiza um agrupamento de dados não-supervisionado sobre conjuntos de regiões provenientes do processo de segmentação agrupando as regiões de acordo com uma medida de similaridade definida pela distância de Mahalanobis. Como resultado, verifica-se um raster com os agrupamentos resultantes da classificação atribuídos a classes que pode ser convertido em um mapa temático (Meneses *et al.*, 2012).

3.1.7 Quantum GIS

O Quantum GIS (QGIS), é um sistema de informações geográficas gratuito e livre disponibilizado na internet para qualquer usuário interessado. Este software é desenvolvido pelo projeto Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), através de uma comunidade de voluntários que contribuem para a evolução do software, pois trata-se de uma ferramenta *open-source* (QGIS Development Team, 2017).

Neste software trabalha-se sobretudo em um ambiente vetorial, porém, como vem associado a ferramentas como o GRASS e SAGA, torna-se uma plataforma integrada com suporte para o desenvolvimento de aplicações vetoriais, matriciais e de processamento de imagens. Trata-se de uma ferramenta *open-source*, e fornece a possibilidade da utilização de algoritmos e funções auxiliares desenvolvidas por colaboradores que permitem ao usuário personalizar o programa de acordo com suas necessidades.

3.1.8 Características da missão Landsat

Desde o lançamento do primeiro satélite ERTS (Earth Resources Technology Satellite) em 1972, posteriormente renomeado para Landsat 1, o projeto Landsat representa a mais longa aquisição de imagens da superfície de média resolução espacial por sensoriamento remoto. Atualmente, depois do lançamento de mais seis satélites da série, sendo o último o Landsat 8 lançado em 2013, o projeto fornece informação útil para diversas finalidades como estudos sobre a gestão e conservação do meio natural (USGS, 2016a).

O sensor Landsat 5 Thematic Mapper (TM) presente no satélite apresenta como produto imagens com 7 bandas multiespectrais, resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis), resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 metros para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e 120 metros para a banda 6 termal. No Quadro 2, abaixo, pode-se verificar as características de cada banda (USGS, 2016b).

*Quadro 2 - Características da imagem LANDSAT 5
Fonte: Adaptado de United States Geological Survey (2016b)*

Bandas	Comprimento de onda (Micrometros)	Resolução espacial (metros)
Banda 1 – Blue	0.45 – 0.52	30
Bandas 2 - Green	0.52 – 0.60	30
Banda 3 – Red	0.63 – 0.69	30
Banda 4 – Near Infrared (NIR)	0.76 – 0.90	30
Banda 5 – Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55 – 1.75	30
Banda 6 – Thermal	10.40 – 12.50	120* (30)
Banda 7 – Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08 – 2.35	30

*Banda 6 é adquirida com 120 metros mas pode ser reamostrada para 30 metros.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 Rede Nacional de Áreas Protegidas de Portugal

A Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) de Portugal é composta por áreas protegidas (AP) ao abrigo do Decreto-Lei nº 142/2008, de 24 de julho, e respectivos diplomas regionais de classificação. Fazem parte deste grupo as áreas cuja a biodiversidade e outros elementos naturais existentes apresentem valores científicos, ecológicos, sociais ou cênicos, que demandem medidas de conservação e manejo para a promoção da gestão dos recursos, valorização do patrimônio natural e cultural. Também regulamenta as atividades susceptíveis a degradação dessas áreas, portanto, esta classificação visa conceder a uma área um estatuto legal de proteção para sua manutenção e a valorização da paisagem (ICNF, 2017).

Segundo a legislação vigente, as tipologias existentes são: Parque Nacional; Parque Natural; Reserva Natural; Paisagem Protegida; e Monumento Natural. Essas áreas podem ser de âmbito nacional, âmbito regional/local e âmbito privado, sendo as AP de âmbito nacional e as AP de âmbito privado automaticamente inseridas à RNAP, e devendo as de âmbito regional/local, ter sua inclusão/exclusão avaliada pela autoridade nacional (ICNF, 2017).

3.2.2 Parque Natural de Montesinho (PNM)

Situado no Nordeste de Portugal Continental, a norte dos concelhos de Bragança e Vinhais, o PNM (Figura 5) apresenta uma área de extensão de 74229 ha, altitudes que variam entre 438 e 1481 metros, e está localizado geograficamente entre os paralelos 41°43'47'' e 41°59'24'' de latitude Norte e os meridianos 6°30'53'' e 7°12'9'' de longitude Oeste. Abrange 88 aldeias, pertencentes a 38 freguesias dos dois concelhos, tendo uma população aproximada de 8000 habitantes vivendo dentro dos limites do parque (ICNF, 2007).

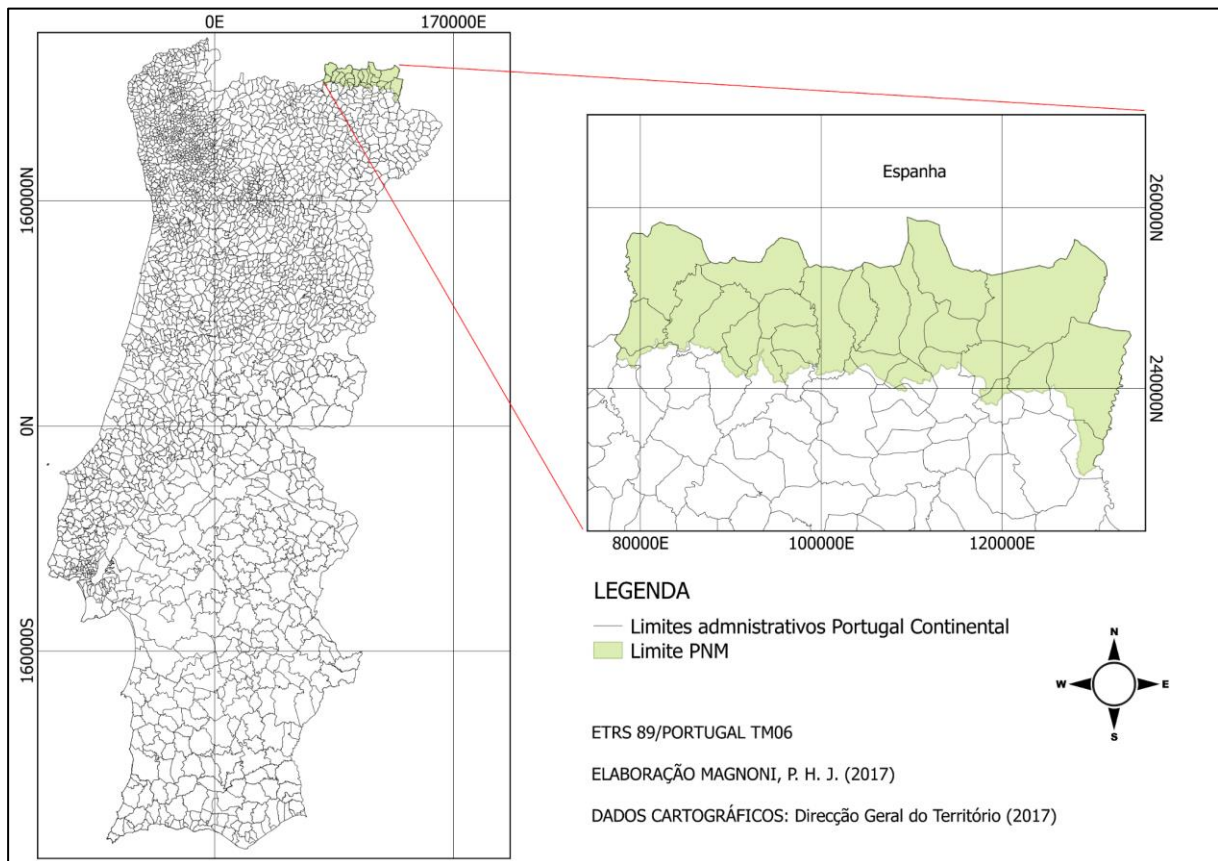
A sua criação aconteceu pelo reconhecimento da riqueza natural, paisagística e dos elementos culturais das comunidades humanas inseridas na região, pelo Decreto-lei nº355/79 de 30 de Agosto, e foi posteriormente, reclassificado como uma AP de tipologia Parque Natural, pelo Decreto lei nº 19/93 de 23 de Janeiro, concretizada através do Decreto Regulamentar nº 5-A/97 de 4 de Abril. Está reclassificação justifica-se pela existência de populações e comunidades animais representativas da fauna ibérica e europeia em relativa abundância e estabilidade, espécies ameaçadas da fauna portuguesa e vegetação natural de grande importância (ICNF, 2007 e 2017).

Atualmente o PNM está inserido na RNAP como um Parque Natural de âmbito nacional, e suas definições e objetivos, dispostos no artigo nº 17 do Decreto-Lei nº 142/2008, de 24 de julho:

1 - Entende-se por Parque Natural uma área que contenha predominantemente ecossistemas naturais ou seminaturais, onde a preservação da biodiversidade a longo prazo possa depender de atividade humana, assegurando um fluxo sustentável de produtos naturais e de serviços.

2 - A classificação de um parque natural visa a proteção dos valores naturais existentes, contribuindo para o desenvolvimento regional e nacional, e a adoção de medidas compatíveis com os objetivos da sua classificação, designadamente:

- a) A promoção de práticas de manejo que assegurem a conservação dos elementos da biodiversidade;
- b) A criação de oportunidades para a promoção de atividades de recreio e lazer, que no seu carácter e magnitude estejam em consonância com a manutenção dos atributos e qualidades da área;
- c) A promoção de atividades que constituam vias alternativas de desenvolvimento local sustentável.



*Figura 5 - Localização do Parque Natural de Montesinho
Fonte dados cartográficos: Direcção-Geral do Território (2017a)*

3.3 VALORES NATURAIS DO PARQUE NATURAL DE MONTESINHO

A delimitação dos elementos de relevante valor natural no PNM foi realizada através do estudo da valoração dos elementos geológicos e biológicos presentes no Parque. Portanto, este tópico, irá abranger de forma sucinta estes três elementos, afim de enquadrar a importância do Parque quanto a conservação e manutenção do meio ambiente. A explicação detalhada das metodologias utilizadas e todos os resultados da valoração dos elementos naturais podem ser encontradas no Plano de Ordenamento do PNM (ICNF, 2007).

3.3.1 Geologia

A valoração geológica e geomorfológica do PNM é necessária devido a notável geodiversidade presente no parque. Dessa maneira, a caracterização das áreas relevantes, do ponto de vista geológico, foi realizada através da verificação de um ou mais elementos da

geodiversidade, que estejam bem delimitados geograficamente e que apresentem importância do ponto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico ou outros (ICNF, 2007).

Através da definição das áreas relevantes, verificou-se qual era o grau de importância e valoração destas, definindo medidas como por exemplo, a restrição do acesso a estas áreas, ou não. Entre essas áreas, estão a Serra das Barreiras Brancas, local de interesse paleontológico, e os Granitos do Rio Frio, local de interesse geocronológico, definidos como áreas de relevância excepcional (ICNF, 2007).

3.3.2 Fauna e biótipos

Para verificação da relevância da fauna existente, foi realizada uma hierarquização das espécies de vertebrados no PNM, através da determinação de variáveis relacionadas com o estatuto de conservação, e a biologia e distribuição das espécies. Foram definidas quais espécies devem ser alvo de medidas conservacionistas, como é o caso da Toupeira-da-água (*Galemys pyrenaicus*), mamífero que apresentou uma grande demanda de ações para sua manutenção na área. (ICNF, 2007).

Verificou-se também, além dos valores faunísticos, a importância da conservação dos biótopos que abrigam as espécies mais ameaçadas, raras e vulneráveis. Realizou-se uma hierarquização baseada na fauna existente e a riqueza específica, definindo áreas como de valor excepcional, alto, médio e baixo (ICNF, 2007).

3.3.3 Flora e vegetação

O processo de valoração da flora e vegetação no PNM, foi realizado para 23 unidades de vegetação existentes no parque. Foram consideradas diversas variáveis como: Diversidade, Representatividade, Maturidade, Regenerabilidade, Raridade, Endemicidade, Relictismo, carácter finícola, função geomorfológica, função climática, função hidrológica, função edáfica, função faunística entre outras. Através da análise dessas variáveis, foi encontrado um valor de interesse de conservação para cada unidade (Figura 6), definindo dessa maneira, quais áreas apresentam valor excepcional, alto, médio e baixo (ICNF, 2007).

