Universidade do Minho
Escola de Ciências

Rui Miguel Fernandes Peixoto

Avaliação da Geodiversidade de Portugal Continental

dezembro de 2020

Avaliação da Geodiversidade de Portugal Continental
Rui Miguel Fernandes Peixoto
UMinho | 2020

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Rui Miguel Fernandes Peixoto

Avaliação da Geodiversidade de Portugal Continental

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Geociências
Ramo de Património Geológico e Geoconservação

Trabalho efetuado sobre a orientação do
Professor Doutor Diamantino Manuel Ínsua Pereira
Professor Doutor Renato Filipe Henriques

dezembro de 2020

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.
Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.
Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi fruto do trabalho e esforço de algumas pessoas a quem passo a agradecer.

Aos meus orientadores, Professor Diamantino Pereira e Professor Renato Henriques pelo apoio, disponibilidade e orientação para a realização deste trabalho.

Aos colegas de Mestrado, pela ajuda, troca de conhecimento e os bons momentos passados durante esta caminhada.

À minha família, em especial aos meus pais, por sempre me proporcionarem as condições ideais ao longo do meu percurso académico.

À Joana por estar sempre ao meu lado nos bons e maus momentos e por me ajudar na realização deste trabalho.

A todos um muito obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Avaliação da Geodiversidade de Portugal Continental

Resumo

Esta dissertação tem como principal temática a geodiversidade de Portugal Continental, tendo como principal objetivo a sua avaliação e as relações que estabelece com outras temáticas, nomeadamente os recursos geológicos, a biodiversidade e as áreas protegidas. Tendo em conta as metodologias utilizadas em outros trabalhos, foi proposta uma avaliação da geodiversidade através de uma avaliação dos índices litológicos, geomorfológicos e pedológicos de Portugal Continental, em que foi tido em conta o número de diferentes ocorrências existentes em cada célula da grelha 16 x 10 km utilizada, tendo-se observado três locais com valores elevados de geodiversidade. Além do índice de geodiversidade foi feita uma avaliação quantitativa dos recursos minerais e os recursos hídricos existentes no território nacional, e ainda uma avaliação da distribuição do património geológico e de uma parte da biodiversidade existente em Portugal Continental, tendo em conta os dados disponíveis. Estes mapas foram depois todos correlacionados tendo-se observado diversas relações entre os diferentes índices, com especial interesse as relações entre a geodiversidade e a biodiversidade e a geodiversidade e as áreas protegidas.

Pretende-se que os resultados obtidos nesta dissertação possam ser úteis na gestão territorial nacional, no uso e gestão dos recursos naturais e ainda na criação de estratégias de conservação da natureza, que atribuam maior valor à geodiversidade.

Palavras-chave: geodiversidade, avaliação, Portugal Continental, biodiversidade, áreas protegidas, recursos geológicos, património geológico

Geodiversity assessment of mainland Portugal

Abstract

This dissertation has as main theme the geodiversity of mainland Portugal, having as the main objective its assessment and the relations it establishes with other themes, namely geological resources, biodiversity and protected areas. Taking into account the methodologies used in other studies, an assessment of geodiversity was proposed through an assessment of the lithological, geomorphological and pedological indices of mainland Portugal. The number of different occurrences existing in each cell of a 16 x 10 km grid was taken into account, having observed three sites with high values of geodiversity. In addition to the geodiversity index, was carried out a quantitative assessment of mineral and water resources, distribution of the geoheritage and a portion of the biodiversity in mainland Portugal, considering the available data. Different maps were produced with the referred data. These maps were then all correlated, and several relationships were observed between the different indices, with special interest in the relationships between geodiversity and biodiversity and geodiversity and protected areas.

It is intended that the outcome obtained in this dissertation can be useful in the national territorial management, in the use and management of natural resources and also in the creation of nature conservation strategies, that consider greater value to geodiversity.

Keywords: geodiversity, assessment, mainland Portugal, biodiversity, protected areas, geological resources, geoheritage

Índice Geral

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS i
Agradecimentos ii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE iii
Resumo iv
Abstract v
Índice Geral vi
Índice de Tabelas viii
Índice de Imagens ix
1. Introdução 1
1.1 Objetivos 1
1.2 Unidades geológicas e suas características 2
1.3 Caracterização hipsométrica e geomorfológica 7
1.4 Metodologia de trabalho 13
2. Geodiversidade 15
2.1 A evolução de um conceito 15
2.2 Valores da Geodiversidade e a sua relação com os serviços ecossistémicos 17
2.3 Ameaças à geodiversidade 23
2.4 Geoconservação 26
3. Avaliação da geodiversidade de Portugal Continental 27
3.1 Classificação da geodiversidade 27
3.2 Índices parciais da geodiversidade 28
3.2.1 Diversidade litológica 29
3.2.2 Diversidade pedológica 34
3.2.3 Diversidade Geomorfológica 36
3.3 Mapa da Geodiversidade 39
3.4 Recursos geológicos 44
3.4.1 Recursos minerais 45
3.4.2 Recursos hídricos 49
3.4.2.1 Rede Hidrográfica de Portugal Continental 49
3.4.2.2 Albufeiras 54
3.4.2.3 Precipitação média anual 57
3.4.2.4 Cálculo final dos recursos hídricos 59

3.5 Património Geológico 61
3.6 Relação Geodiversidade-Biodiversidade 63
3.7 Avaliação da correlação entre os diversos índices 70
3.8 Rede Nacional de Áreas Protegidas de Portugal Continental 72
4. Considerações finais 76
Referências bibliográficas 78
Websites 78
Bibliografia 79
Figuras online 81

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resumo dos valores da geodiversidade (adaptado e traduzido de Gray, 2004) 18
Tabela 2 - Exemplos dos benefícios da geodiversidade, tendo em conta o *Millenium Ecosystem Assessment* (2005) e as principais divisões de cada tipo de serviço (Adaptado e traduzido de Brilha *et al.*, 2018) 21
Tabela 3 - Extrato da tabela dos valores descendentes dos índices parciais e total de geodiversidade. Estão demonstrados os maiores e menores valores de geodiversidade (ID – identificação de cada célula). 40
Tabela 4 - Extrato da tabela com os valores dos índices dos recursos hídricos e a sua respetiva soma (ID – identificação das células) 59
Tabela 5 - Correlações entre os índices parciais de geodiversidade, da geodiversidade, da biodiversidade, os recursos hídricos e minerais. A vermelho estão assinaladas as correlações significativas. 71

Índice de Imagens

Figura 1 - Mapa litológico de Portugal Continental simplificado (A. Ferreira,2000) 2
Figura 2 - Unidades morfoestruturais da Península Ibérica (Pereira *et al.* 2014, modificado de Vera *et al.*, 2004). 3
Figura 3 - Terrenos e zonas tectonoestratigráficas, (adaptado de Ribeiro, 2006). 4
Figura 4 - Mapa hipsométrico de Portugal Continental (SNIRH, 2009) 8
Figura 5 - Mapa das unidades geomorfológicas de Portugal Continental (Pereira *et al.,* 2014) 12
Figura 6 - Exemplo da célula 16x10 km dividida em células 2x2 km 13
Figura 7 - Exemplos de casos notáveis da geodiversidade de Portugal Continental (Património Geológico): a) Discordância angular da Praia do Telheiro (foto de J. Brilha); b) Pegadas de Dinossauros de Vale de Meios (do autor); c) Icnofósseis de Penha Garcia (do autor); d) Vale Glaciário do Zêzere (do autor) 16
Figura 8 - Rede de definições e relação, a partir do conceito de Geodiversidade. Realçado a relação entre os valores da Geodiversidade e os serviços ecossistémicos (modificado de Brilha *et al.*, 2018) . 20
Figura 9 - Icnofósseis de trilobites, Penha Garcia. Estes icnofósseis alimentaram lendas de serpentes petrificadas, associadas a lenda da Moura Encantada (do autor) 22
Figura 10 - Miradouro da Pedra Bela, Parque Nacional da Peneda Geres. Um local procurado devido á beleza da paisagem (do autor) 22
Figura 11 - Programa educativo do Geopark Terras de Cavaleiros. Os geoparques oferecem um diverso leque de oportunidades educativas para os alunos dos diferentes niveis escolares (Geopark Terras de Cavaleiros, 2020) 23
Figura 12 - *Graffiti* num bloco granítico alusivo ao Rally de Fafe (Foto: WRC) 24
Figura 13 - Impacto visual das pedreiras no Parque Natural Serras de Aire e Candeeiros (Foto: Diário Noticias) 25
Figura 14 - Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas. Esta jazida foi descoberta graças á pedreira que existia no local (Foto: Liga para a proteção da natureza) 25
Figura 15 - Estrutura conceitual de geodiversidade, geoconservação e património geológico (adaptado de Brilha, 2015) 26
Figura 16 - Exemplo da contagem de litologias diferentes 29
Figura 17 - Carta geológica de Portugal Continental à escala 1/500.000 (Fonte: LNEG) 30
Figura 18 - Ocorrências litológicas em cada célula. À esquerda com a carta geológica como fundo e á direita com a grelha. 31
Figura 19 - Diversidade litológica normalizada após a classificação 32
Figura 20 - Sobreposição da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba com a diversidade litológica. De norte para sul estão marcados os municípios do Porto, Coimbra, Tomar e Badajoz (Espanha) 33
Figura 21 - Mapa de solos 1/1.000.000 (adaptado do Atlas do Ambiente) 34
Figura 22 - Diversidade pedológica normalizada após a classificação 35
Figura 23 - Mapas das Unidades Geomorfológicas aos vários níveis (1T, 2T, 3T). Em destaque está o mapa geomorfológico 4T utilizado. 37
Figura 24 - Diversidade geomorfológica normalizada 38
Figura 25 - Mapa da geodiversidade tendo em conta os índices utilizados 41
Figura 26 - Mapas usados para gerar os mapas de geodiversidade e o resultado. a) Índice litológico; b) Índice geomorfológico; c) Índice pedológico; d) geodiversidade 42
Figura 27 – Índice da geodiversidade em Portugal Continental. As zonas mais escuras correspondem às áreas com maior geodiversidade. 43
Figura 28 - Impacto da exploração mineral no Canada onde a exploração tem uma grande importância.

(Fonte: KSM Project) 45
Figura 29 - Mapa de avaliação de ocorrências de recursos minerais, tendo em conta o número de ocorrências existentes. 46
Figura 30 - Sobreposição da Rede Nacional de Áreas Protegidas com o mapa de diversidade de recursos minerais. É possível observar áreas protegidas em locais com potencial de recursos geológicos. 48
Figura 31 - Mapa da rede hidrográfica nacional utilizado. Os cursos de água com número de Strahler mais elevado estão com cor mais escura. Destacam-se assim os principais rios de Portugal Continental. 50
Figura 32 - Esquema explicativo da hierarquização dos cursos de água segundo o método de Strahler (Fonte: supergeotek) 51
Figura 33 - Problema da sobreavaliação de algumas células da grelha. Apesar de numa das células a linha de água ocupar grande parte da área, tem o mesmo valor da célula vizinha que ocupa menor área 51
Figura 34 - Mapa de classificação da ordem de grandeza dos cursos de água da rede hidrográfica nacional, calculada pelo método de Strahler, com a grelha 2x2 km. Quanto maior o número de Strahler, mais escuro o tom de azul. 52
Figura 35 - Mapa com a avaliação dos cursos de água em cada célula 53
Figura 36 - Aldeia submersa de Vilarinho das Furnas, Terras de Bouro, observada na sequência da descida do nível das águas. (Fonte: Câmara Municipal de Terras de Bouro) 55
Figura 37 - Á esquerda: Mapa das albufeiras de Portugal Continental; Á direita: Mapa da avaliação das albufeiras em Portugal Continental 56
Figura 38 - Mapa da precipitação média anual 57
Figura 39 - Mapa com valores normalizados da precipitação média em cada célula 58
Figura 40 - Mapa final dos recursos hídricos 60
Figura 41 - Á esquerda: Mapa dos geossítios em Portugal Continental; Á direita: Mapa com a contagem do número de geossítios em cada célula 62
Figura 42 - Mapa da diversidade de espécies florestais. 64
Figura 43 - Mapa da diversidade das espécies de morcegos. 65
Figura 44 - Mapa da diversidade de espécies mamíferas. 66
Figura 45 - Mapa da diversidade das espécies de bivalves 67
Figura 46 - Mapa final de biodiversidade, definido com base nos dados utilizados. As células mais escuras correspondem a locais com maior diversidade e as células mais claras a locais com menor diversidade. 68
Figura 47 - Sobreposição do mapa de biodiversidade com a Rede Nacional de Áreas Protegidas 69
Figura 48 - Classificação de fiabilidade do coeficiente da correlação de Pearson (retirado de Veiga *et al.*, 2019) 70
Figura 49 - Mapa das Áreas Protegidas de Portugal Continental (Fonte: ICNF) 73
Figura 50 - Sobreposição da geodiversidade com as áreas protegidas 74
Figura 51 - Sobreposição dos geossítios de Portugal Continental com a Rede Nacional de Áreas Protegidas 75

1. Introdução

1.1 Objetivos

Numa sociedade cada vez mais focada na proteção e conservação da natureza, é fundamental o estudo e interpretação da geodiversidade, tendo em conta o seu papel no suporte e condicionamento da biodiversidade, assim como na importância de um ordenamento territorial sustentável.

É então necessário reforçar junto da população o facto de a conservação da natureza não implicar apenas os elementos bióticos, mas sim o conjunto destes com os elementos abióticos. Para além dos valores intrínseco, científico, educativo e económico, a geodiversidade tem valor ecológico "*uma vez que os diferentes organismos apenas encontram condições de subsistência quando se reúne uma série de condições abióticas indispensáveis*" (Brilha, 2005).

No entanto, a mesma sociedade preocupada com a conservação da natureza é também refém de alguns dos recursos naturais disponíveis, como é o caso dos recursos minerais e hídricos, sendo assim importante conhecer e explorar os recursos existentes em determinado território, de modo a satisfazer as suas necessidades e o bem-estar da sociedade moderna.

Desde sempre que a Geologia influenciou a localização de grandes estruturas de engenharia, como é o caso dos castelos, fortalezas e locais de culto em locais proeminentes ou estratégicos. Grandes obras da atualidade como barragens, pontes e estradas estão também relacionadas com a Geologia. Por outro lado, destaca-se também o facto da escolha dos materiais de construção estar frequentemente relacionado com as rochas locais.

A importância da geodiversidade simultaneamente na conservação da natureza e no fornecimento de recursos, constitui um dos motivos que justifica a escolha do tema da avaliação da geodiversidade de Portugal Continental, seguindo os objetivos e métodos desenvolvidos por Pereira *et al.* (2013) e atualizações realizadas por exemplo por Silva *et al.* (2015) e Araujo e Pereira (2017).

Assim, este trabalho tem como objetivos gerais a avaliação quantitativa da geodiversidade de Portugal Continental e a análise de relações entre a geodiversidade e outros elementos naturais e culturais.

Os objetivos específicos são:

- Utilização de metodologias e ferramentas para a caracterização dos elementos e da geodiversidade;
- Identificação de relações entre a distribuição da geodiversidade e do património geológico;
- Identificação de relações entre a distribuição da geodiversidade e da biodiversidade;
- Identificação de relações entre a distribuição da geodiversidade e os recursos geológicos;
- Identificação de relações entre a distribuição da geodiversidade e as áreas protegidas;

- Identificação de possíveis relações entre os restantes índices;

Para a realização do trabalho foram adotadas etapas fundamentais como a pesquisa bibliográfica e cartográfica, a análise de cartografia temática em geodiversidade e outros elementos naturais e discussão de resultados.

1.2 Unidades geológicas e suas características

A nível geológico, o território continental é dominado por quatro grandes grupos litológicos onde se destacam granitóides e os metassedimentos do Paleozoico, Câmbrico e Pré-câmbrico, que cobrem grande parte do território nacional, e ainda as rochas carbonatadas e as formações detríticas do Cenozoico muito comuns na zona Centro e nas zonas costeiras (Ferreira,2000) (Figura 1).

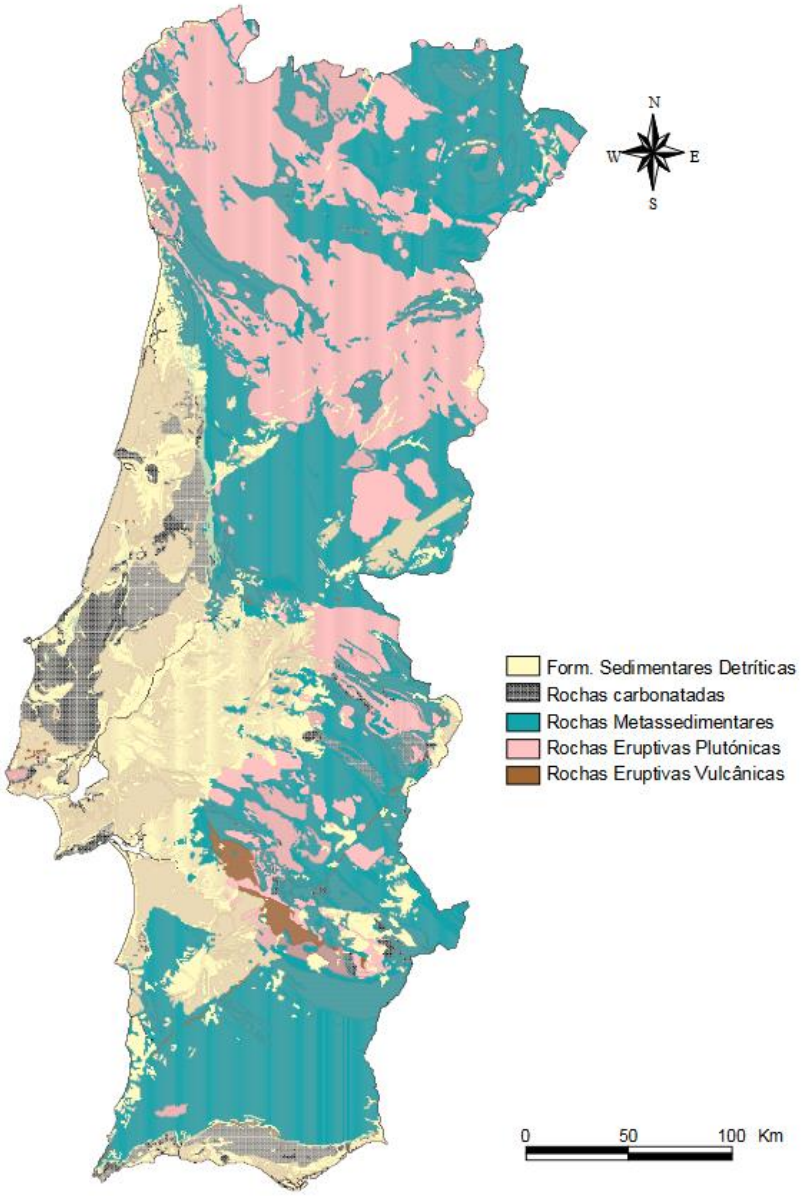

Figura 1 - Mapa litológico de Portugal Continental simplificado (A. Ferreira,2000)

Cerca de 70% da área de Portugal Continental assenta no Maciço Hespérico (560-245 Ma), sendo o restante ocupado pelas Orlas Meso-cenozoicas (15%) e pela Bacia Cenozoica do Baixo Tejo e Alvalade (15%) (Pereira *et al.* 2014) (Figura 2).