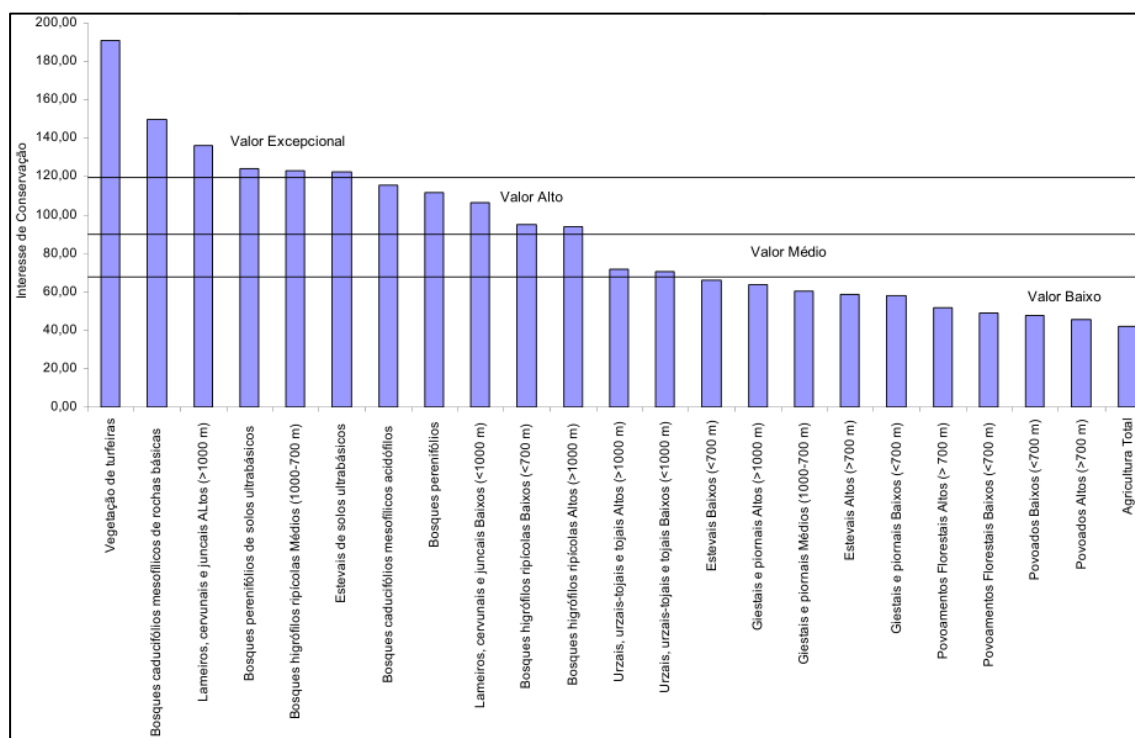


Figura 6 - Valor das unidades de vegetação do PNM
 Fonte: (ICNF, 2007)

Classificada como uma unidade de valor excepcional para conservação, os bosques caducifólios mesofílicos sobre rochas básicas, correspondem as áreas onde é encontrado o carvalho-negral. Uma espécie (*Quercus pyrenaica* Willd.) autóctone que desempenha importantes funções na conservação do solo, da água, biodiversidade, clima e da paisagem natural e atua como fonte de matéria prima lenhosa e não lenhosa para o homem, e consequentemente, na melhoria econômica local e regional. Esta espécie apresenta uma área de extensão natural muito ampla abrangendo diversas regiões de Portugal, como Trás-os-Montes, Beira Alta, Beira Baixa e Alto Alentejo, Alto Minho, Beira Litoral, Estremadura e Ribatejo, estendendo-se, portanto, em diversos contextos bioclimáticos, o que caracteriza seu elevado valor ecológico (Carvalho, Santos e Reimão, 2005). As suas matas – os carvalhais – representam o estágio de clímax inerente à generalidade do território do PNM (Figura 7).

No PNM, de entre as formações vegetais onde os carvalhais da *Quercus pyrenaica* Willd. se integram, destaca-se como de excepcional valor natural, a formação vegetal Bosques caducifólios mesofílicos sobre rochas básicas, localizada na região central do parque entre os rios Tuela e Sabor. Já a escala da paisagem, estes carvalhais ocorrem em maior abundância na Unidade denominada Vinhais (14950 ha). Esta, descrita como uma área de Policultura subatlântica e localizada principalmente na zona do Tuela e Baceiro, é composta por elementos de Carvalhal (28%), Folhasas (20%), Carvalhiça (12%) e Sequeiro marginal (11%) que

representam um mosaico heterogêneo entre a vegetação natural e as atividades antrópicas devido a maior presença dos povoados nesta unidade de paisagem do parque (ICNF, 2007).

Por proporcionar um sistema de múltiplos usos e funções, estes carvalhais apresentam áreas interessantes do ponto de vista econômico e ambiental. Estes bosques proporcionam o desenvolvimento de atividades cinegéticas, exploração de recursos como extração de lenha e cogumelos comestíveis, suporte das atividades pastoris, além de fornecer habitats favoráveis para diversas espécies de fauna e flora natural, como o corço e o javali encontrados nestes sítios (Carvalho *et al.*, 2005b; ICNF, 2007). Desta maneira, salienta-se a importância da boa gestão dessas áreas devido à importância ecológica a qual desempenham.



Figura 7 - Bosque de carvalho-negral (Lat. 41.860383 Long. -7.001564)

4 METODOLOGIA

4.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E PRODUTOS UTILIZADOS

4.1.1 Aquisição das imagens

Foi adquirida uma imagem proveniente do satélite Landsat 5 Thematic Mapper. Esta imagem foi obtida gratuitamente através do sítio do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS, 2016c). As informações de identificação da imagem podem ser vistas no Quadro 3:

Quadro 3 - Imagem Landsat 5 utilizada

ID do produto	Data	Path/Row	Sensor
LT05_L1TP_203031_20070731_20161111_01_T1	31/07/2007	203/31	LANDSAT5 Thematic Mapper (TM)

Optou-se por uma imagem Landsat, visto que esta está disponibilizada gratuitamente para fins de estudo e pesquisa, e por apresentar resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal que cumprem os pré-requisitos para o desenvolvimento dos objetivos propostos neste trabalho.

A imagem com data de aquisição 31/07/2007 faz parte do inventário Landsat 5 collection level-1, e conta com processos de correção radiométrica e atmosféricas de alta qualidade o que a torna viável para estudos de cobertura do solo e análises temporais. Salienta-se que a banda 6 (termal) desta série é disponibilizada com sua resolução espacial reamostrada de 120 para 30 metros, o que permite a inclusão desta banda nos processos de classificação da imagem. (USGS, 2016c).

Na Figura 8, abaixo, é possível observar uma composição falsa cor através de um mosaico com as bandas B432 que representa toda a extensão do PNM. Nesta composição, a vegetação é representada em tons de vermelho, pois os organismos clorofilados refletem muito mais a energia eletromagnética proveniente da luz solar na faixa do infravermelho próximo (Meneses *et al.*, 2012). A escolha de uma imagem captada em meses de verão facilita a identificação da vegetação, visto que há maior incidência solar neste período e menor incidência de nuvens que causam sombras na superfície.

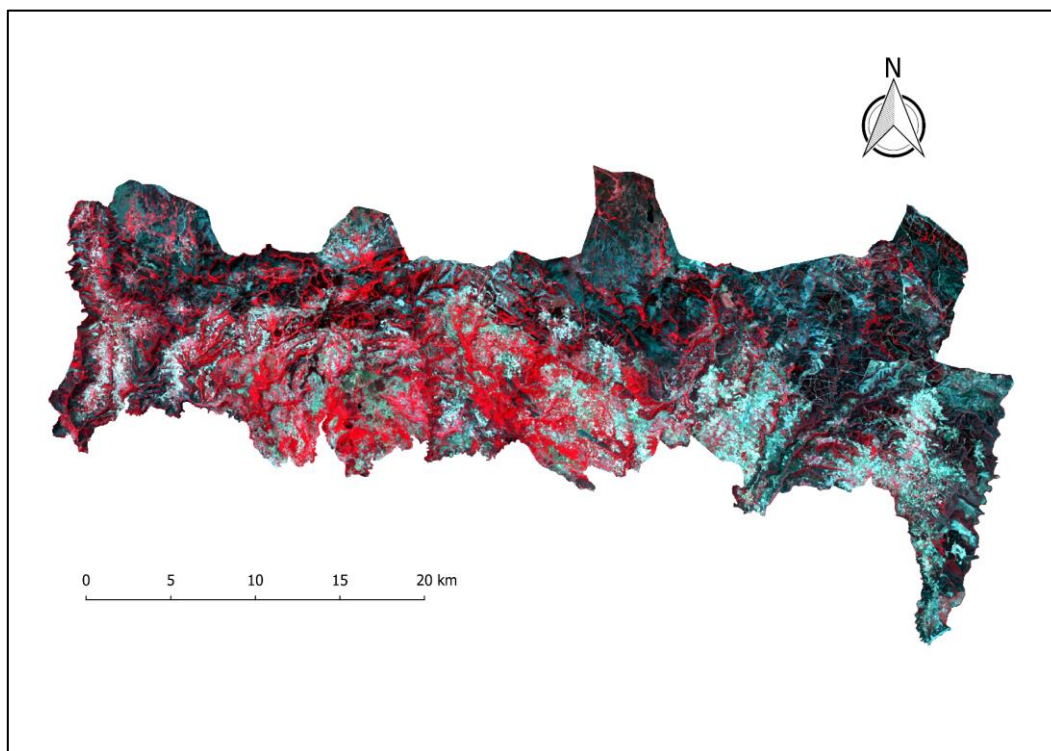


Figura 8 - Imagem do PNM Landsat 5

4.1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Para realizar o processamento digital das imagens, foram utilizados os sistemas de informação geográfica SPRING 5.4.3 (Camara *et al.*, 1996) e QGIS 2.14.11 (QGIS development team, 2017). Ambos são softwares livres e estão disponíveis para *download* em seus respectivos sítios na internet.

4.2 OPERAÇÕES DESENVOLVIDAS

Este tópico aborda os processos desenvolvidos no trabalho, desde a aquisição da imagem Landsat, até as imagens classificadas referentes as manchas do carvalhal. Abaixo, temos o diagrama da metodologia desenvolvida (Figura 9).