O Maciço Hespérico é constituído por rochas formadas durante os ciclos Cadomiano e essencialmente durante o ciclo Varisco (560-245 Ma) e é constituído por rochas ígneas metassedimentares e metavulcânicas. As rochas estão afetadas pela deformação imposta durante a orogenia Varisca e, no caso das rochas mais antigas, pela orogenia Cadomiana. No ciclo Varisco, podem considerar-se quatro episódios evolutivos principais. Numa primeira fase entre o Câmbrico médio e o Silúrico médio onde predominou uma extensão generalizada, originando a abertura dos oceanos paleozoicos. De seguida entre o Silúrico Médio iniciou a subdução dos oceanos levando a formação de bacias pós-arco e a obdução de escamas ofiolíticas, mantendo-se até ao Devónico médio. Entre o Devónico médio e o final do Carbónico predomina a colisão continental, coincidindo com o período orogénico associado á colisão do Gondwana e os continentes setentrionais, levando á formação da Pangeia. Por fim do Carbónico Superior e o Pérmico Inferior predominou a deformação intra-continental, associado a um movimento transcorrente de componente oblíqua direita (R. Dias,2010).

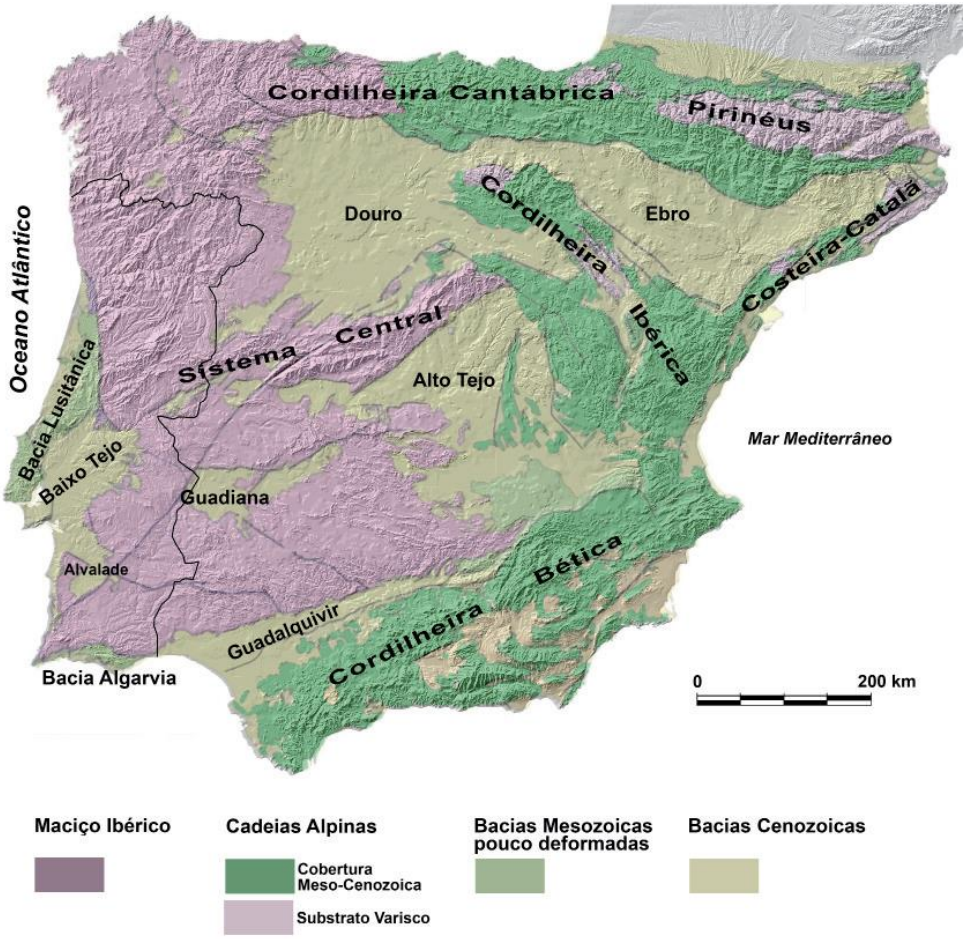

Figura 2 - Unidades morfoestruturais da Península Ibérica (Pereira *et al.* 2014, modificado de Vera *et al.*, 2004).

Estes episódios fizeram com que no fim do Paleozoico exista uma individualização das unidades morfoestruturais da Península Ibérica, proposta inicialmente por Lotze (1945) e mais tarde complementada por Julivert *et al.* (1972) e Farias *et al.* (1987), onde são possíveis definir os diferentes Terrenos delimitados pelos principais acidentes geológicos e as Zonas (Figura 3) "*que apresentam uma evolução paleogeográfica diferenciada que é máxima segundo uma direção perpendicular ás estruturas variscas principais e mínima paralelamente à orientação geral do orógeno*" (R. Dias,2010).

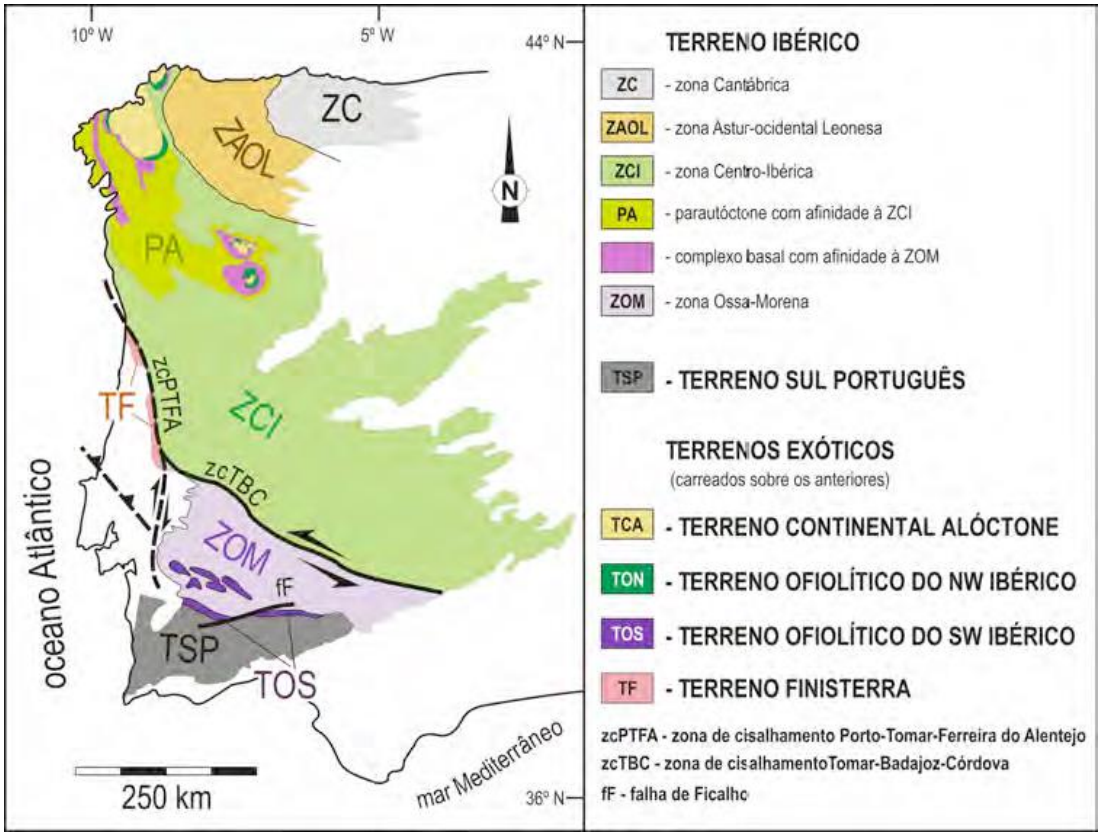

Figura 3 - Terrenos e zonas tectonoestratigráficas, (adaptado de Ribeiro, 2006).

Uma outra forma de caracterização do Maciço Ibérico resulta da adaptação dos conceitos de "*suspect terranes*" e terreno tectonoestratigráfico. O conceito de Terreno remete para unidades à escala da litosfera e respeita a fragmentos crustais, que originalmente se encontrariam espacialmente afastados, justapostos. Estes conceitos foram aplicados à evolução geodinâmica do Maciço Ibérico, dividindo-se este orógeno varisco nos vários Terrenos tectonoestratigráficos correspondentes.

Ribeiro (2006) hierarquizou as diversas unidades geodinâmicas em:

- Unidades de 1ª ordem – Terrenos;
- Unidades de 2ª ordem – Zonas.

Distinguiu, assim, sete Terrenos:

- Terreno Ibérico (TI) – unidade de origem continental, definida pela imbricação de elementos autóctones e parautóctone (Proterozoico Sup. – Paleozoico) (Meireles, 2013), que alberga:
    - Zona Cantábrica;
    - Zona Astur-ocidental Leonesa;
    - Zona Centro Ibérica;
    - Parautóctone da Zona Galiza e Trás os Montes, com afinidade com a ZCI, e ZOM (Ribeiro, 2006).
- Terreno Sul Português – unidade continental unicamente constituída por rochas do Paleozoico Sup. (Meireles, 2013).
- Terrenos Exóticos – Terrenos exumados e carreados sobre os anteriores, sendo estes:
    - Terreno Continental Alóctone;
    - Terreno Ofiolítico do Noroeste Ibérico;
    - Terreno Ofiolítico do Sudoeste Ibérico;
    - Terreno Finisterra (Ribeiro, 2006);
- Terreno Ofiolítico do Noroeste Ibérico – constituinte dos Maciços de Cabo Ortegal, Ordenes, Bragança e Morais; testemunho da obdução da litosfera.

Além do Maciço Ibérico o território continental nacional é constituído pelas Orlas Meso-Cenozoicas, Ocidental e Meridional ou Algarvia e pelas Bacias Cenozoicas.

Na Orla Meso-Cenozoica Ocidental, as unidades mesozoicas relacionam-se com a designada Bacia Lusitânica, formada na fase inicial da fragmentação da Pangea e abertura do Atlântico Norte, como consequência do afastamento do continente norte-americano e o continente europeu. Esta bacia tem uma extensão aproximada de 225 km e 70 km de largura, estando geograficamente delimitado pelo Maciço Ibérico a este e pelo horst das Berlengas a oeste (Guerner Dias, 2005), em que cerca de 2/3 da sua área total aflora na área continental. A evolução desta bacia foi condicionada por um conjunto de falhas que se formaram entre os 300 e 280 Ma., num episódio de fracturação tardi-varisca. Outras falhas variscas de orientação N-S e NW-SW tiveram também um papel importante na estruturação desta bacia (Ribeiro *et al.*, 1979 in Kullberg *et al.*, 2013). Uma parte das rochas mesozoicas estão cobertas por sedimentos cenozoicos relacionados com sistemas aluviais ou costeiros desenvolvidos após a colmatação da Bacia Lusitânica.

A Bacia do Algarve corresponde aos terrenos mesocenozoicos que orlam o sul de Portugal Continental, numa extensão aproximada de 140 km do Cabo S.Vicente até ao Rio Guadiana, com uma penetração

para o interior entre os 3 km e 25 km. Esta bacia teve uma evolução semelhante á Bacia Lusitânica, sendo estas dominadas pelos Ciclos de Wilson do Tétis e do Atlântico (A. Ribeiro, 2013).

Já as bacias Cenozoicas encontram-se espalhadas pelo território nacional, sendo elas:

- Bacia do Baixo Tejo e Alvalade
- Bacia do Douro
- Bacia do Guadiana
- Bacia do Mondego

O processo de formação destas bacias está relacionado com a passagem de um regime distensivo iniciado no Triásico para um regime de fases compressivas devido à colisão da placa euroasiática e africana, levando à abertura de bacias sedimentares, com orientação maioritária E-W e NE-SW. A Ibérica sofreu então uma grande deformação intraplaca, provocando um dobramento litosférico e por consequência a formação de pequenas bacias de desligamento, através de uma compressão máxima de orientação N-S, tendo depois rodado para NW-SE (Pais *et al.,* 2013).

No Eocénico Inferior (55 Ma.), começou um preenchimento das bacias do Mondego e do Baixo Tejo e Alvalade, com uma lenta e gradual erosão do Maciço Ibérico, que com uma continuada deformação tectónica e condições climáticas favoráveis levou a um aplanamento do soco e deposição de areias feldspáticas para o interior das bacias. No Tortoniano (11,63 - 7,246 Ma.), é atingido o ponto máximo de compressão dando início ao soerguimento das mais importantes cadeias montanhosas como a Cordilheira Central Portuguesa (2000 m de altitude) e as Montanhas Ocidentais Portuguesas. No Miocénico final (23 - 5,3 Ma) e no Zancliano (3,6 - 5,3 Ma), devido a um clima temperado quente e muito contrastado, a sedimentação foi endorreica e com leques aluviais no sopé das escarpas de falhas ativas. No Placenciano (2,58 - 3,6 Ma), o clima temperado quente tornou-se muito húmido e a partir do Gelasiano, progressivamente mais frio e seco, levando ao desenvolvimento de uma rede hidrográfica exorreica, anterior á atual, fazendo com que apareçam vales fluviais largos nas áreas montanhosas e capturas de bacias endorreicas interiores. No Plistocénico (1,8 - 2,58 Ma), o progressivo soerguimento tectónico e os períodos com baixo nível do mar levaram a um encaixe da rede hidrográfica e ao desenvolvimento de capturas fluviais (Pais *et al.,* 2013).

No Algarve instalou-se um regime de plataforma marinha carbonatada temperada no Miocénico Inferior e Médio, enquanto no Miocénico Superior a região a leste de Faro passou a ser predominantemente siliciclástica (Pais *et al.,* 2013).

1.3 Caracterização hipsométrica e geomorfológica

Portugal Continental situa-se no sudoeste do continente europeu, mais concretamente na zona ocidental da Península Ibérica, tendo como limite a sul e oeste o Oceano Atlântico e a norte e este a Espanha. A parte continental do país possui uma área de 89 102 km^2, representado 96,6% da área total do país, sendo os restantes 3.4% das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores (INE,2020).

Já o relevo de Portugal Continental, apesar de existir um domínio das altitudes abaixo dos 400 m, há uma notória divisão a norte e sul do Rio Tejo.

A norte do Douro, predominam as altitudes acima dos 400 m, encontrando-se no interior a grande maioria das principais cadeias montanhosas de Portugal Continental tais como Serra do Gerês (1546 m), Serra do Larouco (1535 m), Serra do Montesinho (1486 m), Serra Amarela (1359 m) e a Serra do Marão (1415 m). As zonas mais baixas localizam-se nas áreas costeiras e fluviais, com especial relevância nos grandes rios e seus afluentes.

Entre o Douro e Tejo, nas áreas mais interiores, estão localizadas zonas com altitudes semelhantes às encontradas mais a norte (400 m) e onde se localiza a principal cadeia montanhosa de Portugal Continental, a Serra da Estrela (1993 m), mas também a Serra da Gardunha (1227 m) e a Serra do Açor (1418 m). Nas zonas costeiras predomina a baixa altitude (inferior a 100 m) que se estende para o interior do país, em que se destacam algumas elevações perto da costa como a Serra de Sintra (528 m), Serra de Montejunto (667 m), Serra de Candeeiros (610 m) e Serra de Aire (649 m).

A sul do Tejo predomina as altitudes abaixo dos 400 m, com extensas regiões de planície e planaltos muito característicos desta região, onde se destacam apenas Serra de São Mamede (1025 m), a Serra da Arrábida (501 m), a Serra do Caldeirão (589 m) e a Serra de Monchique (902 m) (INE, 2017).