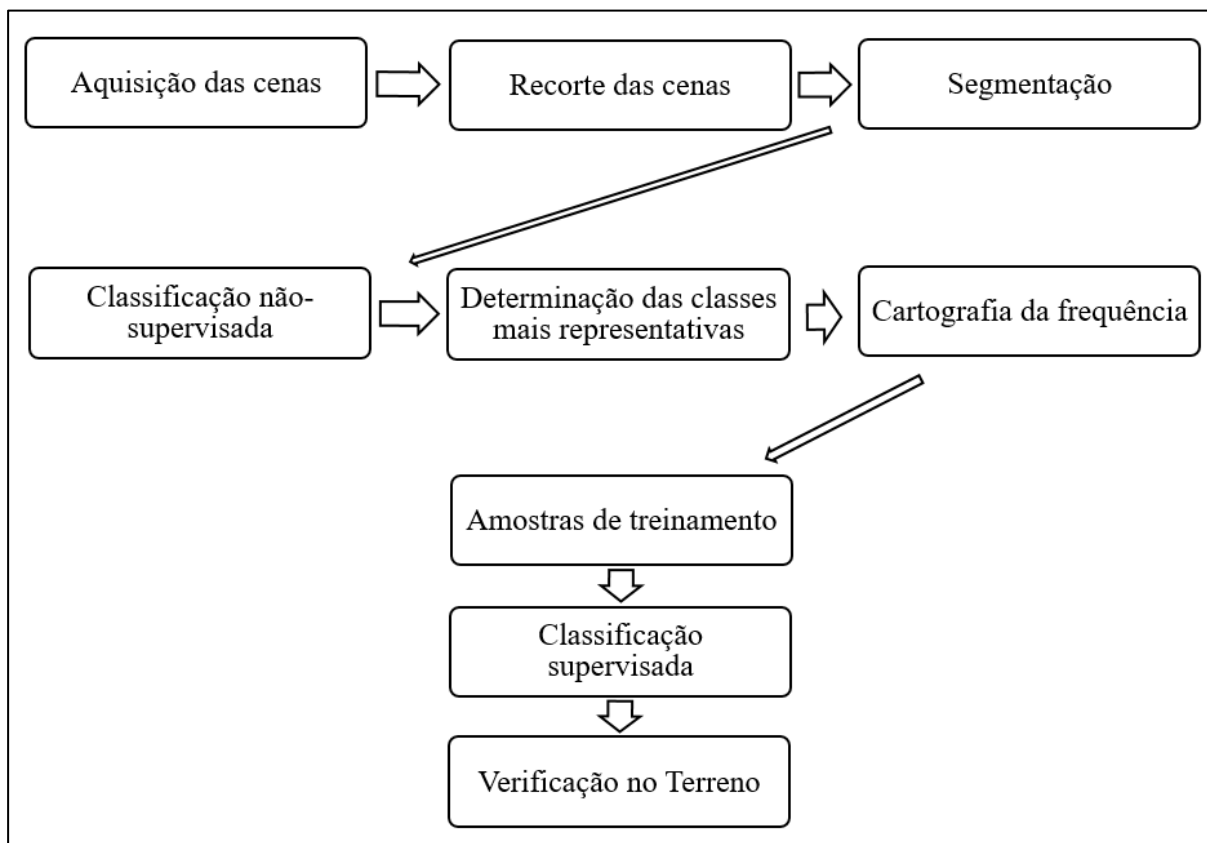


Figura 9 - Diagrama da metodologia desenvolvida

4.2.1 Recorte das imagens no QGIS

Após a aquisição da imagem Landsat, esta foi recortada para todas as suas bandas espectrais com utilização do limite oficial do PNM como camada máscara no QGIS 2.14.11. Esta operação é necessária para facilitar a posterior aplicação dos algoritmos classificadores, tornando o processo mais rápido de ser aplicado, e minimizando a memória de armazenamento necessária no banco de dados dos *softwares* utilizados.

4.2.2 Rasterização da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS2007)

A COS2007 foi realizada com a utilização de interpretação visual de imagens aéreas ortorrectificadas durante o ano de 2007 para o território continental de Portugal (Direção-Geral do Território, 2017b). Para sua utilização como cartografia de referência na detecção das classificações mais representativas para o carvalho, o ficheiro deste mapeamento adquirido em formato *shapefile*, através da página na internet da Direção-Geral do Território, e foi convertido

para formato *raster* através do QGIS 2.14.11 para posterior aplicação da extensão “Accuracy Assessment” entre o mapa de referência e as imagens classificadas.

Neste trabalho, foi utilizado o nível de hierarquia N5 da COS2007. Outra ação importante foi sua conversão para *raster* com resolução espacial de 30 metros, ou seja, uma matriz composta por píxeis de 900 m². Este ajuste da resolução foi necessário para cruzamento da cartografia de referência com as imagens classificadas, visto que a extensão utilizada neste procedimento necessita que os *rasters* de entrada tenham a mesma dimensão dos píxeis.

4.2.3 Classificações não-supervisadas

Para determinar quais as variáveis de entrada do processo de classificação melhor respondem a assinatura espectral das manchas do carvalho-negral, foram aplicadas diversas classificações não-supervisadas para as imagens recortadas anteriormente.

Para realizar as classificações da imagem, inicialmente suas bandas foram exportadas para o SPRING 5.4.3 em um banco de dados, para posterior segmentação e classificação.

Após aplicar o algoritmo de segmentação (AS), foram extraídos os atributos da imagem segmentada para a execução do algoritmo classificador (AC) não-supervisado. Este procedimento foi realizado para as várias imagens segmentadas. Neste trabalho, foi utilizado como AS, o “crescimento por regiões” e como AC, o ISOSEG.

As classificações foram aplicadas para diferentes composições de bandas em imagens segmentadas, provenientes da aplicação dos índices de similaridade 5 e 8 no AS, para determinar a melhor relação entre índice de similaridade/composição de banda na detecção de carvalhais homogêneos a partir do valor espectral dos píxeis presentes na imagem Landsat.

Em todas as classificações, a área mínima do processo de segmentação foi fixada em 10 píxeis e os valores de entrada do AC determinados como os padrões do SPRING: 95% de limiar de aceitação e 5 iterações de classificação.

4.2.4 Determinação das classes representativas para o carvalho

Após gerar as imagens classificadas foram determinadas as classes mais representativas em comparação com a cartografia de referência. Como a COS2007 foi realizada em período muito similar à data de aquisição da imagem Landsat utilizada, esta serviu de base na determinação das classes representativas, atuando nesta etapa, como verdade terrestre.

Cabe salientar que na COS2007 existem diversas classes onde estão presentes carvalhais, desde as mais homogêneas, até locais onde esta espécie ocorre com espécies mais diversificadas, predominando um ambiente mais heterogêneo. Dessa maneira, para determinação das classes mais representativas, procurou-se as classes mais coincidentes com as áreas definidas como florestas de carvalho puro segundo a cartografia de referência, nomeadamente, áreas da classe COS2007 - 3.1.1.01.3 (florestas de outros carvalhos).

A aplicação da extensão “Accuracy Assessment” no QGIS 2.14.11 com a COS2007 como cartografia de referência e as imagens classificadas como mapa avaliado, gerou um arquivo de texto para cada classificação. Estes arquivos tratados em Excel, possibilitaram a verificação quantitativa dos píxeis de cada classe criada pelo AC, coincidentes a determinadas classes da COS2007. Finalmente, para a determinação das classes de maior representatividade foram comparadas as frequências observadas para cada par classe ISOSEG x classe COS2007 - N5 com as frequências que seriam de esperar em função da respectiva proporção, mediante ao termo simples da equação do chi-quadrado (equação 1):

$$x = \frac{(O - E)^2}{E}$$

considerando:

O – ocorrência de píxeis de determinada classe ISOSEG coincidente com determinada classe na cartografia COS2007;

E – frequência esperada de determinada classe ISOSEG coincidente com determinada classe na cartografia COS2007, obtida por:

(Total de píxeis da classe ISOSEG x Total de píxeis da classe COS2007) / Total de píxeis da imagem.

Com esta avaliação, foi possível identificar as classes ISOSEG que melhor discriminam as manchas da *Quercus pyrenaica* Willd. na imagem e da data referida para cada classificação realizada, segundo a combinação de bandas considerada e a similaridade utilizada.

Também se verificou as demais áreas que foram classificadas como carvalho pelo AC e que não condizem com a COS2007. Para tanto, buscou-se na classe mais coincidente as classes da cartografia de referência onde este efeito foi mais relevante.

A partir da sobreposição das classes que melhor representaram o carvalho, obtidas em diferentes classificações, a calculadora *raster* do QGIS permitiu elaborar a cartografia da

frequência com que o carvalho foi identificado ao longo do território do PNM pelas classificações não-supervisadas.

A partir da elaboração destes mapas, a hipótese avaliada nesta etapa é de que as áreas de maior frequência atuem como amostras significativas ao processo de amostragem na aplicação do algoritmo de classificação supervisionada.

4.2.5 Classificações Supervisadas

Após a aplicação da metodologia de classificação não-supervisada, foi gerada a cartografia da frequência do carvalho para as classificações provenientes das segmentações com índice de similaridade 5 e 8. Nestes mapas, as áreas que discriminam o carvalho simultaneamente em todas as classificações (áreas 100%), tornam-se candidatas para o treinamento de um algoritmo de classificação supervisionada cuja acurácia dependerá da tomada de amostras significativas do objeto de interesse. Assim, a tentativa de verificar esses padrões a partir de um algoritmo de classificação não-supervisada torna-se interessante, pois este tipo de classificador demanda menos tempo de aplicação em áreas grandes como o PNM.

A partir da extração das “áreas 100%”, estas foram utilizadas como auxiliares na tomada de amostra para aplicação do classificador supervisionado MAXVER no SPRING. Finalmente, as imagens classificadas geradas foram cruzadas com a cartografia de referência para avaliar o comportamento desta classificação em relação as classes da COS2007.

Posteriormente à classificação, foi aplicado o termo simples do chi-quadrado (equação 1) ao cruzamento imagem classificada com a cartografia de referência para determinação de áreas potenciais para verificação no terreno.

4.2.6 Verificação no terreno

O cruzamento do resultado obtido na aplicação da classificação supervisionada com a cartografia referência, permitiu obter áreas de intersecção entre locais classificados como carvalho que segundo a COS2007 faziam parte de outras classes que não a classe floresta de outros carvalhos. Para estas áreas, foram gerados pontos aleatórios para a verificação no terreno.

O mapa abaixo, Figura 10, apresenta as manchas (polígonos) de carvalho segundo o classificador supervisionado aplicado, e os pontos são os locais verificados durante a visita de campo. A designação destes pontos é dada por:

- “maxandcod35” = Área de carvalhal, segundo o classificador MAXVER, que foi classificada como castanheiros e outras folhosas (3.1.1.02.4) segundo a COS2007;
- “maxandcod34” = Área de carvalhal, segundo o classificador MAXVER, que foi classificada como carvalhais mais outras folhosas (3.1.1.02.3) segundo a COS2007;
- “maxandcod49” = Área de carvalhal, segundo o classificador MAXVER, que foi classificada como matos densos (3.2.2.01.1) segundo a COS2007;
- “maxandcod32” = Área de carvalhal, segundo o classificador MAXVER, que foi classificada como florestas de outras folhosas (3.1.1.01.7) segundo a COS2007.

Estas classes foram selecionadas mediante o cruzamento e aplicação do termo simples de chi-quadrado (equação 1), para a “imagem classificada X cartografia de referência”. Sendo estas, as mais significativas em área.

Diversos pontos foram criados aleatoriamente nestas áreas, e os mostrados da Figura 10 são aqueles onde foi realizada a tomada de fotografias para apoiar a discussão deste trabalho. Entretanto, entende-se que o número de pontos verificados não é suficiente para uma validação estatística da cartografia gerada, mas serviram de base para a compreensão do mapeamento obtido e do potencial desta classificação na identificação dos carvalhais.

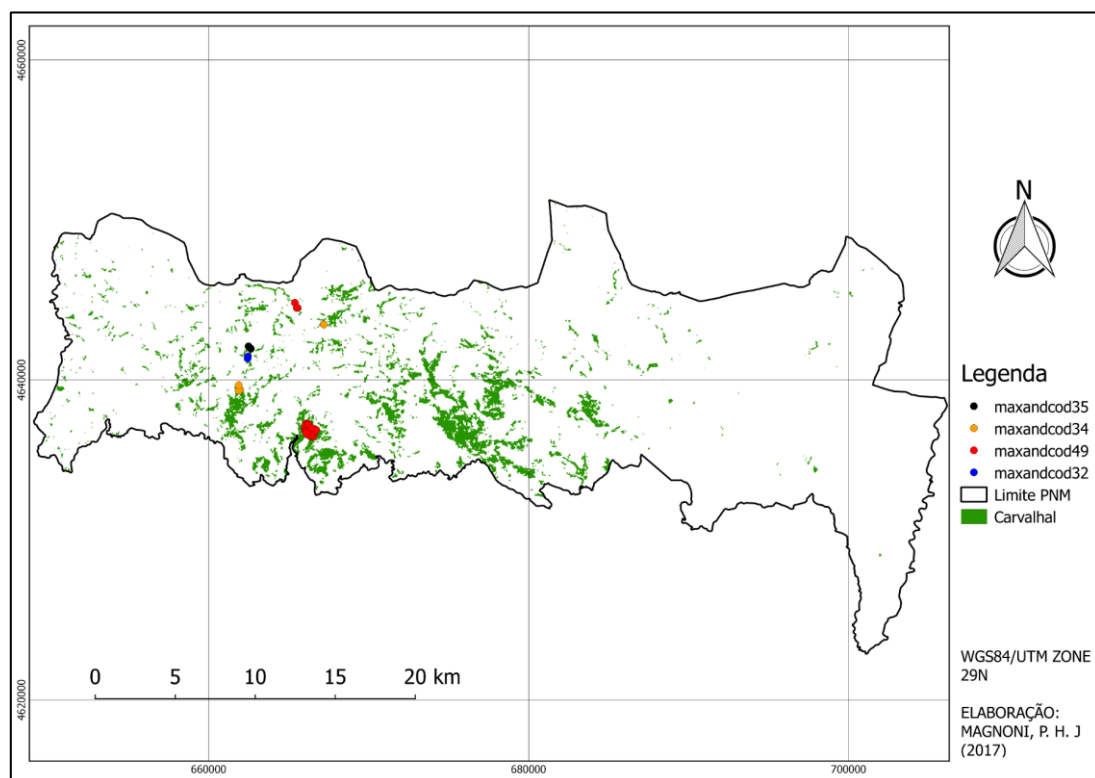


Figura 10 - Pontos verificados em verificação ao terreno

5 RESULTADOS

5.1 CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISADA

As classificações não-supervisadas aplicadas pelo algoritmo classificador ISOSEG resultaram em 10 imagens classificadas provenientes da utilização de diferentes composições de bandas e de uma segmentação para os índices similaridade 5 e 8.