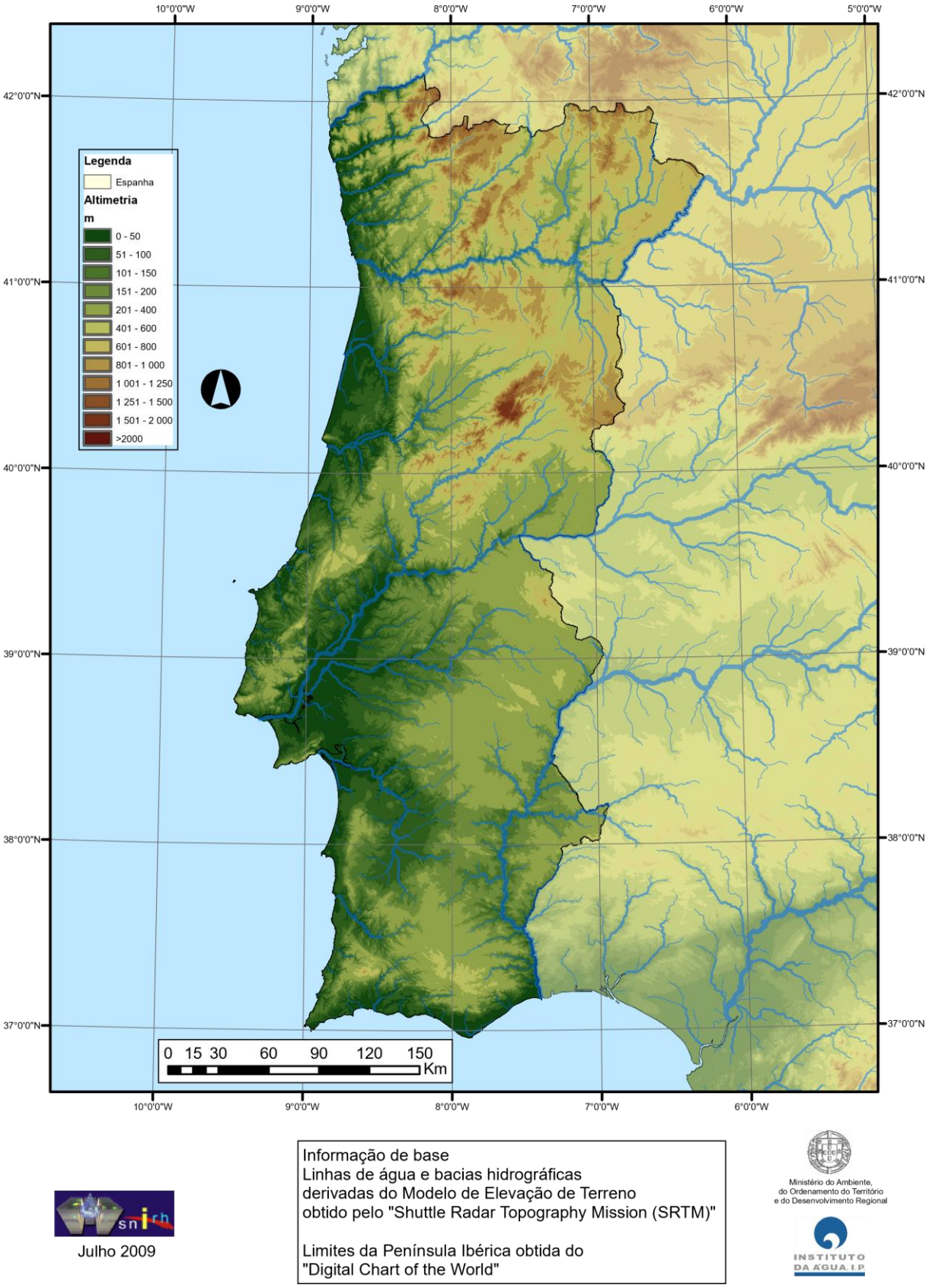

Figura 4 - Mapa hipsométrico de Portugal Continental (SNIRH, 2009)

A nível geomorfológico, o trabalho de Pereira *et al.* (2014) apresenta uma divisão do país em diferentes níveis (táxons na bibliografia brasileira), tendo como 1º nível as três Unidades Morfoestruturais. Estas unidades já foram anteriormente descritas e são:

1. Maciço Ibérico
2. Bacias Mesozoicas pouco deformadas
3. Bacias Cenozoicas

O Maciço Ibérico representa 70% do território de Portugal continental, que engloba as rochas dos ciclos pré-Mesozoicos, principalmente do ciclo varisco, com predomínio das séries sedimentares e vulcano-sedimentares do paleozoicos e os granitos variscos. A nível tectónico estrutural, predomina um sentido NW-SE alinhadas com as cristas quartzíticas, sendo que a fracturação fini-varisca teve também um papel importante na evolução do relevo, com falhas e fraturas com orientação N-S, NNE-SSW, NE-SW e NW-SE. Esta rede de fraturas tem um papel fundamental na organização da rede hidrográfica.

As bacias Mesozoicas pouco deformadas são representadas em Portugal pelas Bacias Lusitânicas e Algarvia. Os afloramentos de rochas mesozoicas, correspondem a 8% do território nacional (7% Bacia Lusitânica; 1% Bacia Algarvia). É preciso ter em conta que por vezes estas unidades encontram-se cobertas por sedimentos cenozoicos não consolidados ou pouco consolidados.

As bacias Cenozoicas são principalmente representadas pelas Bacias Cenozoicas do Tejo e de Alvalade, correspondendo a 15% do território nacional. As bacias Cenozoicas do Douro e do Guadiana têm uma reduzida extensão em Portugal. Estas bacias correspondem a depressões alongadas NE-SW, sendo preenchidas desde o Eocénico Médio, tendo no Tortoniano médio a lenta e gradual erosão do Maciço Ibérico em condições de deformação continua e um clima semiárido a subtropical, favorecendo assim o transporte de materiais arenosos feldspáticos para as bacias.

Estas unidades são então divididas em Unidades Morfoesculturais, "compartimentos gerados inicialmente por processos tectónicos e modelados pelos processos intempéricos ao longo do tempo geológico", representado assim o 2ª nível.

Tendo em conta o Maciço Ibérico são consideradas 4 unidades de 2º nível:

1. Montanhas e Planaltos do NW Ibérico: representam 33% do território nacional e são constituídas por blocos levantados a diferentes altitudes, entre os 800 e 1500 m e algumas superfícies aplanadas entre os 500 e os 800 m. Esta unidade é constituída essencialmente por rochas graníticas hercínias e rochas metassedimentares variadas, com idades entre o Proterozoico Superior e o Devónico. As cristas quartzíticas e graníticas podem ter uma elevação até 300 m acima ao nível de base;

2. Sistema Central Ibérico: ocupa 4% do território, constituído por um alinhamento montanhoso de orientação NE-SW, com altitudes até aos 1993 m, na Serra da Estrela. Este alinhamento montanhoso corresponde a um bloco mais elevado do que o bloco mais a sul (Planaltos do SW Peninsular), genericamente menos elevados que o bloco mais a norte (Montanhas e Planaltos do NW Ibérico e Bacia Cenozoica do Douro). As rochas predominantes são os granitoídes e metassedimentos pré-Mesozoicos;
3. Planaltos do SW Peninsular: ocupa 32% do território, caracterizada por uma superfície aplanada entre os 300 e 400m de altitude, constituído por metassedimentos e alguns granitóides e pontualmente algumas rochas máficas. Aqui sobressaem as cristas quartzíticas da Serra de S. Mamede e o maciço máfico da Serra de Monchique. O menor soerguimento nesta zona leva a uma menor incisão fluvial e maior preservação das superfícies de aplanamento;
4. Berlengas: o arquipélago das Berlengas é constituído pela ilha principal (Berlenga Grande) e ilhas próximas (Estelas e Farilhões). Estas são pequenos afloramentos de granito e metassedimentos pré-mesozoicos, associadas ao *Bloco das Berlengas* que limita a oeste a Bacia Lusitânica;

Já nas Bacias Mesozoicas pouco deformadas são consideradas 2 unidades de 2º nível:

1. Bacia Lusitânica: localizada a oeste de Portugal Continental, com cerca de 5000 metros de espessura máxima, prolonga-se por cerca de 200 km NNW-SSE e 100 km E-W, com cerca de 2/3 aflorando na área continental emersa. Esta bacia é essencialmente constituída por sedimentos clásticos aluviais e níveis marinhos de calcários e margas;
2. Bacia Algarvia: localizada na zona mais a sul de Portugal Continental, estendendo-se do Cabo S. Vicente ao Rio Guadiana, numa distância aproximada de 140km, penetrando irregularmente para o interior entre 3 km a 25 km. Esta bacia é caracterizada pelos relevos definidos nas unidades mesozoicas, essencialmente carbonatadas do Jurássico;

Por fim as Bacias Cenozoicas são divididas em 4 unidades de 2ºnivel:

1. Bacias Cenozoicas do Baixo Tejo e Alvalade: estas bacias são separadas por um pequeno *horst*, sendo que a Bacia do Baixo Tejo se estende desde a região de Lisboa até Castelo Espanha, chegando a ultrapassar a fronteira com Espanha. Ocupa o Ribatejo e grande parte do Alto Alentejo e sul da Beira Baixa. O enchimento foi iniciado no Eocénico passando no Pliocénico para um regime de incisão. A Bacia de Alvalade situa-se a sul da Bacia do Baixo Tejo, ocupando na sua maioria a zona da bacia hidrográfica do Sado. Esta foi preenchida por sedimentos de fácies continental e marinha, representando a formação de um golfo durante a transgressão fini-

-Miocénica;

2. Bacia Cenozoica do Douro: está representada na região de Nave de Haver, com o domínio de níveis areno-conglomeráticos de constituição quartzo-feldspática. A sua delimitação com o Maciço Ibérico é feita através da litologia dado que o relevo de ambos é semelhante;
3. Bacia Cenozoica do Guadiana: os principais sedimentos desta bacia situam-se em Elvas, de essencialmente conglomerados;
4. Planícies Costeiras: estas constituem 7% do território nacional, e é definido por "uma linha de fronteira irregular que separa um domínio de baixa altitude, em geral inferior a 100 metros, das restantes unidades." O padrão de relevo uniforme resulta de uma cobertura sedimentar essencialmente arenosa, em que é possível observar um padrão ondulado associado a campos dunares, particularmente nas zonas de maior faixa costeira.

As 56 subunidades de 3º nível correspondem a unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes, contidas nas unidades de 2º nível. Estas subunidades foram obtidas essencialmente pela análise do padrão do relevo observado na imagem SRTM, a que foi dado um nome a cada unidade tendo este um termo morfológico e um termo toponímico, salvo algumas exceções (Pereira *et al.*, 2014).

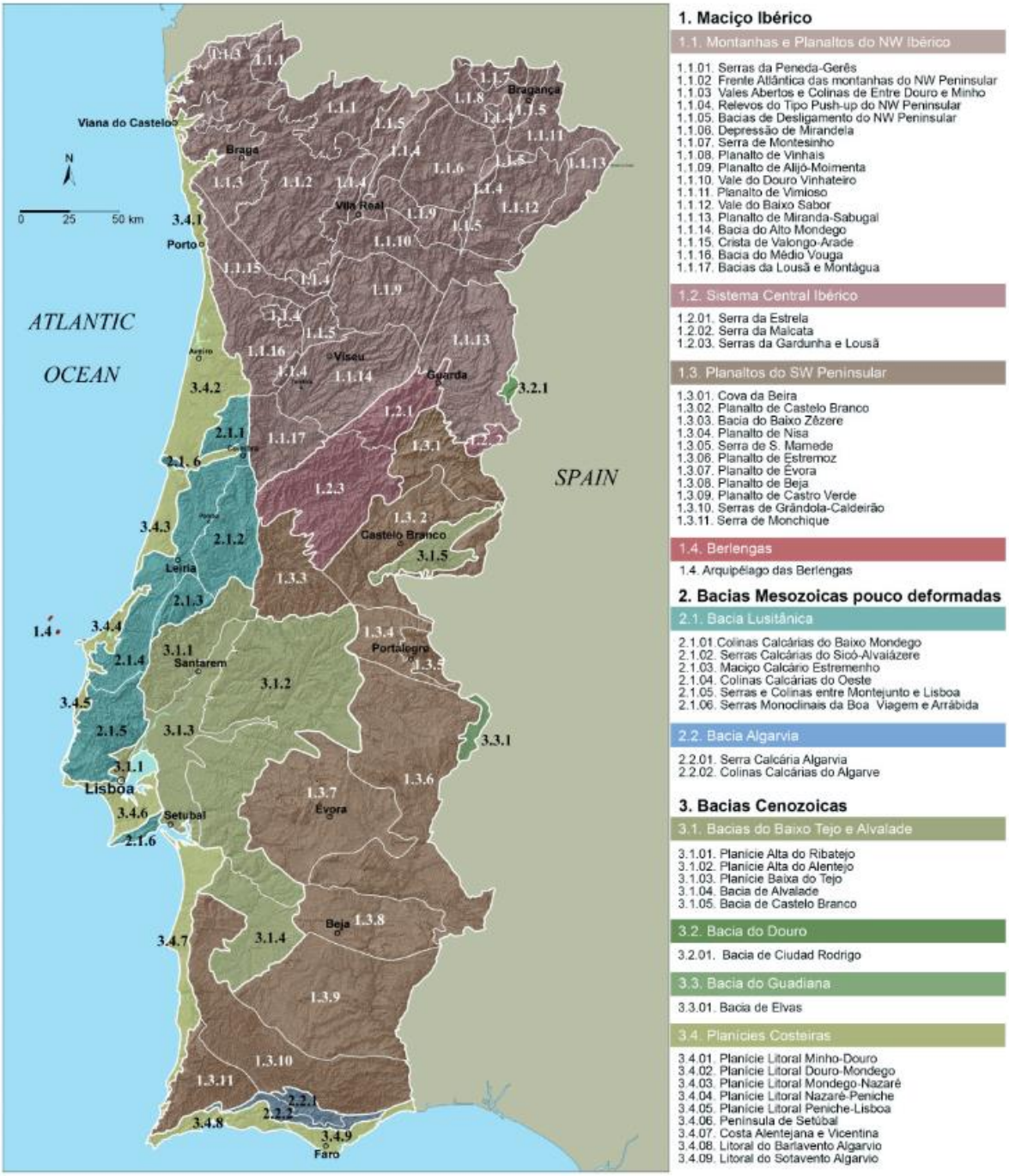

Figura 5 - Mapa das unidades geomorfológicas de Portugal Continental (Pereira *et al.,* 2014)

1.4 Metodologia de trabalho

De modo a proceder à avaliação da geodiversidade de Portugal Continental é proposta uma metodologia baseada na original proposta de Pereira *et al.* (2013) e nas propostas seguintes de Silva *et al.* (2013; 2014) e Araujo e Pereira (2018). Foi alterada a dimensão da grelha colocada sobre os mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos com escalas compreendidas entre 1:500 000 e 1:1 000 000. Neste trabalho aplicámos uma grelha de 16x10 km, correspondente às folhas das Cartas Militares à escala 1/25000.

A avaliação da geodiversidade foi feita através da contagem de ocorrência de unidades litológicas, de relevo e pedológicas. Foram obtidos assim os diversos mapas de geodiversidade. O mapa final de geodiversidade resulta assim da conjugação dos diversos valores obtidos, devidamente uniformizados de forma a atribuir pesos semelhantes aos diferentes componentes.

Além disso, foi feita a avaliação quantitativa de recursos geológicos, sendo eles, minerais e hídricos. Para os recursos minerais foi feita a contagem do número total de ocorrências minerais em cada célula da grelha. Para os recursos hídricos foram considerados fatores como a precipitação e linhas de água. Na avaliação da precipitação foi tido em conta o valor máximo da precipitação média anual em cada célula, para as linhas de água será feita uma divisão das células 16x10 km numa nova grelha 2x2 km, onde será considerado o número mais elevado da linha de água segundo o método de Strahler, sendo depois feita uma média das células 2x2 km contidas em cada célula 16x10 km (Figura 6).

Este método foi desenvolvido em ambiente SIG, utilizando o *software* QGIS, tendo sido utilizado várias ferramentas e comandos como *centroids* (de modo a identificar as ocorrências em cada célula), *count points in polygon* (que conta as ocorrências em cada célula) e ainda o comando *rasterize* (para converter os dados vetoriais em dados raster).

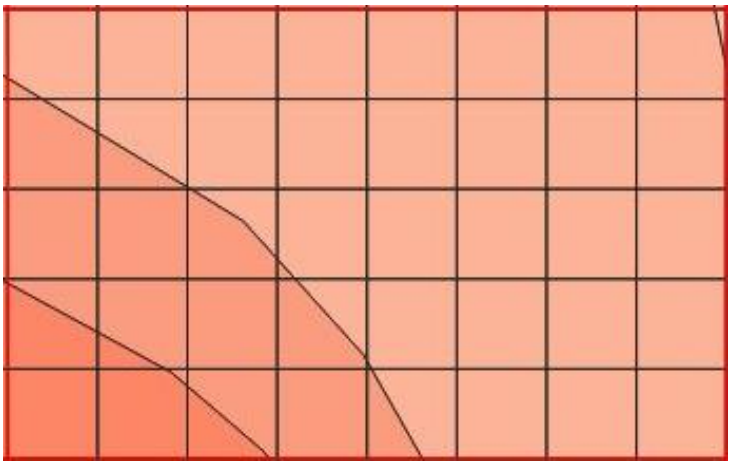

Figura 6 - Exemplo da célula 16x10 km dividida em células 2x2 km

Ao mapa de avaliação da geodiversidade foram ainda sobrepostos, os geossítios do inventário nacional do património geológico, bem como as áreas protegidas de Portugal Continental.

2. Geodiversidade

2.1 A evolução de um conceito

Num planeta tão ativo e variado surgiu a necessidade de conceitualizar a diversidade de elementos abióticos, de modo a facilitar a comunicação dos diversos cientistas desta área e com a população em geral.

Segundo Rojas (2005) *in* Cañadas & Flaño (2007), o termo "geodiversidades" é descrito pela primeira vez nos anos 40 do século XX pelo geógrafo argentino Frederico Alberto Daus, para diferenciar as áreas da superfície terrestre. A geodiversidade era considerada uma "diversidade geográfica" de lugares, cidades e regiões com especificidade em *habitats* humanos.

Já nos anos 90, após a Convenção da Biodiversidade do Rio de 1992, o termo biodiversidade começa a ser cada vez mais utilizado por todo o mundo, obtendo especial importância em termos científicos e políticos, sendo cada vez mais utlizado nas estratégias de conservação da natureza, enquanto que a geodiversidade apenas nas últimas duas décadas começa a dar os primeiros passos, fazendo com que o número de artigos sobre a biodiversidade seja acentuadamente superior ao da geodiversidade e seja, por vezes, relegado para segundo plano, em ações de conservação da natureza. Como resultado desta globalização, tornou-se óbvio para diversos geocientistas que os elementos abióticos da Terra têm também uma grande diversidade, sendo então necessário um termo que a definisse (Gray, 2008).

É então, na Conferência de Malvern sobre a Conservação Geológica e Paisagística, que surge a definição, mais próxima da atual, do termo "geodiversidade", utilizada por Sharples (1993), Kiernan (1994; 1996; 1997) e Dixon (1995; 1996) em estudos de conservação geológica e geomorfológica na Austrália (Gray, 2004).

Atualmente é bem aceite o conceito de geodiversidade proposto por Gray (2004) que a define como a diversidade natural dos elementos geológicos e geomorfológicos incluindo os minerais, fósseis, solos, paisagem e seus processos. Uma outra definição referida frequentemente é a da *Royal Society for Nature Conservation* do Reino Unido que define a geodiversidade como a variedade de ambientes geológicos, fenómenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra.

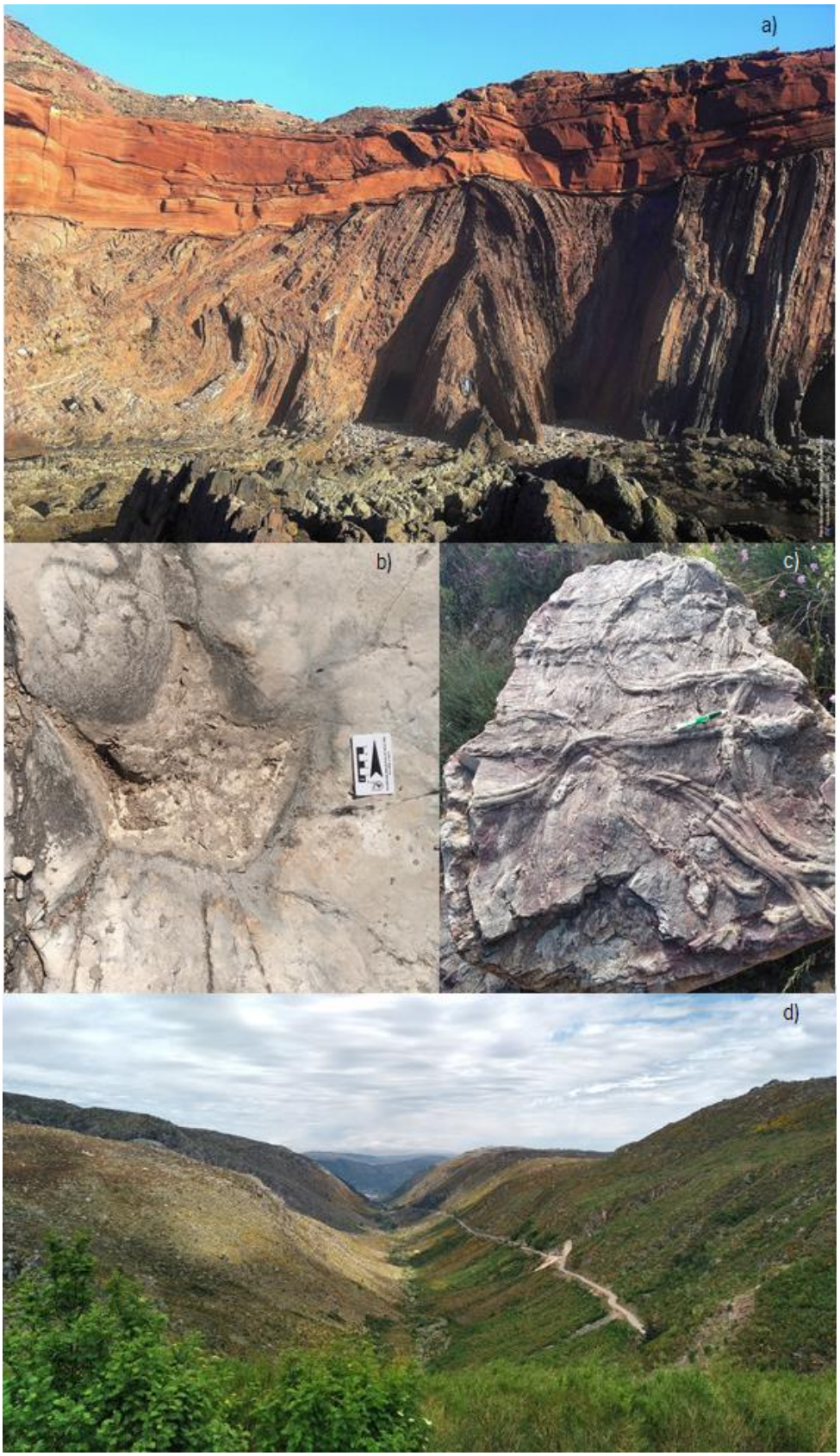

Figura 7 - Exemplos de casos notáveis da geodiversidade de Portugal Continental (Património Geológico): a) Discordância angular da Praia do Telheiro (foto de J. Brilha); b) Pegadas de Dinossauros de Vale de Meios (do autor); c) Icnofósseis de Penha Garcia (do autor); d) Vale Glaciário do Zêzere (do autor)

2.2 Valores da Geodiversidade e a sua relação com os serviços ecossistémicos

De modo a justificar a proteção e conservação da geodiversidade, foi proposto por vários autores a atribuição de diversos valores à geodiversidade. Wilson (1994) atribuiu dois principais valores dos recursos físicos terrestre. O valor económico proveniente da exploração dos recursos naturais e o valor cultural/patrimonial na proteção da qualidade estética e científica do ambiente físico. Outros autores (Bennett & Doyle, 1997; Doyle & Bennett, 1998), expandiram esta classificação para quatro grupos: valor intrínseco, valor estético e cultural, valor económico, valor científico e educacional. Por fim Gray (2004), sugere uma classificação baseada em seis valores (Tabela 1):

- Valor intrínseco/existencial;

O valor com talvez a maior subjetividade e mais difícil de descrever uma vez que envolve perspetivas éticas, filosóficas e religiosas de uma cultura ou sociedade, e refere-se à crença de que a Natureza tem um valor por si só, independentemente do valor ou uso que possa ter para a sociedade (Gray, 2004; Brilha, 2005).

- Valor cultural;

É o valor atribuído pela sociedade a um determinado aspeto geológico quando este tem uma forte ligação com o meio social ou cultural que o rodeia. É um dos valores mais fáceis de encontrar estando muitas vezes ligado a lendas e mitologias (Figura 9), e também relacionado com motivos arqueológicos e históricos. Além disso, a nomenclatura de localidades, o tipo de construção típica de uma região e até o uso de um fenómeno geológico como método publicitário de uma localidade/região são exemplos deste valor cultural (Gray, 2004; Brilha, 2005).

- Valor estético;

O valor estético refere-se ao apelo visual que uma paisagem natural tem para quem o visualiza. Estas paisagens podem ter todo o tipo de escalas, desde as grandes cadeias montanhosas até a uma pequena lagoa. Curiosamente, em Portugal Continental, tem aumentado o número de visitantes a locais como a Costa Vicentina e o Parque Nacional Peneda-Gerês por causa das belas paisagens que proporcionam (Figura 10) (Gray, 2004; Brilha, 2005).

- Valor económico;

Este valor é usualmente colocado às rochas, minerais, fósseis e solos, tendo em conta as suas características e necessidades do mercado económico. A sociedade atual tem uma grande dependência dos recursos geológicos seja por razões energéticas (combustíveis fósseis, minerais radioativos, entre outros), minerais metálicos e não metálicos, materiais de construção, recursos hídricos e ainda na joalharia (Gray, 2004; Brilha, 2005).

- Valor funcional;

Apesar de este valor não ser discutido em planos de conservação da natureza, os solos, sedimentos, rochas e as formas de relevo possuem um importante papel nos sistemas ambientais. São reconhecidas duas subdivisões deste valor: o valor utilitário para o Homem *in situ*; o valor funcional no fornecimento de substratos e habitats de modo a manter os sistemas físicos e ecológico da superfície terrestre (Gray, 2004; Brilha, 2005).

- Valor científico e educativo;

Por fim, este valor é em vários modos o mais importante, dado que a Natureza é o laboratório para a investigação em Ciências da Terra. Este estudo permite ao Homem conhecer a história do nosso planeta, melhorando a sua relação com a geodiversidade, melhorando a sua qualidade de vida e diminuindo o impacto ambiental das suas ações. Além disso, é essencial uma educação em Ciências da Terra com contacto direto com a geodiversidade na forma de visitas de estudo e saídas de campo (Figura 11) (Gray, 2004; Brilha, 2005).

Tabela 1 - Resumo dos valores da geodiversidade (adaptado e traduzido de Gray, 2004)

Valor intrínseco	1. Valor intrínseco
Valor cultural	2. Folclore
	3. Arqueológico/Histórico
	4. Espiritual
	5. Senso de lugar
Valor estético	6. Paisagens locais
	7. Geoturismo
	8. Atividades de lazer
	9. Apreciação á distancia
	10. Atividades de voluntariado
	11. Inspiração artística
Valor económico	12. Energia
	13. Minerais industriais
	14. Minerais metálicos
	15. Minerais de construção
	16. Pedras Preciosas
	17. Fósseis
	18. Solos
Valor funcional	19. Plataformas
	20. Armazenamento e reciclagem
	21. Saúde
	22. Enterro

	23. Controlo da poluição
	24. Química da água
	25. Função dos solos
	26. Funções nos sistemas geológicos
	27. Funções nos ecossistemas
Valor científico e educativo	28. Descobertas científicas
	29. História da Terra
	30. História científica
	31. Monotorização ambiental
	32. Educação e formação

Estes valores servem de base aos chamados serviços ecossistémicos, referindo-se aos bens e serviços que a sociedade pode obter, derivados da natureza. Nos últimos anos surgiram vários sistemas de classificação dos serviços ecossistémicos, sendo o *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), um dos mais relevantes, tendo sido mesmo utilizado pela *UK National Ecosystem Services* (2011), classificando os serviços em 4 grupos: (Brilha *et al.*, 2018)

- Serviços de regulação – a forma como os processos naturais regulam o ambiente;
- Serviços de suporte – os processos que suportam os ambientes naturais;
- Serviços de provisão – os materiais naturais utilizados pela sociedade;
- Serviços culturais – os elementos não tangíveis da natureza que possuem um benefício espiritual e cultural para a sociedade;

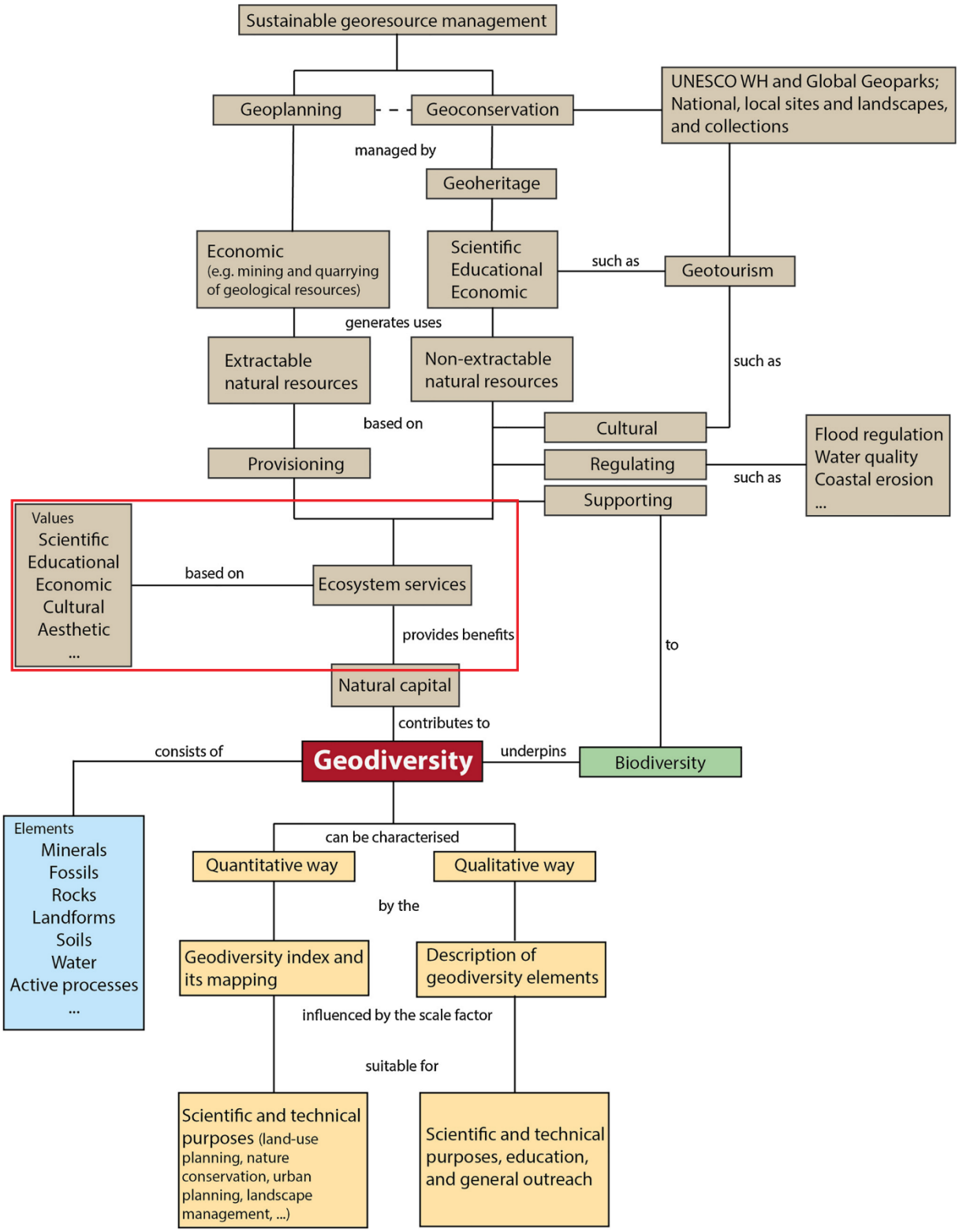

Figura 8 - Rede de definições e relação, a partir do conceito de Geodiversidade. Realçado a relação entre os valores da Geodiversidade e os serviços ecossistémicos (modificado de Brilha *et al.*, 2018)

Tabela 2 - Exemplos dos benefícios da geodiversidade, tendo em conta o *Millenium Ecosystem Assessment* (2005) e as principais divisões de cada tipo de serviço (Adaptado e traduzido de Brilha *et al.*, 2018)

Serviço	Divisão	Benefícios	Beneficiado	Tipo
Regulação	Atmosfera	Circulação dinâmica	Ecossistemas/Homem	Bio/Geo
		Química atmosférica		
		Qualidade do ar e regulação climática		
		Ciclo da água		
	Geosfera/Hidrosfera	Ciclo das rochas	Homem	
		Ciclo da água		
		Ciclo do carbono e outros ciclos biogeoquímicos		
		Captura de carbono		
		Armazenamento e regulação climática		
		Regulação da erosão dos solos		
		Regulação dos desastres naturais		
		Regulação da qualidade da água devido á circulação pelas rochas e sedimentos		
Suporte	Solo	Alteração das rochas e desenvolvimento de solos para agricultura e a floresta	Ecossistemas/Homem	Bio/Geo
		Fornecimento de habitats		
	Água	Suporte de vida		
		Diversidade de habitats	Ecossistema	
		Plataforma de transporte	Homem	
	Rochas á superfície e formas de relevo	Fornecimento de habitats e criação de corredores ecológicos	Ecossistema	Geo
		Plataforma para infraestruturas e desenvolvimento urbano	Homem	
	Rochas á profundidade e formas de relevo	Enterro e armazenamento		
		Fornecimento de habitats	Ecossistema	Bio/Geo
Provisão	Nutrientes	Nutrientes inorgânicos essenciais á vida	Ecossistemas/Homem	Bio/Geo
	Alimentação	Água para consumo e sal	Homem	Geo
	Materiais de construção	Construção e pedra ornamental		
	Minerais industriais e metálicos	Carros, computadores, telemóveis, fertilizantes, medicamentos, papel, próteses, ...		
	Recursos energéticos	Petróleo, gás natural, carvão, urânio		
		Calor geotérmico		
		Energia hidroelétrica, energia mare motriz		
	Produtos ornamentais	Joalharia e pedras preciosas		
Culturais	Saúde e bem-estar	Spas		
		Inspiração artística		Bio/Geo
		Paisagens naturais no tratamento físico e mental		
	Recreação	Atividades turísticas e desportivas		
	Históricos	Locais sagrados e históricos		
		Uso das rochas na construção de monumentos e outros edifícios		
	Conhecimento	História e evolução da Terra		
		Origem e evolução da vida		
		Estudos de paleoambientes e paleoclimas		

Figura 9 - Icnofósseis de trilobites, Penha Garcia. Estes icnofósseis alimentaram lendas de serpentes petrificadas, associadas a lenda da Moura Encantada (do autor)

Figura 10 - Miradouro da Pedra Bela, Parque Nacional da Peneda Geres. Um local procurado devido á beleza da paisagem (do autor)

Figura 11 - Programa educativo do Geopark Terras de Cavaleiros. Os geoparques oferecem um diverso leque de oportunidades educativas para os alunos dos diferentes niveis escolares (Geopark Terras de Cavaleiros, 2020)

2.3 Ameaças à geodiversidade

Apesar de as rochas transmitirem uma imagem de resistência e estabilidade, estas encontram-se muitas vezes em situações de grande ameaça, sendo a principal causa a atividade humana seja por meios diretos ou indiretos. Estas ameaças sucedem-se a diversas escalas e graus, que pode ser a destruição de um pequeno afloramento ou a degradação da paisagem natural (Brilha, 2005).

Para Gray (2004) os impactos do Homem na geodiversidade podem ser resumidos em:

- Perda completa de um elemento de geodiversidade;
- Dano físico ou perda parcial;
- Fragmentação de interesse;
- Perda de visibilidade ou intervisibilidade;
- Perda de acesso à geodiversidade;
- Interrupção de processos naturais e impactos *ex situ*;
- Poluição;
- Impacto visual.

Além disso Brilha (2005), apresenta um conjunto de principais atividades humanas que causam estes impactos que são:

- Exploração de recursos geológicos;
- Desenvolvimento de obras e estruturas;
- Gestão de bacias hidrográficas;
- Florestação, desflorestação e agricultura;

- Atividades militares;
- Atividades recreativas e turísticas;
- Colheita de amostras para fins não científicos;
- Iliteracia cultural.

Porém algumas destas atividades têm um valor positivo para a geodiversidade, como é o caso da exploração dos recursos geológicos, uma vez que nos permite estudar locais que não estão normalmente acessíveis, e ainda alguns locais com importante valor paleontológico que estão associados a antigas explorações de recursos como a Pedreira do Galinha e a Pedreira do Avelino, que devido aos icnofósseis de dinossauro, são hoje considerados Monumentos Naturais. Também a Pedreira do Valério em Arouca se pode encontrar fantásticos exemplares de trilobites, que tiveram um importante papel na criação do Arouca Geopark.