Estas imagens classificadas apresentam classes aleatórias resultantes do processo de identificação e agrupamento das áreas de semelhante valor espectral pelo AC. Na Figura 11 é possível visualizar a imagem classificada (CS05L5-B432-ISOSEG) representativa de uma classificação com utilização das bandas 4, 3 e 2 com índice de segmentação 05 onde cada classe aleatória está representada por cores definidas aleatoriamente pelo AC.

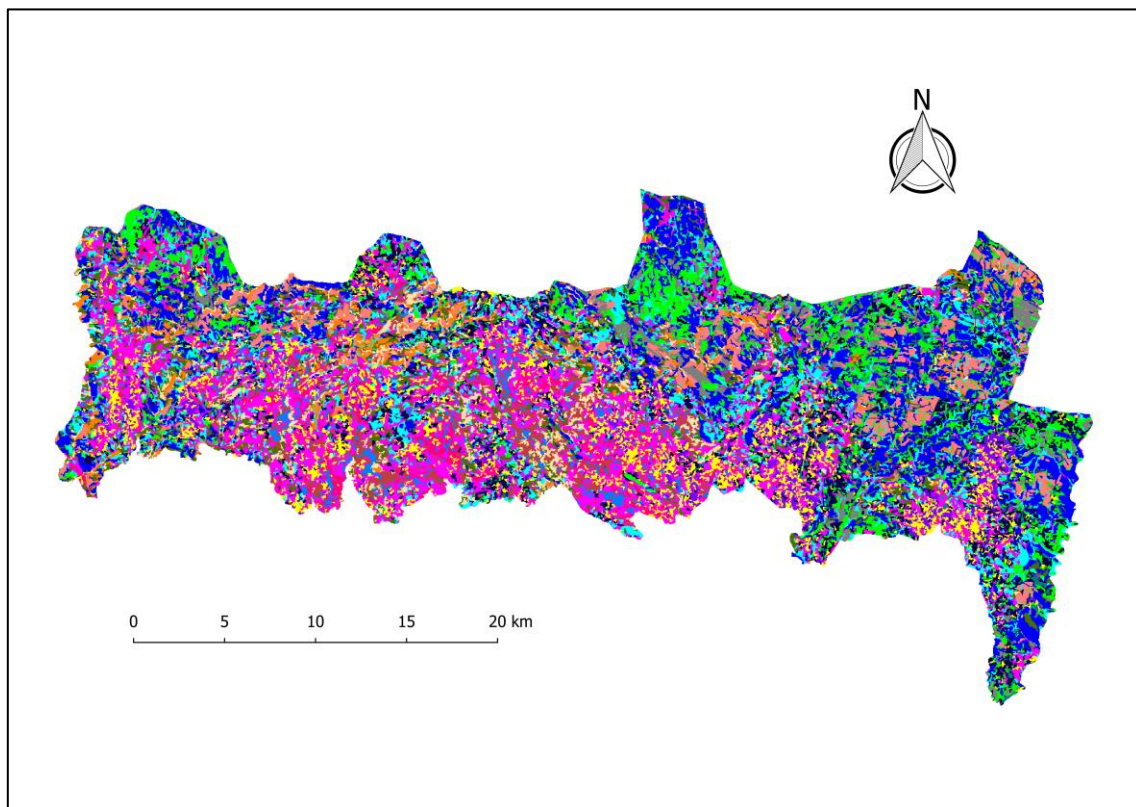


Figura 11 - Imagem classificada do PNM

5.2 DETERMINAÇÃO DAS CLASSES REPRESENTATIVAS PARA O CARVALHAL

A partir da comparação entre as frequências observadas para cada par classificação ISOSEG x COS2007 - N5 com as frequências que seriam de esperar em função da respectiva

proporção mediante a aplicação do termo simples do chi-quadrado, verifica-se no Quadro 4 e Quadro 5 as quatro classes aleatórias das imagens classificadas que melhor coincidem com a classe representante aos carvalhais na cartografia de referência (3.1.1.01.3 – outros carvalhos).

Quadro 4 - Características e resultados das classificações com índice de similaridade 05

Bandas	Nº de Classes geradas	4 Classes mais aderentes	(O-E) ² /E	Classe COS2007 de comparação
432	17	5	77338	3.1.1.01.3 outros carvalhos
		7	31479	
		12	17902	
		3	5421	
4321	16	4	69215	
		6	53422	
		3	7753	
		2	3809	
54321	23*	3	71199	
		22	22956	
		8	18143	
		9	3785	
654321	29*	13	75966	
		3	65479	
		12	9141	
		2	5279	
7654321	32*	5	50430	
		8	30979	
		13	29402	
		18	29006	

Quadro 5 - Características e resultados das classificações com índice de similaridade 08

Banda	Nº de Classes geradas	4 Classes mais aderentes	(O-E) ² /E	Classe COS2007 de comparação
432	11	3	108529	3.1.1.01.3 outros carvalhos
		2	10189	
		4	5712	
		5	4532	
4321	11	8	98781	
		3	11809	
		2	9734	
		9	3208	
54321	19	16	69453	
		17	31702	
		3	13450	
		2	5319	
654321	24	3	110225	
		12	10834	
		5	2778	
		2	2190	
7654321	23	4	138512	
		14	4296	
		3	3354	
		5	2495	

Também foram elaborados gráficos com as diferenças entre os valores observados e os esperados probabilisticamente, tendo no eixo x as classes mais representativas da segmentação, e no eixo y, as classes da cartografia de referência que mais coincidem com a anterior para identificação das demais áreas classificadas na classe do carvalho pelo algoritmo classificador que não condizem com a COS2007 (Figura 12 a Figura 16).