Figura 12 - *Graffiti* num bloco granítico alusivo ao Rally de Fafe (Foto: WRC)

Figura 13 - Impacto visual das pedreiras no Parque Natural Serras de Aire e Candeeiros (Foto: Diário Noticias)

Figura 14 - Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas. Esta jazida foi descoberta graças á pedreira que existia no local (Foto: Liga para a proteção da natureza)

2.4 Geoconservação

Tendo em conta que a geodiversidade enfrenta diversas ameaças é, portanto, necessário proceder á sua proteção e conservação, de modo a que as gerações futuras possam usufruir dela.

Para Brilha (2005), a necessidade de conservação de um geossítio é igual à soma do seu valor mais as ameaças que o mesmo enfrenta. Além disso, a geoconservação tem como objetivo o uso e gestão sustentável da geodiversidade, de um modo mais amplo, e num sentido mais restrito o uso e gestão de alguns elementos de geodiversidade que tenham um valor superior e especial, em relação à média. Uma vez que não é possível conservar toda a geodiversidade, as estratégias de conservação devem focar-se nos elementos com maior valor e mais ameaçados, mas não devem ser excluídos desta proteção os testantes elementos de geodiversidade.

Tendo em conta os diferentes conceitos dentro da geodiversidade, é importante então apresentar as suas definições:

Geossítio – ocorrência geológica, bem delimitada geograficamente com um especial valor científico;

Património geológico – conjunto de geossítios inventariados e caracterizados numa dada área ou região;

Geoconservação – conservação e gestão do património geológico e processos naturais a ele associados.

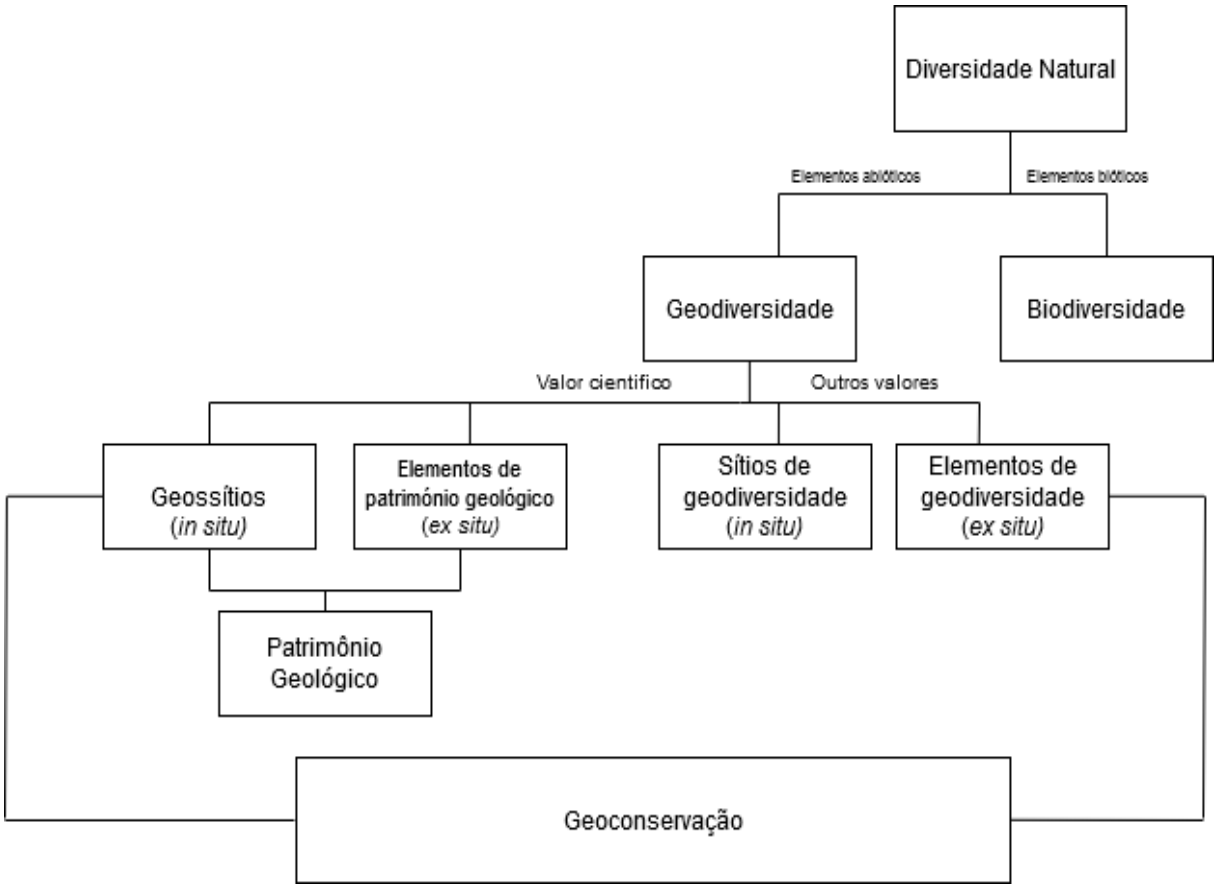

Figura 15 - Estrutura conceitual de geodiversidade, geoconservação e património geológico (adaptado de Brilha, 2015)

3. Avaliação da geodiversidade de Portugal Continental

3.1 Classificação da geodiversidade

No que diz respeito à avaliação da geodiversidade de Portugal Continental é necessário proceder-se ao cálculo do índice da geodiversidade, que resulta na soma dos diferentes índices, que são obtidos através da contagem do número de ocorrências em cada uma das células da grelha 16x10km sobreposta em cada mapa.

O método utilizado baseia-se na metodologia inicialmente proposto por Pereira *et al.* (2013), onde foi colocada uma grelha 25x25km sobre diferentes mapas da região em estudo, de modo a calcular os índices litológicos, geomorfológicos, paleontológicos, pedológicos e ocorrências minerais. Depois foi somado o resultado dos índices parciais, tendo depois sido produzido o mapa da geodiversidade usando isolinhas para juntar as células com os mesmos valores de geodiversidade. Posteriormente Silva *et al.* (2013; 2014) introduziram pequenas modificações à proposta anterior, aperfeiçoando os procedimentos realizados em ambiente SIG. Mais tarde, Araujo (2016) e Araujo e Pereira (2018) propõe uma mudança na metodologia anterior, adicionando os recursos hídricos aos restantes índices da geodiversidade.

Outros métodos têm vindo a ser propostos para a avaliação da geodiversidade. Destacamos a proposta de Forte *et al.* (2018) que propõe um novo método baseado numa operação de sobreposição, com diferentes conjuntos de dados (geologia, geomorfologia, hidrografia, solos), que combina as características de todos os conjuntos de dados num único conjunto de dados poligonais. Os novos polígonos são então transformados em características pontuais, seguidas de uma análise *kernel*.

Neste trabalho vão apenas ser utilizados três dos índices para o cálculo da geodiversidade: a diversidade litológica, diversidade geomorfológica e diversidade pedológica. A escolha destes índices teve como base as conclusões do trabalho de Forte *et al.* (2018), que considera os índices geomorfológico e litológico os principais para a avaliação da geodiversidade. Além disso o índice paleontológico não foi também considerado, porque a obtenção dos paleontológicos é feita a partir das rochas com conteúdo fóssil presente nos mapas litológicos, o que levaria a uma dupla avaliação do mesmo atributo. As diversidades hídricas e minerais serão avaliados de forma quantitativa e serão considerados como recursos geológicos.

Para tal foram utilizados os seguintes mapas:

- Índice litológico: mapa litológico de Portugal Continental á escala 1/500.000 (LNEG), onde foi feita a contagem por célula do número de litologias diferentes;
- Índice geomorfológico: mapa geomorfológico de Portugal Continental á escala 1/500.000, onde foi feita a contagem por célula do número de unidades geomorfológicas diferentes;

- Índice pedológico: mapa de solos de Portugal Continental á escala 1/1.000.000 (Atlas do ambiente), onde foi feita a contagem por célula do número de solos diferentes.

Além disso, de modo a avaliar os recursos geológicos foram usadas:

- Recursos minerais: Depósitos minerais de Portugal (SIORMINP) á escala 1/500.000 – LNEG, onde foi feita a contagem total do número de ocorrências minerais em cada célula;
- Recursos hídricos:
    - Rede hidrográfica nacional (SNIAMB), onde foi feita a avaliação do valor médio em cada célula;
    - Precipitação média anual (SNIAMB), onde foi feita a avaliação do valor médio em cada célula.

Por fim, de modo a estabelecer uma eventual relação da geodiversidade com RNAP, utilizamos:

- Mapa da rede nacional de áreas protegidas de Portugal Continental, disponibilizado pela EPIC WebGIS Portugal;

Para estabelecer uma eventual relação da geodiversidade com a biodiversidade usamos alguns dados disponíveis, nomeadamente:

- Atlas dos mamíferos de Portugal, elaborado por Bencatel *et al.,* 2019 da Universidade de Évora;
- Atlas dos morcegos, elaborado pelo ICNF;
- Atlas dos bivalves, elaborado por Reis (2006) e disponibilizado pelo ICNF;
- Inventário florestal nacional (IFN), disponibilizado pelo ICNF.

De modo a que estas contagens e análises pudessem ser feitas foram criadas duas grelhas:

- Uma grelha 16x10km, correspondendo à grelha 1/25.000 utilizada oficialmente nos mapas em Portugal, totalizando 649 células de igual tamanho;
- Uma subgrelha 2x2km utilizada na avaliação da rede hidrográfica.

3.2 Índices parciais da geodiversidade

De seguida serão descritos os processos de quantificação dos elementos litológicos, pedológicos e geomorfológicos, sobrepostos à grelha 16x10km. Com isto, obtêm-se os índices para a avaliação da geodiversidade.

3.2.1 Diversidade litológica

De modo a obter a diversidade litológica foi utilizada a carta geológica de Portugal Continental em formato *shapefile* á escala 1/500.000 (Figura 17), sendo depois trabalhada no QGis, onde foi feita a contagem em cada célula do número de litologias diferentes contidas em cada uma (Figura 16).

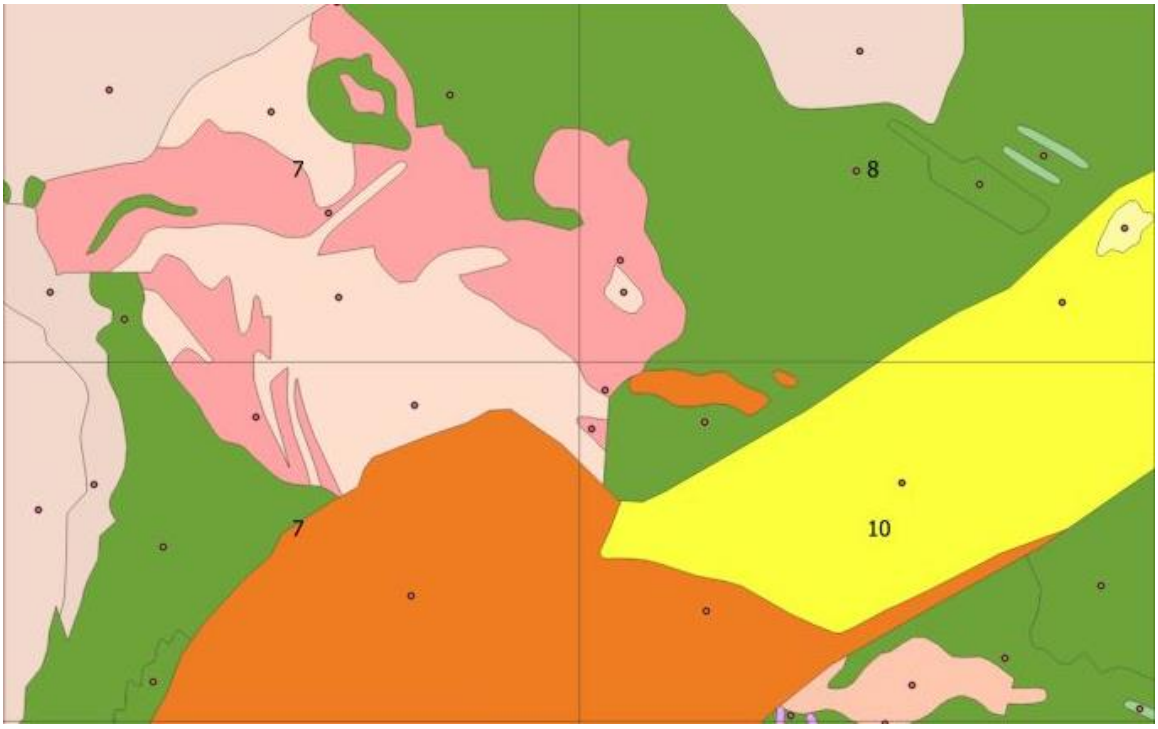

Figura 16 - Exemplo da contagem de litologias diferentes

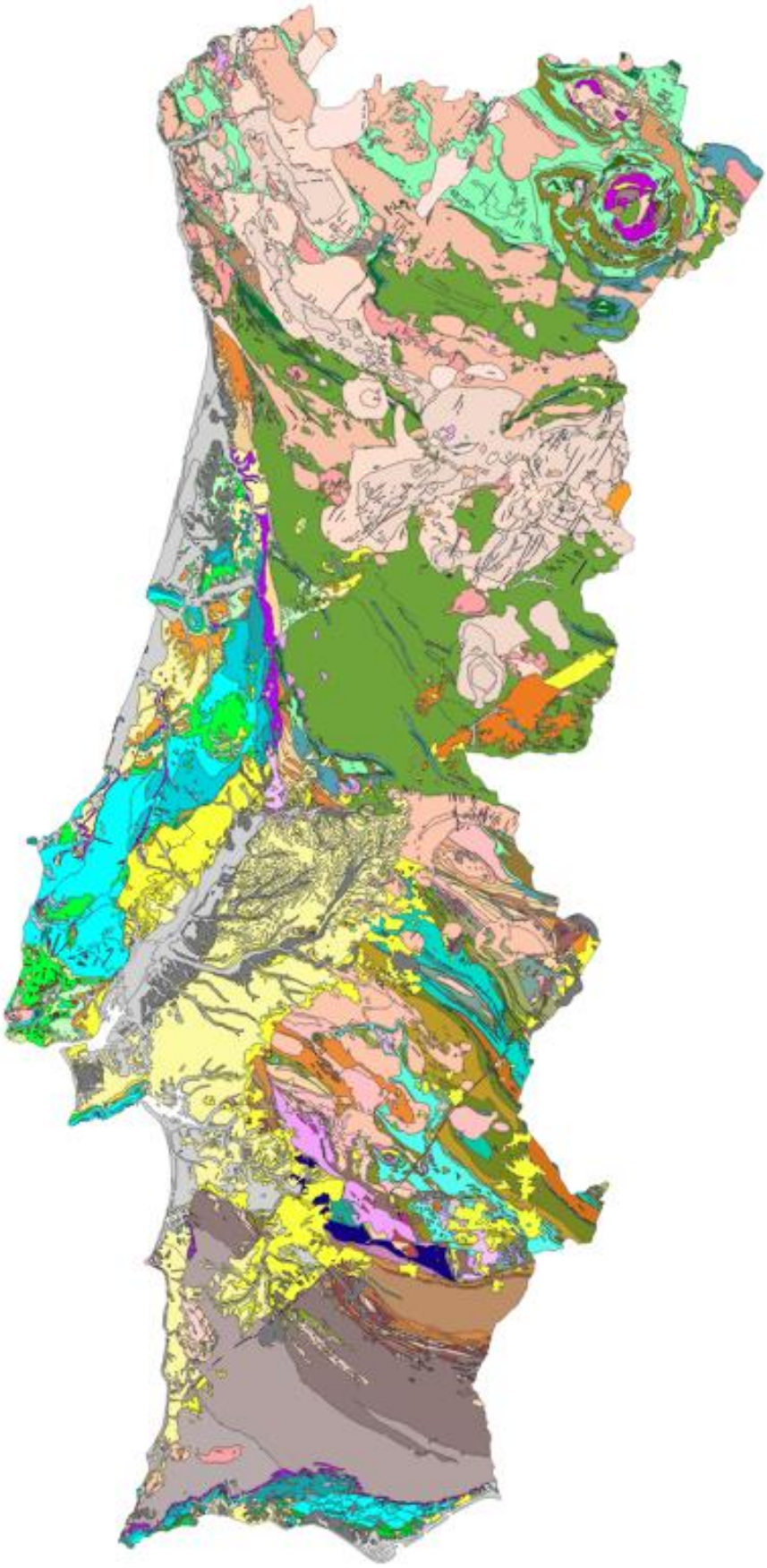

Figura 17 - Carta geológica de Portugal Continental à escala 1/500.000 (Fonte: LNEG)

De modo a quantificar o número de unidades litológicas na grelha 16x10km foram efetuados os seguintes passos:

1) Sobreposição da carta geológica de Portugal Continental com a grelha 16x10km, através do comando *intersection*;
2) Identificação de cada litologia diferente dentro de cada célula da grelha, com o comando *centroids* (Figura 18);
3) Contagem das litologias diferentes dentro de cada célula da grelha, através do comando *count points in polygon* (Figura 18);
4) Normalização dos valores da contagem das litologias, entre 0 e 1, utilizando a fórmula $\frac{x-\min(x)}{\max(x)-\min(x)}$;
5) Elaboração do mapa de diversidade litológica (Figura 19);

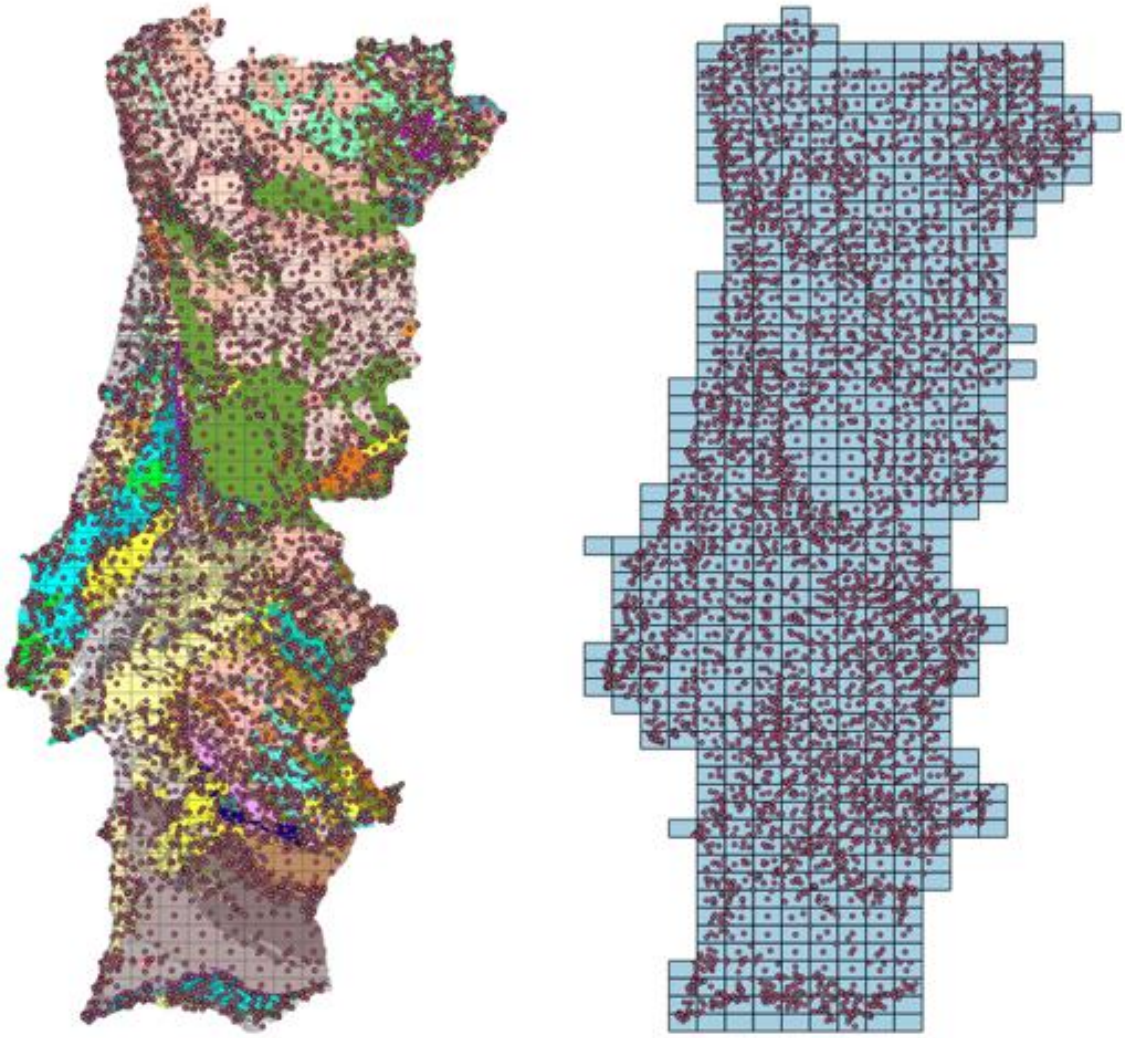

Figura 18 - Ocorrências litológicas em cada célula. À esquerda com a carta geológica como fundo e á direita com a grelha.

O número de litologias diferentes por célula situa-se entre 0 e 20 litologias diferentes, sendo estas depois normalizadas de modo a que no final, todos os índices tenham o mesmo valor. De seguida foi feita a classificação da litologia numa escala de 0,05 valores, totalizando em vinte classes entre 0 e 1.

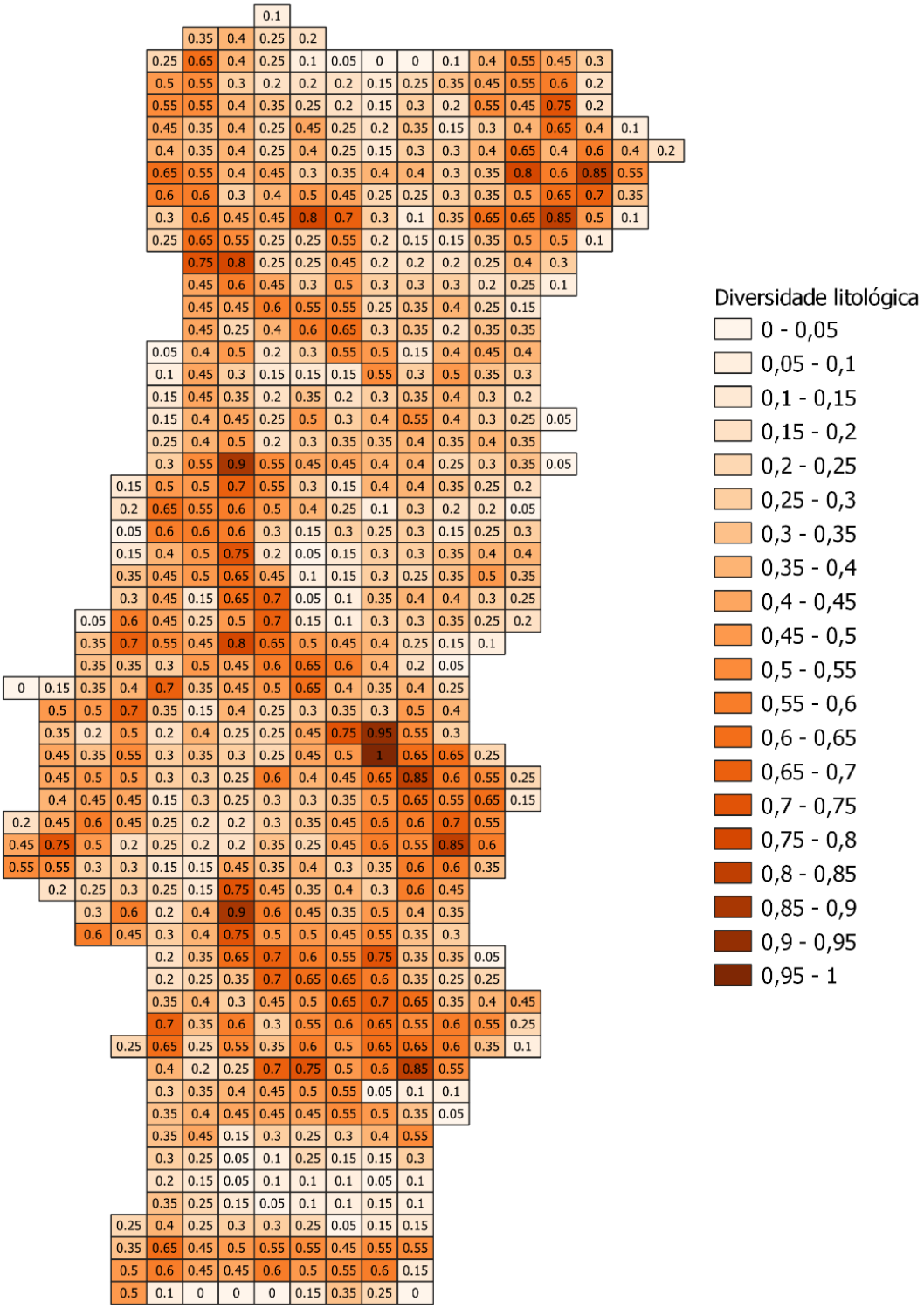

Figura 19 - Diversidade litológica normalizada após a classificação

Tendo em conta o mapa da diversidade litológica obtido (Figura 19), é possível visualizar alguns *hotspots* no território nacional continental, que estão localizados:

1. A NE de Portugal Continental – Nesta zona estão incluídas algumas das formações geológicas mais complexas de Portugal Continental. Aqui pudemos encontrar um cavalgamento dos Terrenos Alóctones do NW Ibérico sobre o Autóctone, fazendo com que haja uma sobreposição da Zona Galiza e Trás os Montes sobre a Zona Centro Ibérica. Algumas das formações mais importantes são o Maciço de Morais e Bragança e ainda a falha da Vilariça que condicionam a geologia local;
2. Centro-Oeste de Portugal Continental – No distrito de Portalegre, este local corresponde aos limites da Zona Centro Ibérica com a Zona da Ossa Morena. Aqui podem ser encontrados os principais sectores da Zona da Ossa-Morena, como o Sector Elvas – Alter do Chão, Sector de Extremoz – Barrancos, Sector Montemor – Ficalho e a Faixa Blastomilonítica. A Falha da Messejana também representa um papel importante na diversidade geológica.
3. Sul de Portugal – Associado ao limite entre a Zona da Ossa Morena e a Zona Sul Portuguesa onde o Antiforma Pulo do Lobo contribui para a diversidade geológica da região.

Além destes locais, existem também alguns isolados com alta diversidade litológica, que parecem seguir o alinhamento da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba, em que os afloramentos mais a norte do país, correspondem à Zona da Ossa Morena, localizada mais a sul (Figura 20).

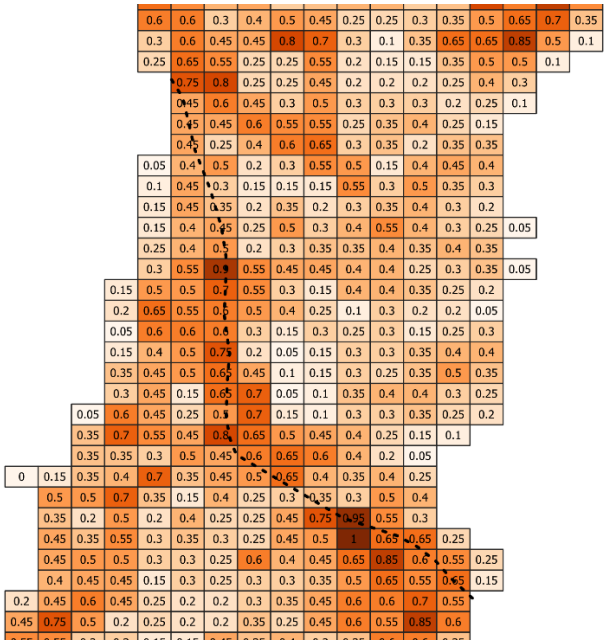

Figura 20 - Sobreposição da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Badajoz-Córdoba com a diversidade litológica. De norte para sul estão marcados os municípios do Porto, Coimbra, Tomar e Badajoz (Espanha).

3.2.2 Diversidade pedológica

De modo a obter-se a diversidade pedológica utilizou-se o método descrito anteriormente, sendo utilizado o mapa de solos à escala 1/1.000.000, do Atlas do ambiente (Figura 21).

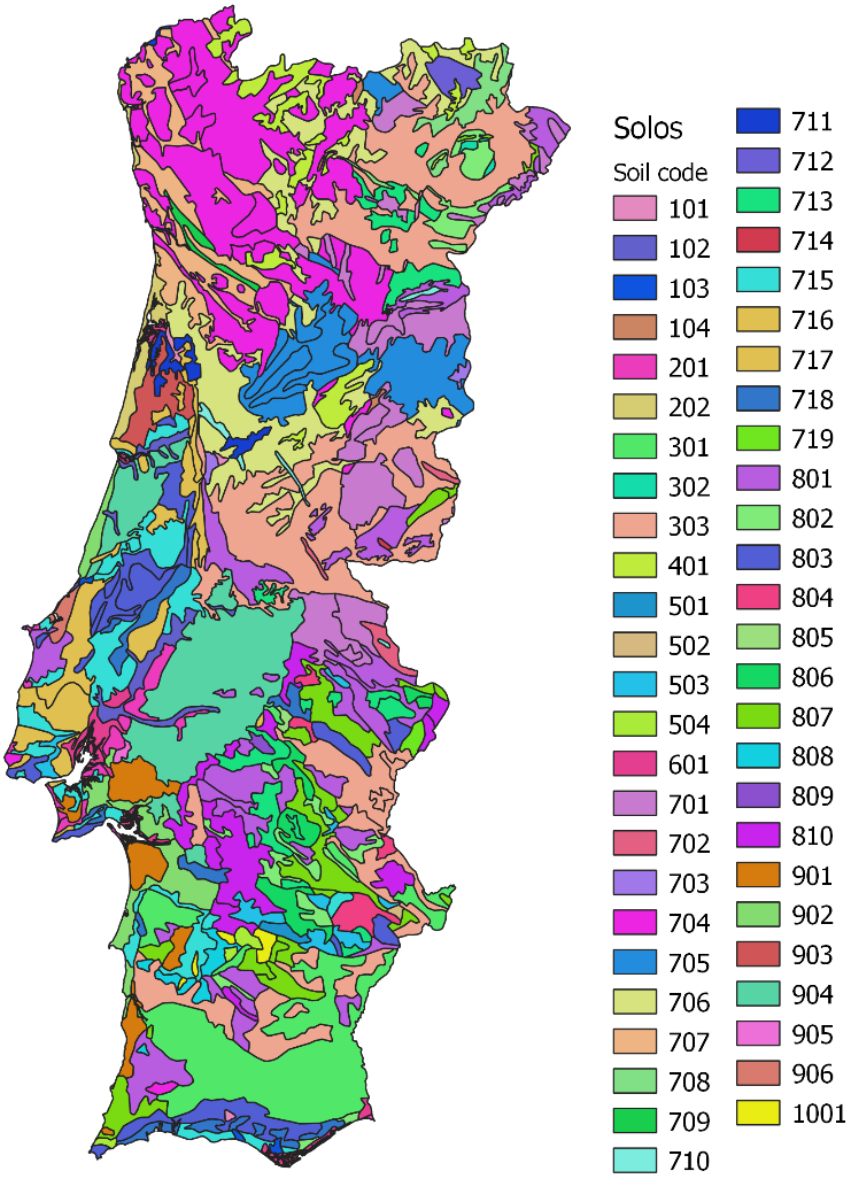

Figura 21 - Mapa de solos 1/1.000.000 (adaptado do Atlas do Ambiente)

Foram seguidos os mesmos passos que os utilizados para a diversidade litológica com a aplicação da mesma grelha na carta de solos, a contagem de cada tipo de solos diferente em cada célula, a normalização dos valores e finalmente a criação do mapa da diversidade de solos.

O número de solos diferentes situa-se entre 0 e 9, que foram devidamente normalizados para valores de 0 a 1 e avaliados numa escala de intervalo de 0,05 valores, totalizando vinte classes (Figura 22).

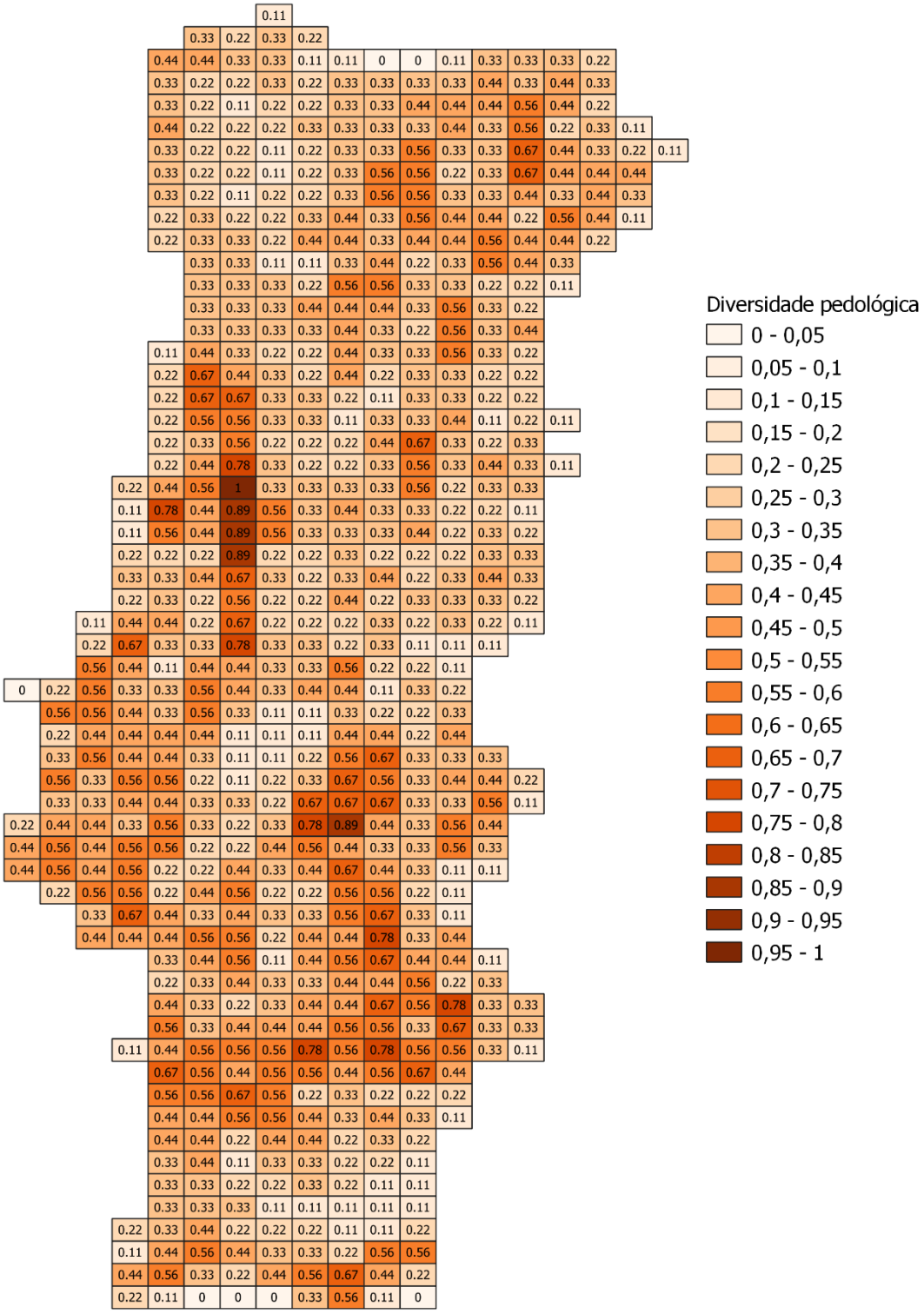

Figura 22 - Diversidade pedológica normalizada após a classificação

Analisando o mapa da diversidade pedológica é visível dois *hotspots* no território nacional.