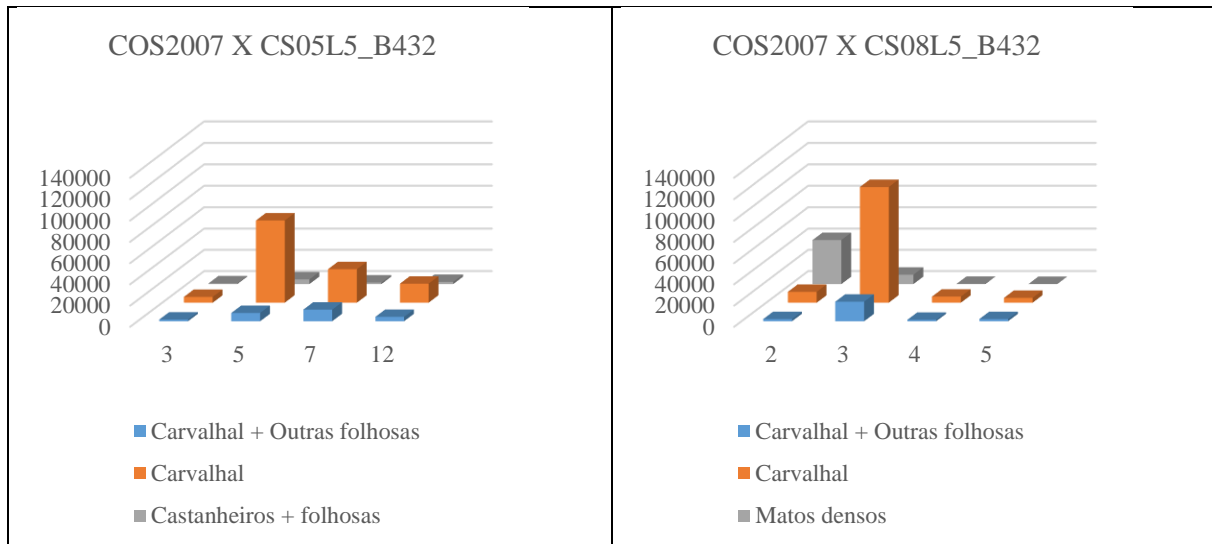


Figura 12 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B432

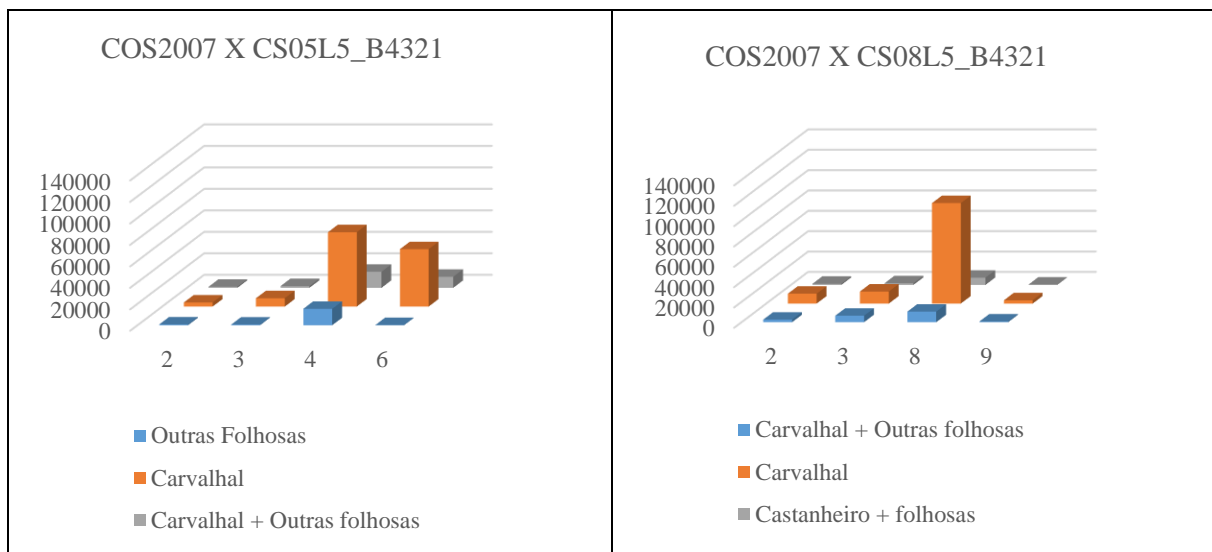


Figura 13 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B4321

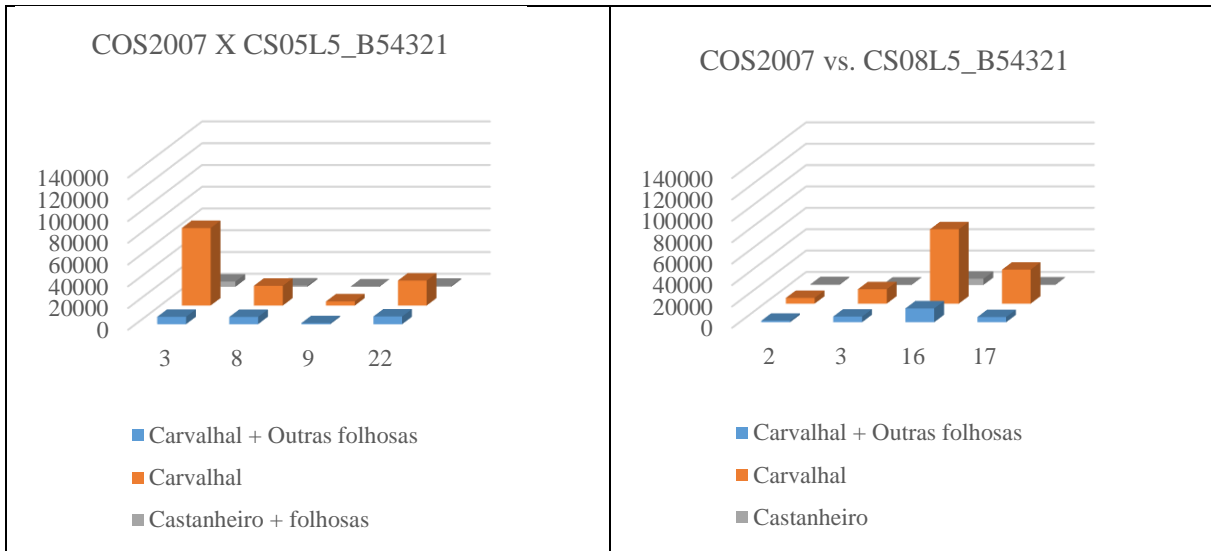


Figura 14 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B54321

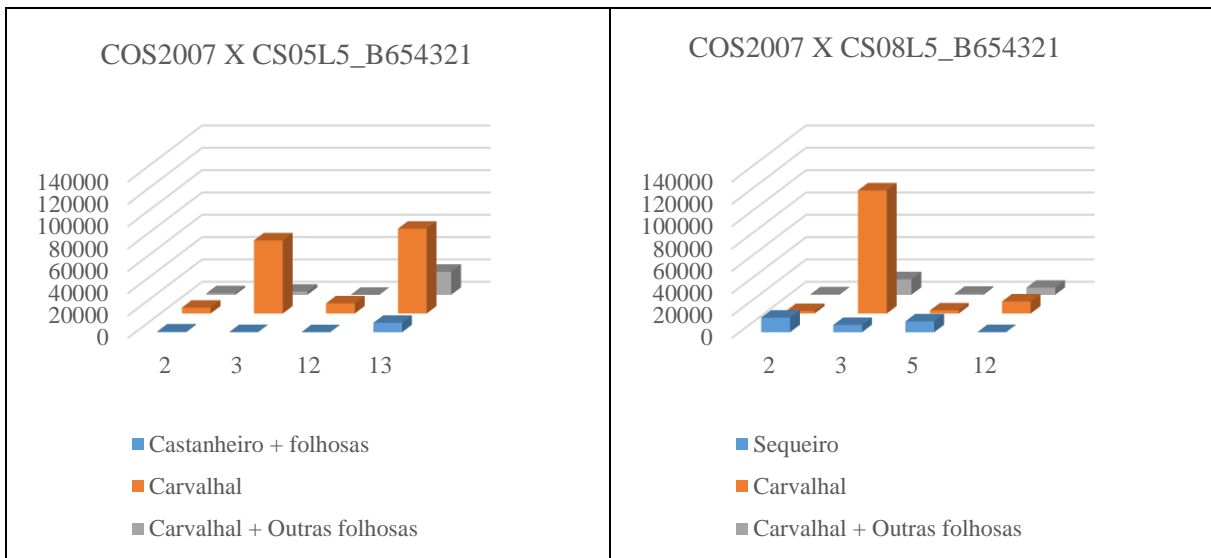


Figura 15 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B654321

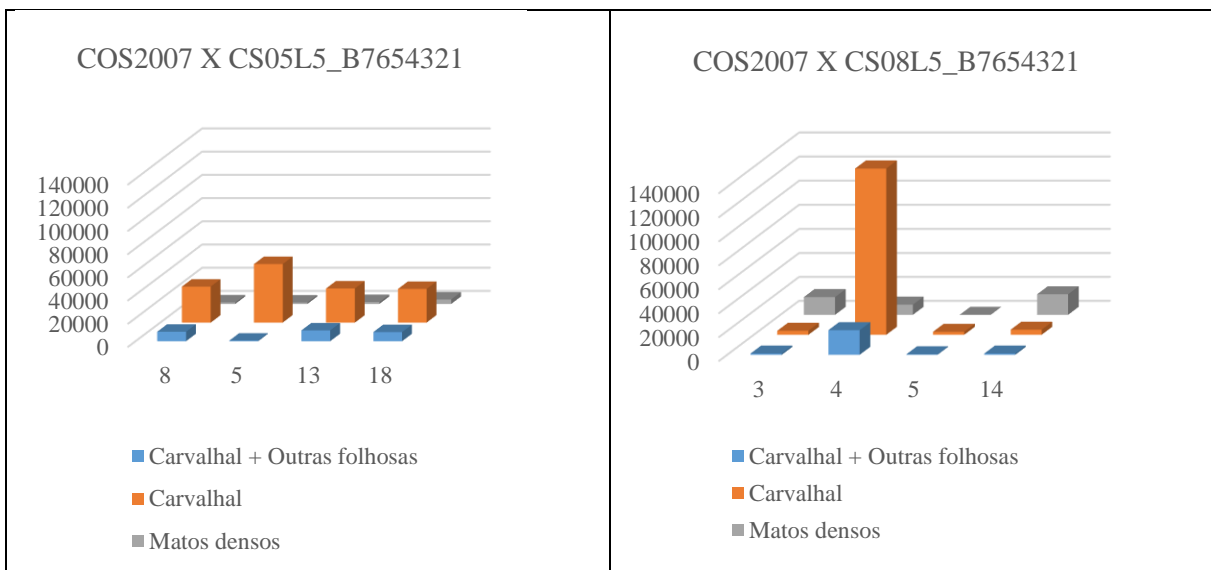


Figura 16 - Comparação entre classificação com segmentação 5 e 8 com as bandas B7654321

A coincidência dos píxeis das classes mais representativas do carvalhal para as cinco classificações realizadas, gerou dois mapas com valores de 0 a 100%, um para as classificações provenientes da segmentação de similaridade 5 outra para 8 (Figura 17 e Figura 18).

Nestes mapas, quanto mais próximo de 100%, maior a frequência que uma área foi classificada como mancha de carvalhal. Assim, o valor de 100% indica que uma área foi identificada como carvalhal em todas as classificações.

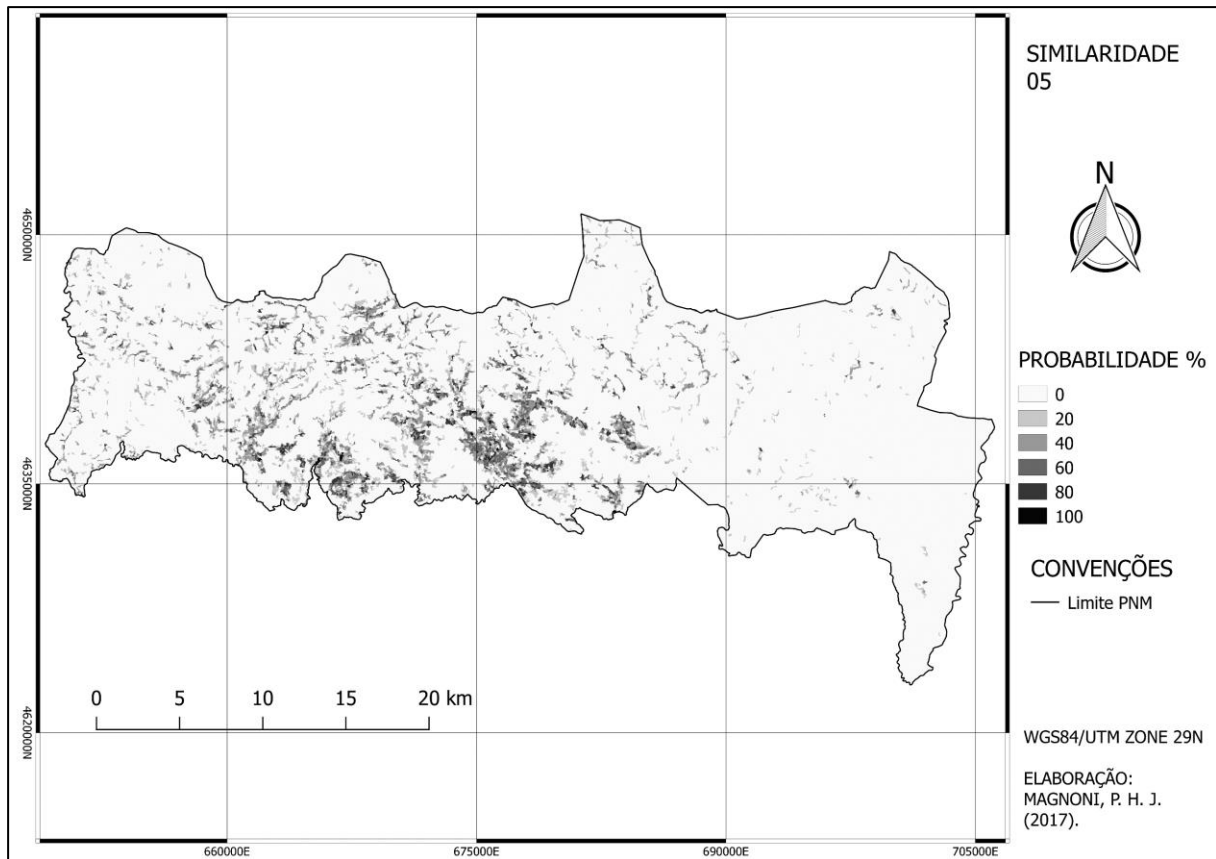


Figura 17 - Cartografia da frequência para similaridade 5

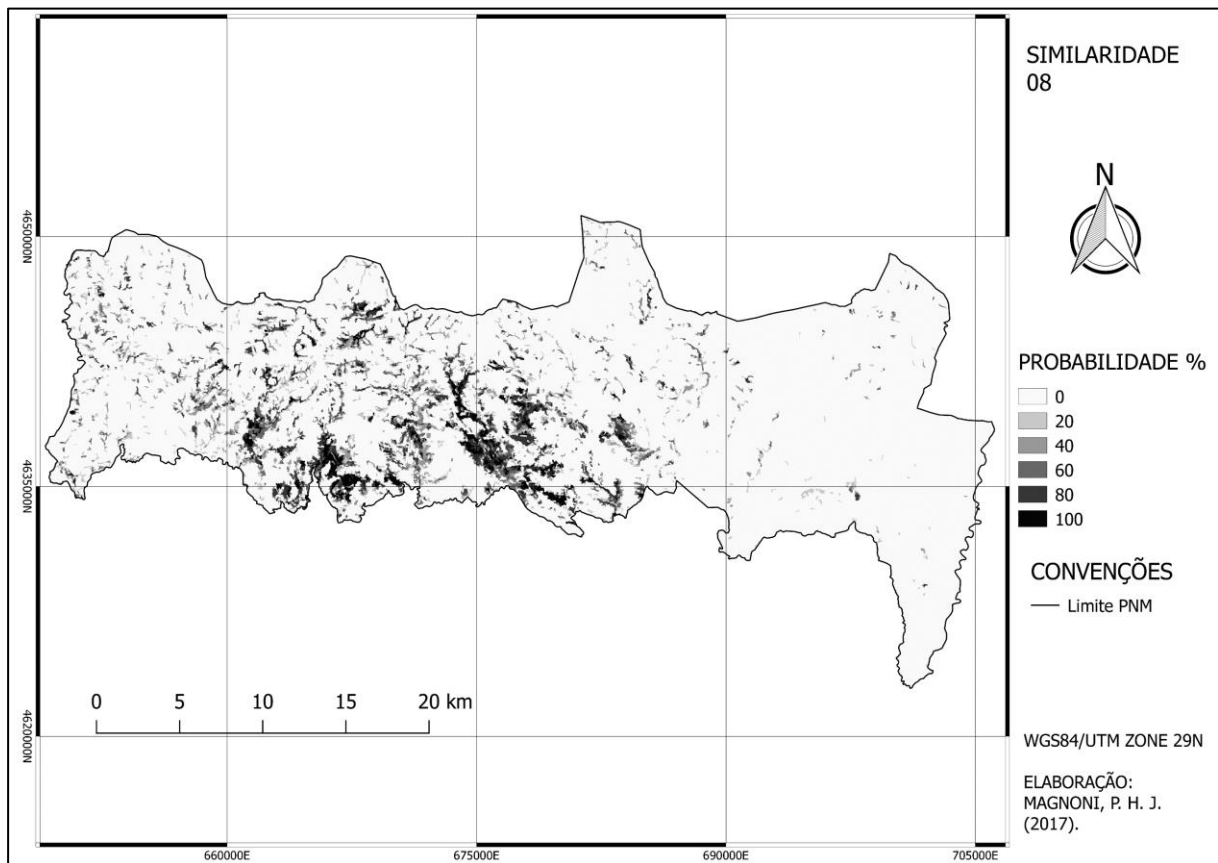


Figura 18 - Cartografia da frequência para similaridade 8

5.3 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISADA – MAXVER

A utilização das áreas com valor de 100% da cartografia da frequência de similaridade 8 como amostras no processo de treinamento do classificador MAXVER no SPRING, permitiu a cartografia da presença do carvalho no PNM. A área classificada abrangeu um total de 4703 hectares (ha) no parque (Figura 19).

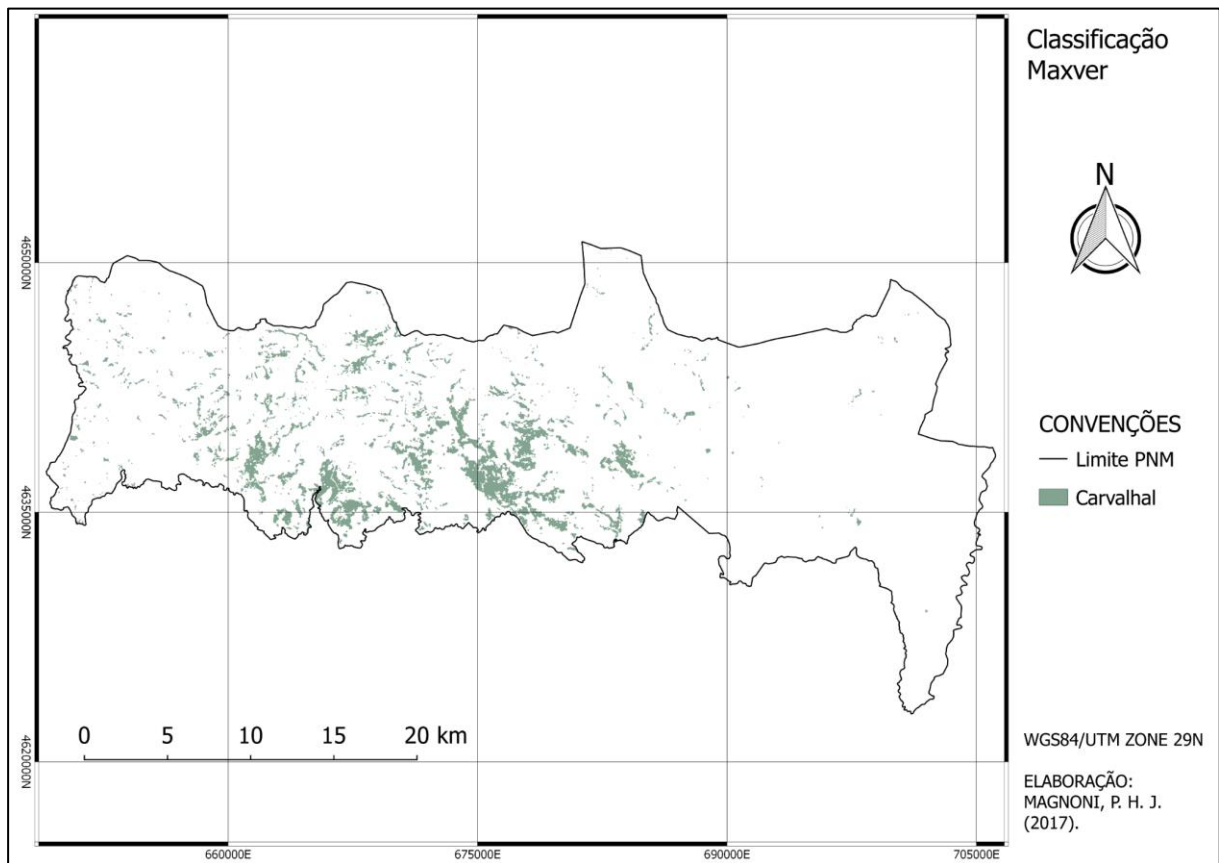


Figura 19 - Cartografia da presença do carvalho no PNM

6 DISCUSSÃO

6.1 CLASSIFICAÇÕES

A aplicação do classificador não-supervisado gerou dez imagens classificadas a partir de diferentes composições de bandas para os diferentes índices de similaridade utilizados no processo de segmentação.

No processo de determinação das classes mais significativas, mediante a aplicação da equação 1, verificou-se que quanto maior fosse a diferença entre a ocorrência de píxeis de determinada classe ISOSEG, coincidente com uma determinada classe na cartografia COS2007, em relação a frequência esperada de determinada classe ISOSEG coincidente com a mesma classe na cartografia COS2007, maior foi a aderência da classe avaliada em relação a classe de referência.

A partir deste resultado observou-se que o índice de similaridade, como verificado na literatura, gerou segmentações mais heterogêneas para o índice igual a 5 e, conseqüentemente, com a área de interesse (carvalhais) distribuída na classificação em um maior número de classes do que nas classificações de similaridade 8, onde observou-se o contrário: uma segmentação mais homogênea, com os carvalhais concentrados em um menor número classes.

A inclusão de mais bandas espectrais no processo classificatório aumentou a aderência das classes que representaram a assinatura espectral das manchas dos carvalhais. Como exemplo, temos a classe número 4 da classificação com as bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2, e 1 e similaridade 8 (CS08L5_B7654321), no Quadro 5, que apresentou uma diferença muito superior às demais entre os píxeis observados e a respectiva probabilidade, sendo assim, a classe que melhor discriminou o carvalho em todas as não-supervisadas.

Em todas as classificações existem áreas classificadas na classe do carvalho pelo algoritmo segmentador que não condizem com a COS2007. Portanto, a partir dos gráficos elaborados (Figura 12 a Figura 16) foi possível identificar estas classes e quantificar sua área em hectares pela quantificação do número de píxeis.

Analisando as classificações da Figura 16 (aplicação de todas as bandas) observamos, ao quantificar as áreas das classes mais representativas do carvalho em cada classificação, o efeito do índice de similaridade sobre a distribuição das classes mais discriminantes. Na classificação de similaridade 5 temos que, a principal classe (número 5), coincidiu com a cartografia de referência em apenas 469 ha para as áreas de carvalho (Quadro 6). Em

comparação, na classificação de similaridade 8 a classe mais discriminante (número 4) coincide com a COS2007 (floresta de outros carvalhos) em 2650 ha (Quadro 7).

Outro fator a ser levado em consideração é que a classe 5 (CS05L5_B7654321) apresenta uma área total de 632 ha, enquanto a classe 4 (CS08L5_B7654321) conta com uma área total de 6315 ha. Isto não significa que a similaridade 5 não reconheceu a assinatura espectral do carvalho, porém, a separou em um maior número de classes.

Do ponto de vista operacional, ter a área de interesse dividida em um maior número de classes na imagem classificada dificulta a seleção das áreas de maior representatividade. Isso se deve a necessidade de levar em conta as demais áreas que estão discriminadas como carvalho pelo classificador, mas que não condizem com a cartografia de referência. Como exemplo, temos as manchas de “Matos densos” e “Carvalho + outras folhosas” da COS2007 que aparecem inseridas em áreas classificadas como carvalho pela classificação não-supervisada.

Este resultado deixa implícito o impacto do índice de similaridade aplicado na segmentação pré-classificação, na imagem classificada resultante, na posterior cartografia da frequência e na amostragem da classificação supervisionada aplicada. Verifica-se, portanto, que a similaridade 8 acaba por identificar e agrupar melhor as manchas do carvalho no PNM.

Quadro 6 - Classe 5 da segmentação 5 com todas as bandas em comparação a classes da COS

CLASSE 5 X COS 2007			
CLASSE COS2007	Área coincidente (ha)	Área total da classe de referência (ha)	Área total da classe 5 (ha)
Carvalho	469	4747	632
Matos densos	37	20657	
Carvalho + outras folhosas	31	1105	
Demais Classes	95	X	

Quadro 7 - Classe 4 da segmentação 8 com todas as bandas em comparação a classes da COS

CLASSE 4 X COS 2007			
CLASSE COS2007	Área coincidente (ha)	Área total da classe de referência (ha)	Área total da classe 4 (ha)
Carvalho	2650	4747	6315
Matos densos	598	20657	
Carvalho + outras folhosas	512	1105	
Demais Classes	2555	X	

Na Figura 20, abaixo, podemos visualizar um mapa que mostra a intersecção entre a classe 4 (CS08L5_B7654321) e classe outros carvalhos - 3.1.1.01.3.

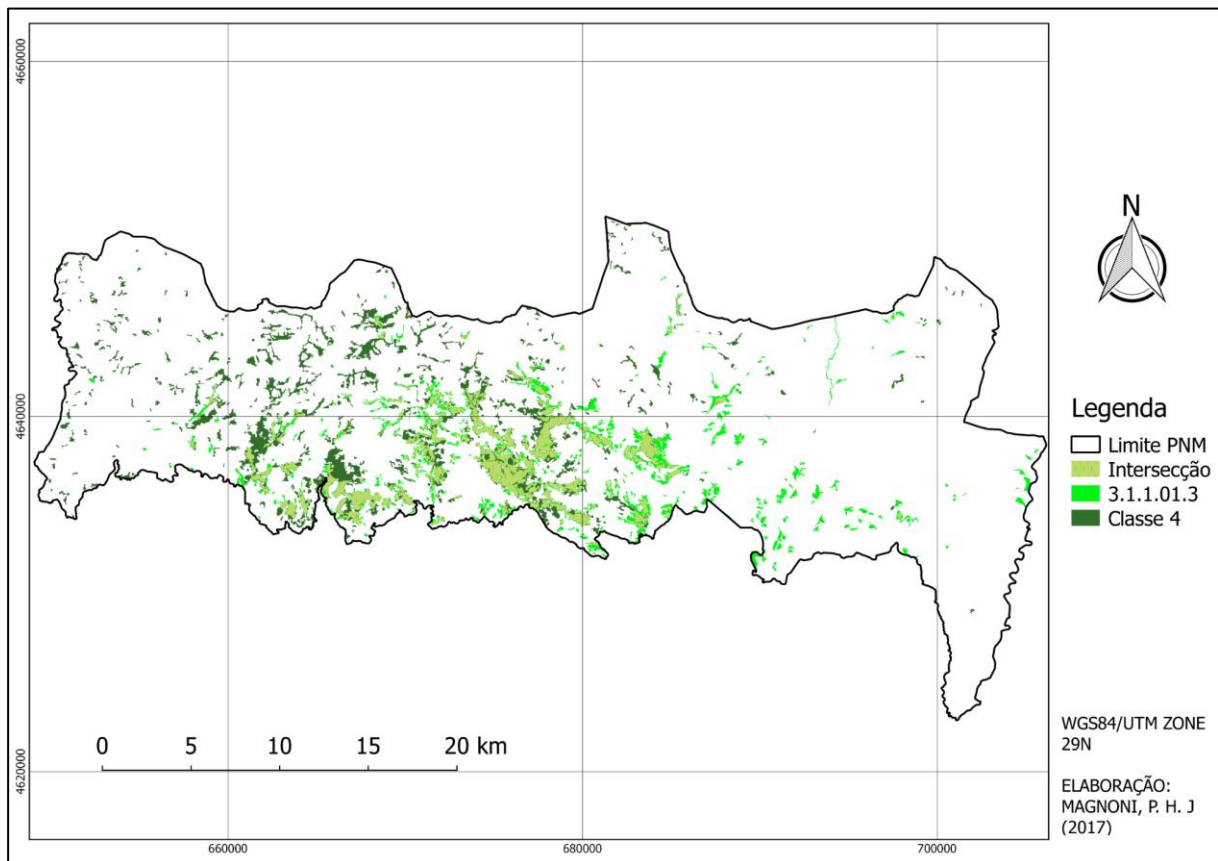


Figura 20 – Mapa de intersecção da classe 4 com a classe COS - outros carvalhos

Como visto nos quadros comparativos entre as classificações (Figura 12 a Figura 16), devido à diferença na quantidade de classes onde o carvalho se encontra distribuído segundo as classificações não-supervisadas, ao gerar a cartografia da frequência, o mapa de similaridade 8 (Figura 18) resultou em valores mais elevados de probabilidade do que o de similaridade 5 (Figura 17), onde houve dispersão de classes. Nestes mapas, as áreas que discriminam o carvalho simultaneamente em todas as classificações (áreas 100%) tornaram-se candidatas para o treinamento do algoritmo MAXVER de classificação supervisionada (Figura 21).