Com valores compreendidos entre 0,78 e 1, na região de Coimbra temos o *hotspot* com maior expressão. Nesta zona existe um variado de Cambissolos associados a rochas sedimentares e metamórficas, mais concretamente xistos e quartzitos, alguns Podzóis e raros Litossolos. Segundo a Direção Geral do Território (Observatório ordenamento do território e urbanismo), à escala das NUTS III, a região de Coimbra tem uma elevada proporção de ocupação dos solos por florestas (cerca de 60%), sendo mesmo nesta região onde se encontra a maior taxa de ocupação pelas florestas. Além disso nesta região existe também uma moderada ocupação dos solos para a agricultura (19%).

O segundo *hotspot* localiza-se na região de Évora, com valores entre 0,67 e 0,89. Esta grande diversidade deve-se aos vários tipos de Luvissolos que abundam na região, alguns Cambissolos e raros Litossolos. Esta região está incluída no Alto Alentejo que segundo a Direção Geral do Território (Observatório ordenamento do território e urbanismo), à escala NUTS III, há um uso e ocupação equitativa do solo para floresta (31%), superfícies agroflorestais (21%), pastagens (18%) e agricultura (22%).

3.2.3 Diversidade Geomorfológica

Por fim, para se obter a diversidade geomorfológica foram também seguidas as etapas de processamento descritas anteriormente. Para tal foi utilizado, como base, o mapa de unidades geomorfológicas à escala 1/500.000 (Pereira *et al.* 2014) (Figura 23), tendo sido acrescentadas unidades geomorfológicas de 4º nível, seguindo a mesma metodologia. Este mapa das unidades geomorfológicas, constitui um primeiro ensaio de unidades de 4º nível, não publicado e facultado pelos Professores Renato Henriques e Diamantino Pereira.

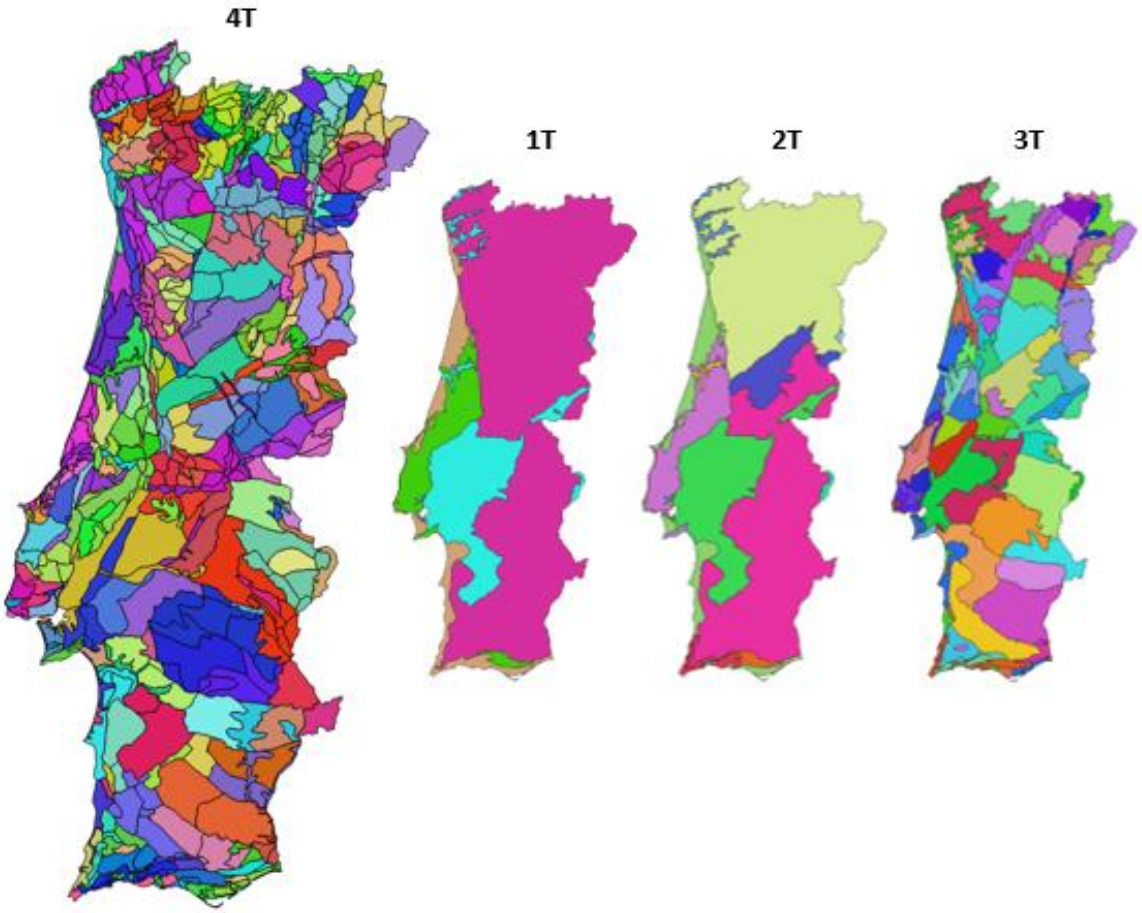

Figura 23 - Mapas das Unidades Geomorfológicas aos vários níveis (1T, 2T, 3T). Em destaque está o mapa geomorfológico 4T utilizado.

Como referido anteriormente, as unidades geomorfológicas "*são descritas através de características do relevo, dissecção fluvial, estruturas, tipo de drenagem e base geológica, bem como de parâmetros numéricos gerados de forma automática, como classes de altitude e de declividade*." (Pereira *et al.*, 2014).

O 4ºnível aqui utlizado, "*refere-se às formas de relevo individualizadas na unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas, quanto à gênese, podem ser: agradação ou erosão, como as planícies fluviais ou marinhas, terraços fluviais ou marinhos, ou de denudação, como colinas, morros e cristas*" (Pereira *et al.*, 2014).

A contagem das unidades geomorfológicas por célula, resultou em valores entre 0 e 13 que foi posteriormente normalizado para valores entre 0 e 1, tendo sido assim obtido o mapa de diversidade geológica (Figura 24).

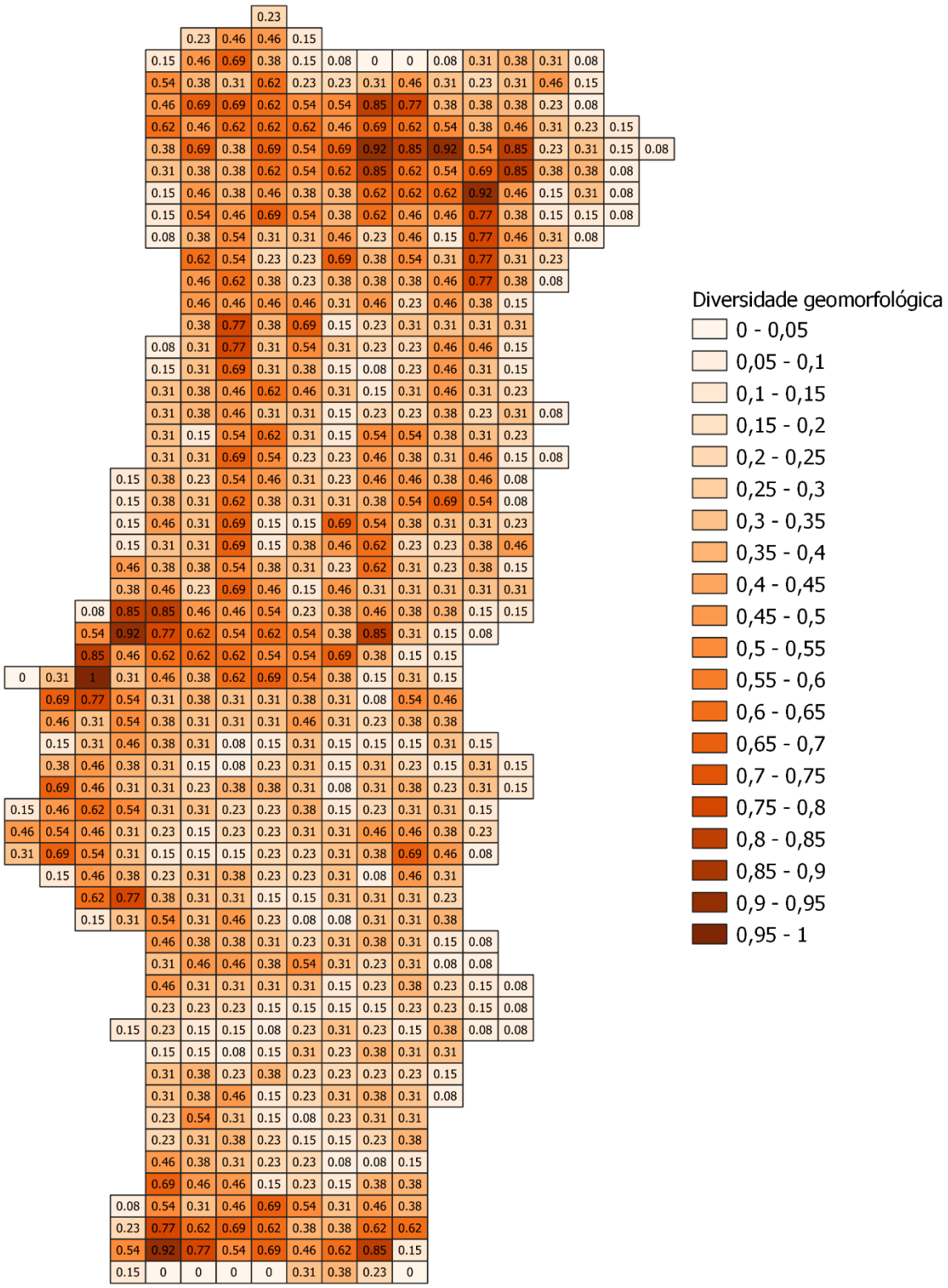

Figura 24 - Diversidade geomorfológica normalizada

Analisando o mapa obtido podem ser identificados três *hotspots* de diversidade geomorfológica.

O primeiro com valores entre 0,69 e 1 localizada na zona de Leiria onde as principais unidades de 1º nível são as Bacias Cenozoicas e as Bacias Mesozoicas pouco deformadas. De 2º nível destaca-se as planícies costeiras, mais concretamente a Planície Litoral Nazaré-Peniche de 3ºnivel, e também Bacia Lusitânica com destaque para as unidades de 3ºnivel das Serras Calcarias do Sicó-Alvaiázere, Maciço Calcário Estremenho e as Colinas Calcárias do Oeste.

O segundo *hotspot* localiza-se a Norte de Portugal Continental, principalmente a Nordeste com valores de diversidade entre 0,69 e 0,92. Aqui apenas se verifica uma unidade de 1º nível, o Maciço Ibérico e uma unidade de 2º nível, as Montanhas e Planaltos do NW Ibérico. Porém ao 3º nível encontra-se um grande conjunto de unidades como as Serras da Peneda-Gerês, relevos do tipo *push-up* do NW Peninsular, as Bacias de desligamento do NW Peninsular, a depressão de Mirandela, o planalto de Alijo-Moimenta, entre outros.

O último *hotspot* localiza-se ao longo de toda a costa sul de Portugal Continental, com valores variando de 0,46 e 0,92 que tem como unidades de 1º nível as Bacias Cenozoicas, as Bacias Mesozoicas pouco deformadas e ainda um pouco do Maciço Ibérico. Das unidades de 2º nível destaca-se as Planícies Costeiras, com as unidades de 3º nível do Litoral do Barlavento Algarvio e Litoral do Sotavento Algarvio, ainda a Bacia Algarvia com as unidades de 3ºnivel da Serra Calcaria Algarvia e as Colinas Calcárias do Algarve, e por fim os Planaltos do SW Peninsular com a unidade da Serra do Monchique de 3º nível.

3.3 Mapa da Geodiversidade

Depois de obtidos os índices parciais de geodiversidade e os seus valores devidamente normalizados de modo a que todos os índices tenham o mesmo valor, foi então criado o mapa final da Geodiversidade (Figura 25).

Através do comando *intersection* do programa QGIS, foram agrupados os valores de todos os índices parciais que foram de seguida somados de modo a obter os valores de geodiversidade total.

Os valores finais de geodiversidade obtidos estão compreendidos entre 0 e 2,37 que foram classificados no esquema de cores de modo a facilitar a visualização dos resultados (Tabela 3).

Tabela 3 - Extrato da tabela dos valores descendentes dos índices parciais e total de geodiversidade. Estão demonstrados os maiores e menores valores de geodiversidade (ID – identificação de cada célula).

ID	Índice Pedológico	Índice Litológico	Índice Geomorfológico	Geodiversidade Final
229	0,78	0,9	0,69	2,37
278	0,89	0,75	0,69	2,33
84	0,67	0,8	0,85	2,32
324	0,67	0,7	0,92	2,29
242	1	0,7	0,54	2,24
266	0,89	0,6	0,69	2,18
69	0,67	0,65	0,85	2,17
327	0,78	0,8	0,54	2,12
254	0,89	0,6	0,62	2,11
632	0,56	0,6	0,92	2,08
479	0,67	0,6	0,77	2,04
348	0,56	0,35	1	1,91
302	0,56	0,65	0,69	1,9
311	0,44	0,6	0,85	1,89
638	0,44	0,6	0,85	1,89
111	0,44	0,65	0,77	1,86
290	0,67	0,65	0,54	1,86
623	0,44	0,65	0,77	1,86
342	0,56	0,6	0,69	1,85
439	0,56	0,75	0,54	1,85
637	0,67	0,55	0,62	1,84
360	0,56	0,5	0,77	1,83
561	0,67	0,85	0,31	1,83
392	0,67	1	0,15	1,82
		...		
171	0,11	0,05	0,08	0,24
215	0,11	0,05	0,08	0,24
238	0,11	0,05	0,08	0,24
262	0,11	0,05	0,08	0,24
509	0,11	0,05	0,08	0,24
580	0,11	0,05	0,08	0,24
603	0,11	0,05	0,08	0,24
649	0,11	0,05	0,08	0,24
641	0,11	0,1	0	0,21
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
346	0	0	0	0
642	0	0	0	0
643	0	0	0	0
644	0	0	0	0
648	0	0	0	0

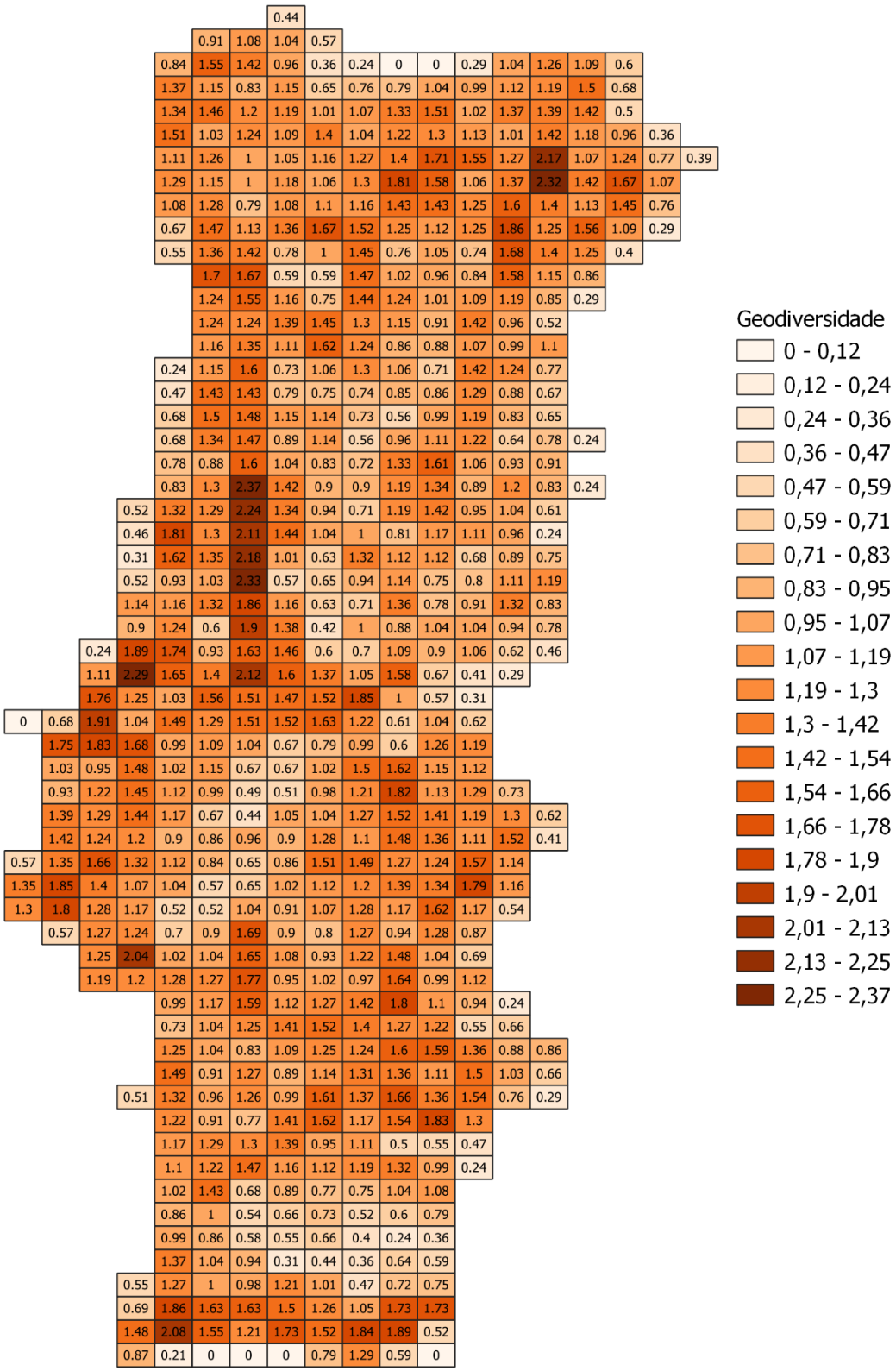

Figura 25 - Mapa da geodiversidade tendo em conta os índices utilizados

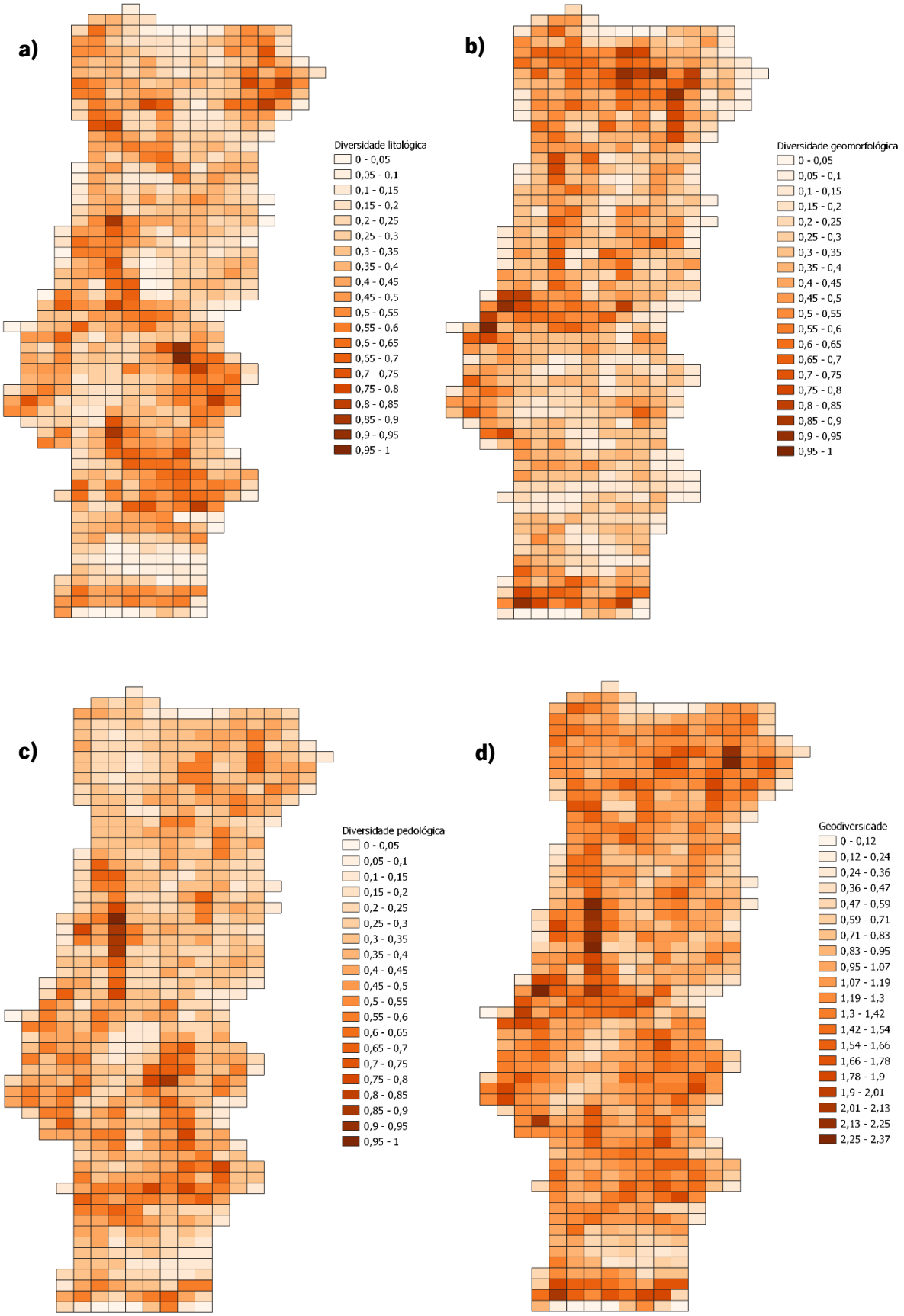

Figura 26 - Mapas usados para gerar os mapas de geodiversidade e o resultado. a) Índice litológico; b) Índice geomorfológico; c) Índice pedológico; d) geodiversidade

Depois de obtidos os valores da geodiversidade por célula foi de seguida aplicado o comando *centroids*, de modo a obter-se uma camada de pontos com valores da geodiversidade. Posteriormente foi utilizado o *plugin countour* de modo a serem feitas as isolinhas tendo em conta o valor da geodiversidade. Por fim foi feita a classificação dos valores numa escala de cores, tendo em conta o intervalo de valor de 0,12, onde se obteve o mapa final da geodiversidade.

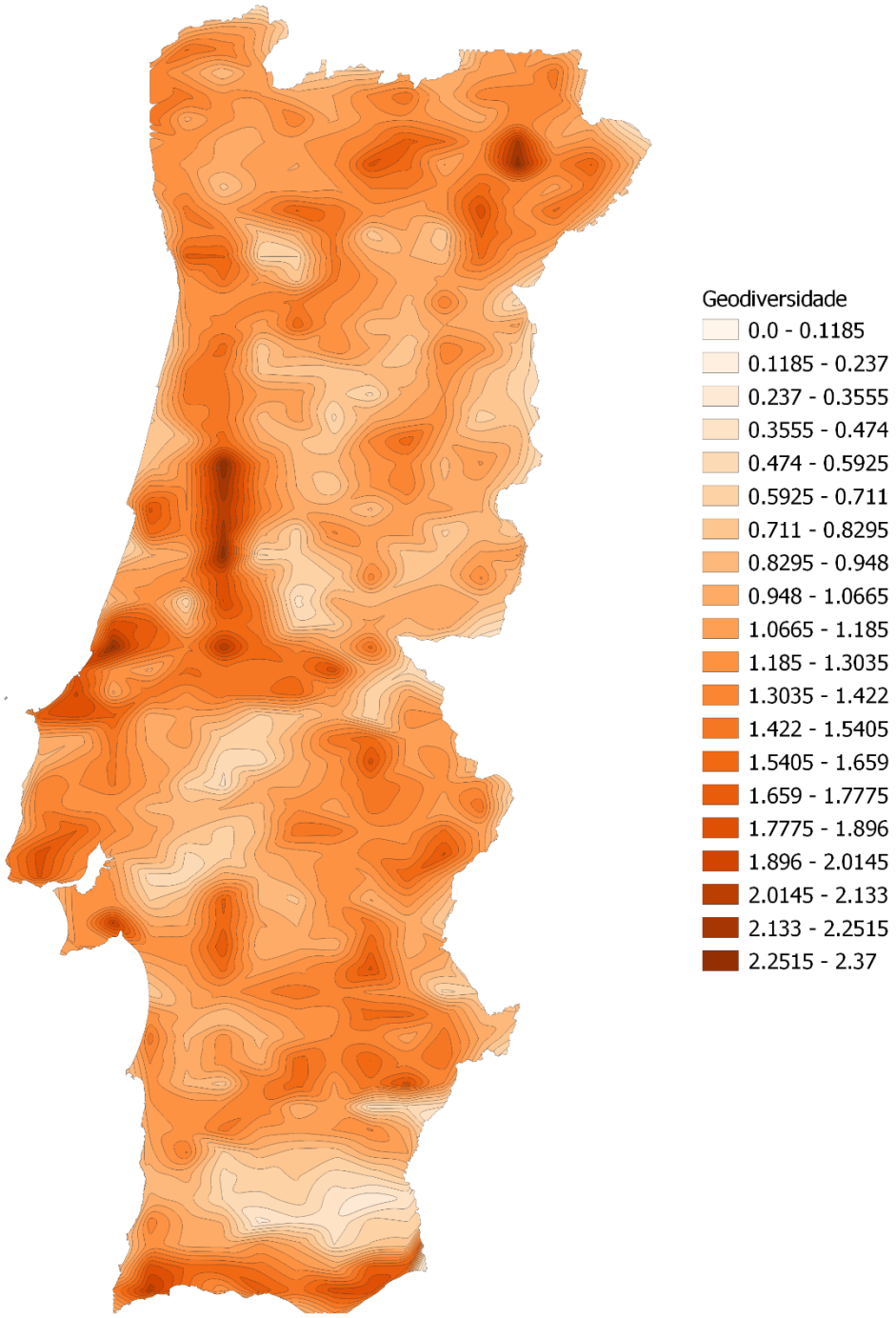

Figura 27 – Índice da geodiversidade em Portugal Continental. As zonas mais escuras correspondem às áreas com maior geodiversidade.

Observando o mapa final, podem ser observadas três principais zonas com elevada geodiversidade.

1. Nordeste de Portugal – Onde se destaca, principalmente, os altos valores da diversidade geomorfológica e litológica da região;
2. Centro de Portugal (Região de Coimbra) – Nesta zona destaca-se claramente a diversidade pedológica, apresentado ainda valores elevados dos outros dois índices;
3. Costa Sul de Portugal – Aqui destaca-se distintamente a diversidade geomorfológica, com valores intermédios dos dois outros índices.

3.4 Recursos geológicos

Os recursos geológicos detêm uma grande importância para o bem-estar humano. A exploração destes recursos sejam eles, minerais ou hídricos, têm muitas vezes uma grande importância na balança económica de um país, seja pelos ganhos diretos na venda destes mesmo recursos seja pela criação de postos de trabalho.

Os recursos hídricos possuem grande importância, devido à necessidade básica do ser humana para sobreviver, mas também no uso doméstico, na indústria e também na produção de energia nas barragens.

Já os recursos minerais têm também uma elevada relevância para a indústria fornecendo matéria prima para a indústria transformadora, oferece também uma variada gama de materiais com potencial energético como o carvão, petróleo, gás natural e urânio, e também materiais de construção para habitações, estradas, monumentos, entre outros. Nos dias de hoje existe um grande interesse por certos minerais denominados de terras raras que são utlizados nas mais avançadas tecnologias como os smartphones, televisões modernas, catalisadores dos carros, baterias (carros ou aparelhos eletrónicos), turbinas eólicas e até na medicina em diagnósticos clínicos.

Sendo assim, foi considerado importante avaliar quantitativamente, ainda que de forma não exaustiva, estes recursos geológicos em Portugal Continental, de modo a verificar se existe correspondência com os índices de geodiversidade e a própria geodiversidade, assim como com situações de conflito.

Figura 28 - Impacto da exploração mineral no Canada onde a exploração tem uma grande importância. (Fonte: KSM Project)

3.4.1 Recursos minerais

Como referido anteriormente, os recursos minerais têm uma elevada importância para a nossa sociedade atual. Aliás, durante a história da Humanidade, a geologia e os recursos geológicos tiveram uma elevada importância, pois, certos períodos da história foram "batizados" com nomes ligados à geologia, como a idade da Pedra, e também aos recursos minerais como a Idade do Cobre, Idade do Bronze ou Idade do Ferro.

Além dos metais outros recursos geológicos tiveram grande importância para a humanidade como é o caso do sal, que foi o método de conservação de alimentos até à invenção de meios alternativos de conservação de alimentos e ainda tendo um papel importante das transações económicas da história da humanidade, em que os soldados romanos eram pagos em sal originando mais tarde a palavra salário. Além disso o ouro, prata e as pedras preciosas foram uma das razões pelas quais os países europeus partiram à descoberta de "novos mundos", originando uma Era de Descobrimentos, em que países como Portugal enriqueceram com diversas mercadorias como o ouro e a prata provenientes de países como o Brasil. Mais tarde com a Revolução Industrial e a necessidade de uma fonte de energia para alimentar a indústria foi inicialmente usado o carvão em grandes quantidades, aparecendo mais tarde o petróleo que

além de ser usado como fonte energética também é usado na produção de outros produtos como o plástico.

De modo a ser avaliar, ainda de forma preliminar, a ocorrência de recursos minerais, foi utilizado o mapa das ocorrências minerais do SIORMINP, em que foi aplicada também a grelha 16x10 km e foram contadas o número total de ocorrências dentro de cada célula, tendo-se obtido o seguinte mapa.

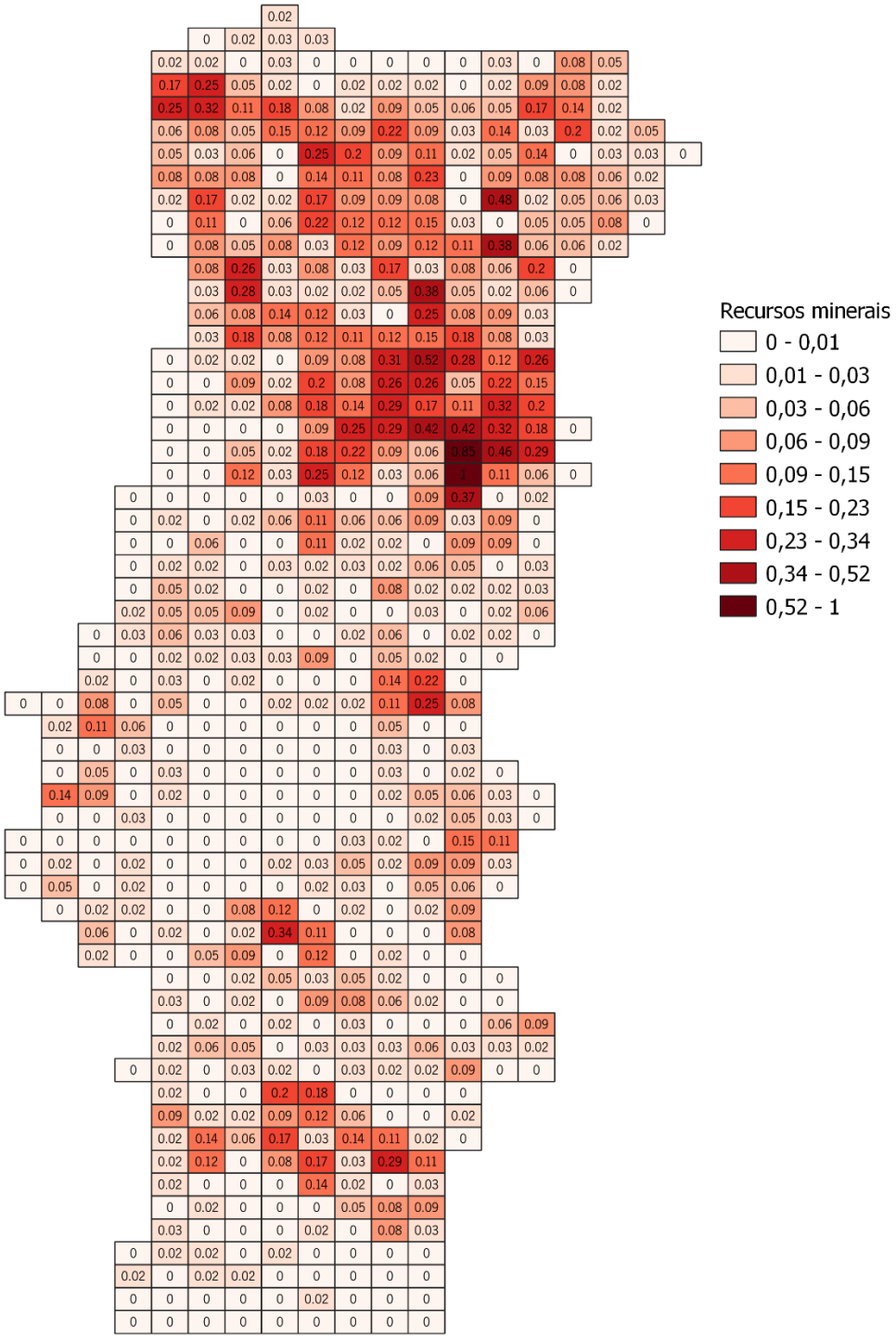

Figura 29 - Mapa de avaliação de ocorrências de recursos minerais, tendo em conta o número de ocorrências existentes.

Tendo em conta o mapa obtido, pode observar-se que existe na Zona Centro, no distrito da Guarda, um elevado número de ocorrências minerais, principalmente de urânio (U), estanho (Sn), tungsténio (W), titânio (Ti), quartzo (SiO2) e feldspato, e algumas ocorrências de chumbo (P), antimónio (Sb), ouro (Au), berílio (Be), tântalo (Ta), nióbio (Nb) e lítio (Li), tendo este último atraído um grande interesse para a região nos últimos tempos.

Além desta região existe também outros dois locais com uma diversidade mineral de valor intermédio.

Uma destas zonas situa-se no Alto Minho, na zona de Viana do Castelo, onde no passado existiu a exploração de recursos minerais na Região Mineira da Serra de Arga, onde ocorrem principalmente mineralizações de estanho (Sn) e tungsténio (W), e algumas de ouro (Au), prata (Ah), nióbio (Nb) e tântalo (Ta).

A outra zona situa-se no Nordeste de Portugal Continental, mais concretamente no município de Mirandela, onde se destacam as mineralizações de ouro (Au), prata (Ag), urânio (U), tungsténio (W) e estanho (Sn).

Além disso é possível destacar na zona Sul de Portugal, no Alentejo, pequenos pontos com elevado número de ocorrências minerais, associados à Faixa Piritosa Ibérica que é o maior *"stock"* de metais básicos da Europa Ocidental. Aqui estão localizadas algumas das mais importantes minas de Portugal, como Neves Corvo e Aljustrel, e ainda no passado S. Domingos e Lousal. Aqui encontra-se principalmente mineralizações de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb), bário (Ba), ferro (Fe) e ainda algumas de estanho (Sn), ouro (Au) entre outros.

Algo a ter em consideração nos recursos geológicos é a sua variabilidade ao longo do tempo, isto é, uma substância que atualmente não tem grande valor, devido à baixa procura e/ou elevada produção em outros países, pode no futuro pela quebra de produção ou por uma maior procura na indústria ter um maior valor e por consequência, um interesse na sua exploração. Um caso prático em Portugal, foi a grande exploração de volfrâmio, durante o século XX, devido aos grandes conflitos armados da 2ª Guerra Mundial e a Guerra da Coreia. Com o fim destes conflitos e com o aumento da produção em países como a Rússia e a China a preços mais baixos, levou a que a exploração deste mineral em Portugal fosse reduzida.

O interesse na exploração de um recurso mineral, poderá levar a um conflito de interesses num país, pois é possível que alguns locais com interesse mineralógico possam estar localizados em áreas protegidas ou perto das mesmas, fazendo com que haja o dilema entre os ganhos financeiros da exploração do recurso ou a proteção e conservação da natureza de uma determinada área.

Nesse sentido, sobrepusemos a RNAP ao mapa de diversidade de recursos geológicos (Figura 30).