Finalmente, a aplicação do algoritmo classificador supervisionado MAXVER gerou a cartografia da presença dos Carvalhais no PNM para a data da imagem Landsat utilizada, como mostrado na Figura 19. Para melhor visualização, elaborou-se um mapa de intersecção entre a cartografia da presença do carvalho no PNM (classificação supervisionada MAXVER) e a classe COS2007 outros carvalhos (3.1.1.01.3) (Figura 22).

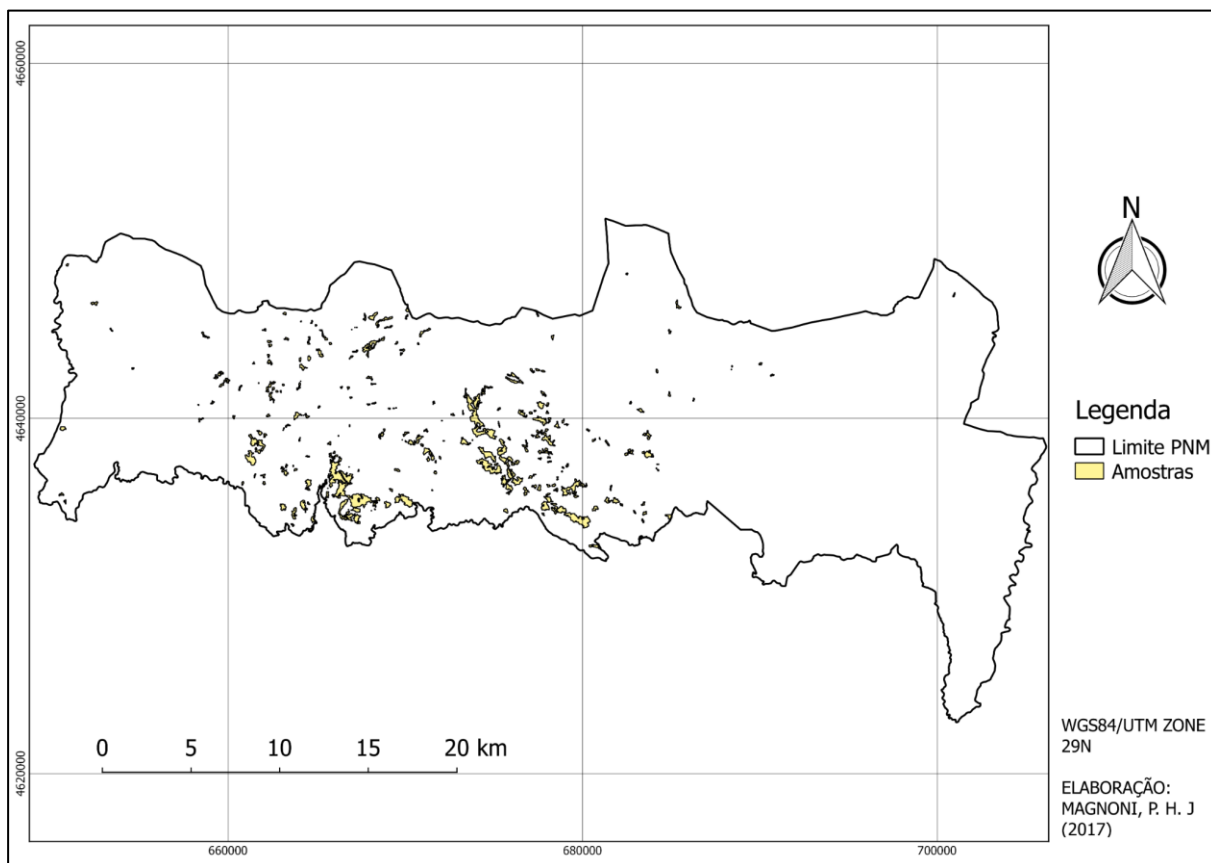


Figura 21 - Áreas 100% da cartografia da frequência para similaridade 8

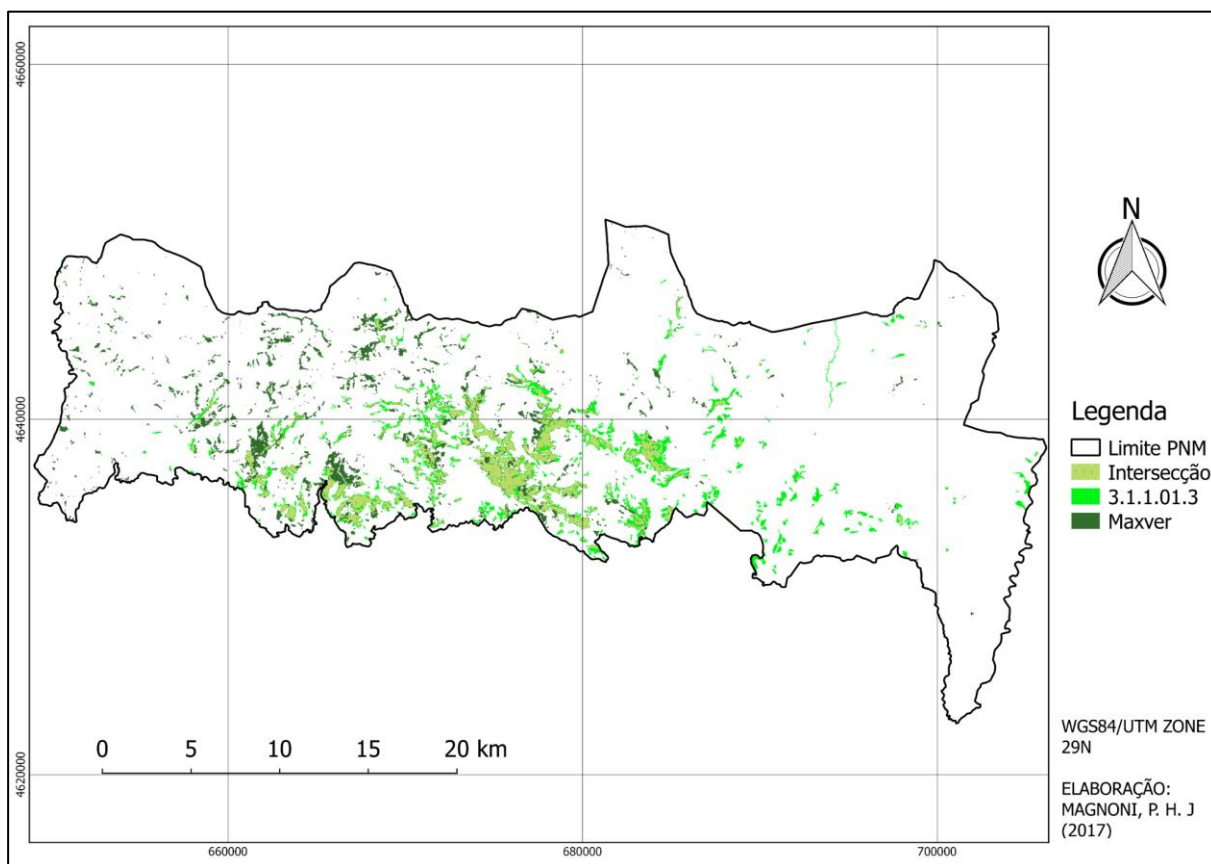
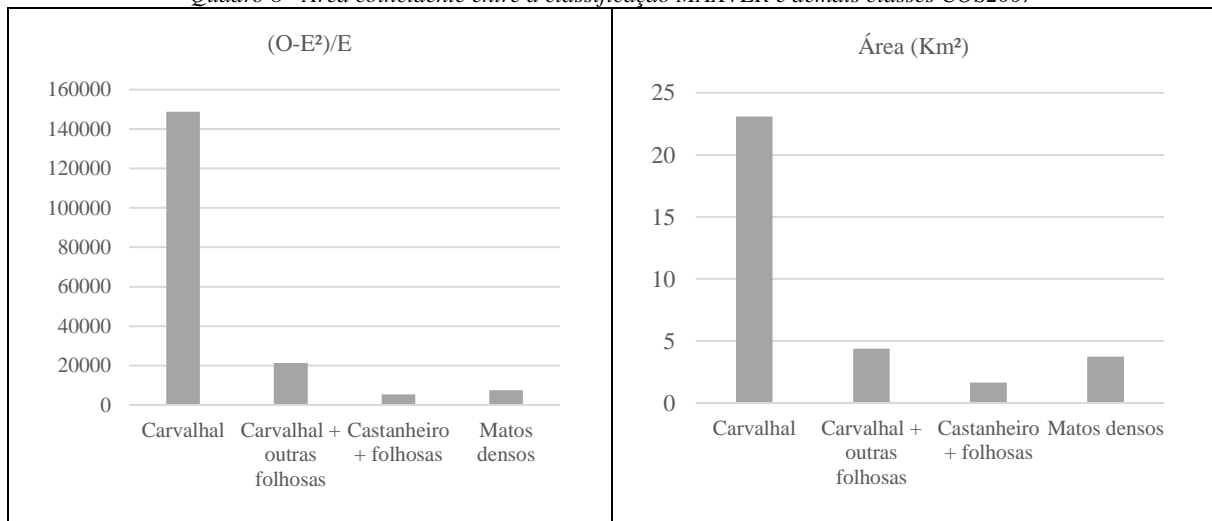


Figura 22 - Intersecção da cartografia da presença do carvalho no PNM com classe outros carvalhos da COS2007

Levando em consideração as áreas classificadas como carvalho no PNM na cartografia de referência (4747 ha), e na imagem classificada MAXVER (4703 ha) temos como área coincidente entre as classificações um total de 2307 ha. Mediante aplicação da equação 1 e da quantificação das áreas, podemos observar a maior aderência obtida por esta classificação em relação aos carvalhos do que a demais classes COS (Quadro 8). Isto aponta para uma boa representatividade da assinatura espectral do carvalho obtida pela classificação supervisionada.

Em um trabalho de comparação entre classificadores supervisionados e não-supervisionados, Abrão *et al.* (2015) verificou bons resultados na aplicação do algoritmo MAXVER na identificação de manchas de vegetação de porte arbóreo como é o caso das manchas de carvalho.

Quadro 8 - Área coincidente entre a classificação MAXVER e demais classes COS2007



Apesar de não serem propriamente manchas homogêneas de *Quercus pyrenaica* Willd., as áreas de carvalho com outras folhosas, matos densos, castanheiros com outras folhosas e outras que aparecem em menor significância, definidas na cartografia de referência, são formações vegetais presentes no PNM onde o carvalho-negral pode estar presente em menor abundância e em estados diferentes de desenvolvimento. Estes fatores acabam influenciar o processo de identificação de sua assinatura espectral e, por consequência, a acurácia da classificação final.

6.2 VERIFICAÇÃO NO TERRENO

Com a verificação no terreno realizada no dia 13/06/2017 foi possível verificar algumas áreas onde a assinatura espectral do carvalho foi encontrada pelo classificador. E assim, discutir o significado da classificação realizada comparado com a interpretação feita pela COS2007 para os mesmos locais. Portanto, este tópico abordou a relação entre estas áreas e classes da cartografia de referência onde o carvalho-negral foi menos notado.

6.2.1 Situação de matos densos

Nas áreas denominadas como matos densos pela cartografia de referência, aquelas consideradas com vegetação espontânea com um coberto superior ou igual a 50%, observamos estas formações vegetais associadas a carvalhos (Figura 23).

Tratando de observações de campo com dez anos de diferença em relação à imagem classificada, ao identificar carvalhos de porte arbóreo, podemos relacioná-los aos identificados pelo algoritmo classificador em 2007.

Visto que no processo de foto interpretação para elaboração da COS2007, o interprete associou estas áreas a matos densos, provavelmente levando em consideração o padrão de rugosidade do coberto vegetal, a carvalhiça (formação de carvalhal jovem) ali associada aos matos (Figura 24) pela necessidade de sombra em seu desenvolvimento, não foi identificada com a interpretação visual, porém, foi detectada pela interpretação espectral dos classificadores ISOSEG e MAXVER.

Na Figura 25, podemos observar outro local associado a classe de matos densos onde foi detectada a assinatura espectral do carvalhal. São evidentes os efeitos de um incêndio ocorrido nesta área, localizada próxima a aldeia de Montouto, devido ao estado de regeneração do carvalhal associado aos matos.



Figura 23 - Matos densos associado ao carvalhal (Lat. 41.860486 Long. -7.001814)



Figura 24 - Carvalhiça associada a matos (Lat. 41.863672 Long. -6.998547)



Figura 25 - Regeneração do carvalhal em área de matos densos (Lat. 41.935544 Long. -7.003075)

6.2.2 Situação de floresta de carvalhos com outras folhosas

Esta classe é caracterizada pela mistura de espécies folhosas em que se verifica a dominância de outros carvalhos que não a azinheira ou o sobreiro. Foram verificados em campo alguns locais relativos a esta situação, os dois primeiros detectados a junto à aldeia de Tuizelo.

No primeiro local visitado verificou-se a presença de densos carvalhais que dominavam a paisagem (Figura 26). Ao longo do avanço na área para o segundo local, notou-se que com a aproximação da linha d'água, as manchas de carvalho começam a dividir terreno com outras espécies (Figura 27), até chegarmos em situação ribeirinha onde a área torna-se dominada por outras espécies folhosas e o carvalhal não aparece (Figura 28).

No terceiro local visitado, a mesma situação: carvalhos associados a outras folhosas, foi encontrada próxima da aldeia de Montouto (Figura 29).



Figura 26 - Carvalho-negral (Lat. 41.889939 Long. -7.047639)



Figura 27 - Carvalho associado a outras folhosas (Lat. 41.889408 Long. -7.048933)



Figura 28 - Vegetação ripícola sem a presença de carvalho (Lat. 41.889178 Long. -7.049361)



Figura 29 - Carvalho associado a outras folhosas (Lat. 41.925628 Long. -6.983539)

6.2.3 Situação de florestas de outras folhosas

Nestas classes estão presentes algumas espécies de folhosas existentes no PNM que não são discriminadas em outras classes da COS2007 como o freixo, o amieiro, a noqueira, choupo ou o salgueiro. Os pontos verificados aqui são interessantes, visto que o algoritmo classificador identificou carvalhos nestas áreas que segundo a cartografia de referência, não existiam.

Foram verificados dois pontos relativos a esta situação onde o carvalho aparece em menor abundância distribuído entre folhosas de grande porte, muitas vezes na sombra destas espécies (Figura 30 a Figura 32).

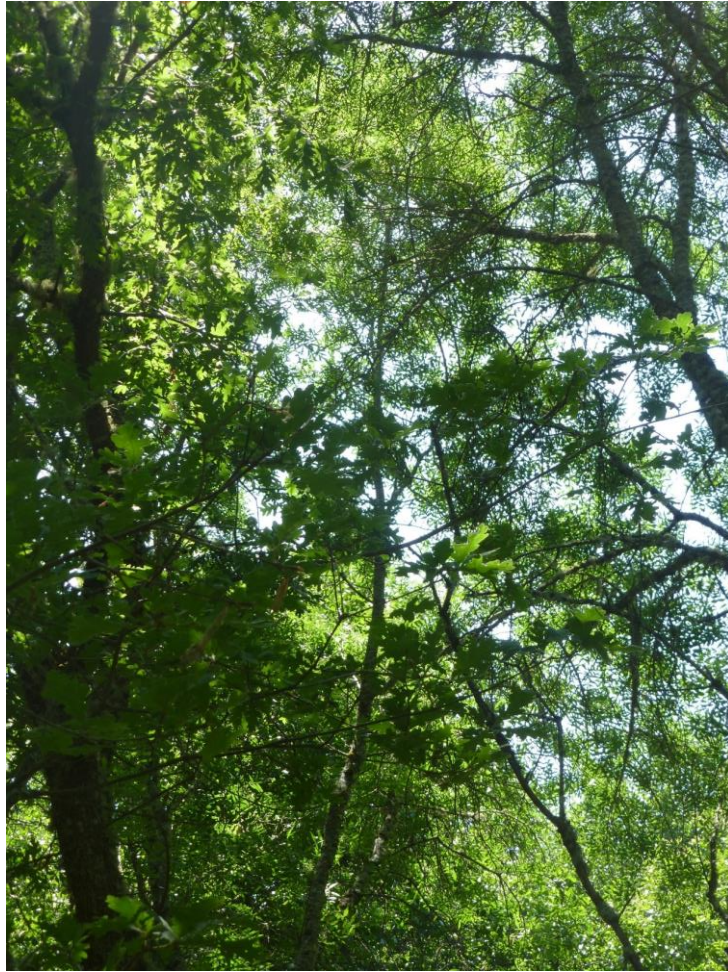


Figura 30 - Carvalhal no sub-bosque de outras espécies de folhosas (Lat. 41.906692 Long. -7.041611)

Aqui foi possível visualizar a capacidade de discriminação do algoritmo classificador quanto às assinaturas espectrais das espécies presentes na área. Do ponto de vista cronológico, estes carvalhos encontrados na visita, já estavam ali presentes no momento que a imagem Landsat 5 foi tomada pelo sensor.



Figura 31 - Folhas de Carvalho negral (Fendidas) e outras espécies folhosas (Lat. 41.906692 Long. -7.041611)



Figura 32 - Jovens carvalhos entre outras espécies folhosas (Lat. 41.908497 Long. -7.041522)

6.2.4 Situação de floresta de castanheiro com folhosas

Esta classe da cartografia de referência é caracterizada pela mistura de folhosas com dominância do castanheiro bravo. Nos pontos amostrados dentro desta área, encontram-se castanheiros em proximidade a manchas de carvalho-negral (Figura 33 a Figura 35).



Figura 33 - Carvalhos, castanheiros e matos (Lat. 41.912919 Long. -7.038658)

Grandes castanheiros, como os mostrados nas fotos, são encontrados misturados com carvalhais na paisagem do PNM e, devido seu grande porte, muitas vezes acabam por dificultar a fotointerpretação, e por isso, a identificação dos carvalhais nestes locais mais uma vez aponta para uma boa capacidade de detecção da assinatura espectral do carvalhal obtida pelas classificações.



Figura 34 - Castanheiro (primeiro plano), seguindo carvalho e resinosas (fundo) (Lat. 41.914925 Long. -7.039464)



Figura 35 - Carvalhos e castanheiros (Lat. 41.914528 Long. -7.040994)

7 CONCLUSÕES

O presente estudo foi importante para verificar o potencial de monitorização dos carvalhais no PNM mediante o sensoriamento remoto.

Para melhor identificação da assinatura espectral da *Quercus pyrenaica* Willd., a classificação mais eficiente, segundo os parâmetros avaliados neste trabalho, foi a realizada com índice de segmentação 8 e com todas as bandas espectrais incluídas. A partir deste resultado, foi possível obter amostras fiáveis para a aplicação da classificação supervisionada, e assim, gerar um mapa da presença dos destes carvalhais no PNM.

Apesar dos erros de confusão entre classes observados, como uma análise exploratória, a aplicação de classificações não-supervisadas auxiliou a tomada de decisão durante o processo de amostragem e treinamento do algoritmo classificador supervisionado. Destaca-se a rapidez e facilidade deste processo mediante as cartografias tradicionais.

No objetivo proposto neste trabalho, a metodologia proposta não foi uma atualização da cartografia já existente, mas sim, a verificação do potencial dos softwares e classificadores utilizados em identificar e diferenciar as manchas mais representativas do carvalho-negral. Assim, foi possível observar a relação entre a cartografia de referência e as classificações realizadas.

Através da quantificação e verificação da frequência entre as imagens classificadas e a cartografia de referência, observou-se a importância da definição de um índice de similaridade e uma determinada composição de banda que melhor represente o objeto de interesse e diminua a ocorrência de erros na imagem classificada.

As áreas observadas na verificação ao terreno mostraram a capacidade de identificação da metodologia. Apesar de não terem sido verificados pontos suficientes para uma validação da cartografia gerada na classificação supervisionada, resultados interessantes foram encontrados, como a discriminação do carvalho em diferentes estágios de seu crescimento vegetal e sua abundância associada a outras espécies, que é de difícil identificação em um processo de foto interpretação. Tais resultados podem apontar locais onde as florestas deste carvalho estão a evoluir.

Finalmente, o presente trabalho mostrou o potencial dos *softwares* livres utilizados na aplicação de classificações em imagens multiespectrais como as da série Landsat 5 Thematic Mapper.

REFERÊNCIAS

- Abrão, C. M. R., da Cunha, E. R., Gregório, E. C., & Bacani, V. M. (2015). Avaliação de classificadores supervisionados e não supervisionados para mapeamento de uso e cobertura da terra a partir de dados Landsat-8/OLI.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1), 2-16.
- Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., & Garrido, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & graphics*, 20(3), 395-403. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/spring.pdf>
- CCRS. (2016). *Fundamentals of Remote Sensing*. Canada: Natural Resources Canada. Disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/node/9309>
- Carvalho, J., Santos, J., & Reimão, D. (2005b). O Carvalho-Negral em Portugal e Transformação Tecnológica da Madeira. *CITAB-Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas*. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/handle/10348/1517>
- Carvalho, J., Santos, J., Reimão, D., Gallardo, J., Alves, P., Grosso-Silva, J.,Carvalheira, M. (2005a). *O carvalho negral*. Sersilito.
- Decreto lei nº 19/93 de 23 de janeiro do Ministério do Ambiente e Recursos Naturais. Diário da República. I Série-A, nº 19 (1993). Acedido a 16 de fev. 2017. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/class-carac>
- Decreto Regulamentar nº 5-A/97 de 4 de abril do Ministério do Ambiente. Diário da República. I Série-B, nº 97 (1997). Acedido a 16 de fev. 2017. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/class-carac>
- Decreto-Lei nº 142/2008 de 24 de julho do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Diário da República: I série, nº 142 (2008). Acedido a 16 de fev. 2017. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2008/07/14200/0459604611.pdf>
- Decreto-lei nº355/79 de 30 de agosto do Ministério da Habitação e Obras Públicas. Diário da República. I Série, nº 355 (1979). Acedido a 16 de fev. 2017. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/class-carac>
- Direção-Geral Território. (2017a). Carta Administrativa Oficial de Portugal - CAOP 2016. Lisboa, PT. Disponível em: http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal__caop_/caop_em_vigor/
- Direção-Geral Território. (2017b). Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 – COS2007. Lisboa, PT. Disponível em:

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/carta_de_ocupacao_do_solo__cos_/cos__2007/

Florenzano, T. G. (2007). *Iniciação em sensoriamento remoto*. Oficina de Textos.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2001). *Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Manuais Técnicos em Geociências*, (9).

ICNF. (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Bragança, PT. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ordgest/poap/popnm/popnm>

ICNF. (2017). Áreas Protegidas. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/ap>

Konecny, G. (2003). *Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*.

Lunetta, R. S., & Elvidge, C. (1999). *Remote sensing change detection*. CRC Press.

Meneses, P. R., Almeida, T. D., Rosa, A. N. D. C. S., Sano, E. E., Souza, E. B. D., Baptista, G. M. D. M., & Brites, R. S. (2012). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: UNB/CNPq.

Muñoz, J. M., & Ponce, A. D. (2005). *Percepción remota. “Fundamentos de teledetección espacial*.

QGIS Development Team. (2017). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects?. *Remote sensing of Environment*, 75(2), 230-244.

USGS. (2016a). Earth Explorer. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description>

USGS. (2016b). Earth Explorer. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>

USGS. (2016c). Earth Explorer. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections>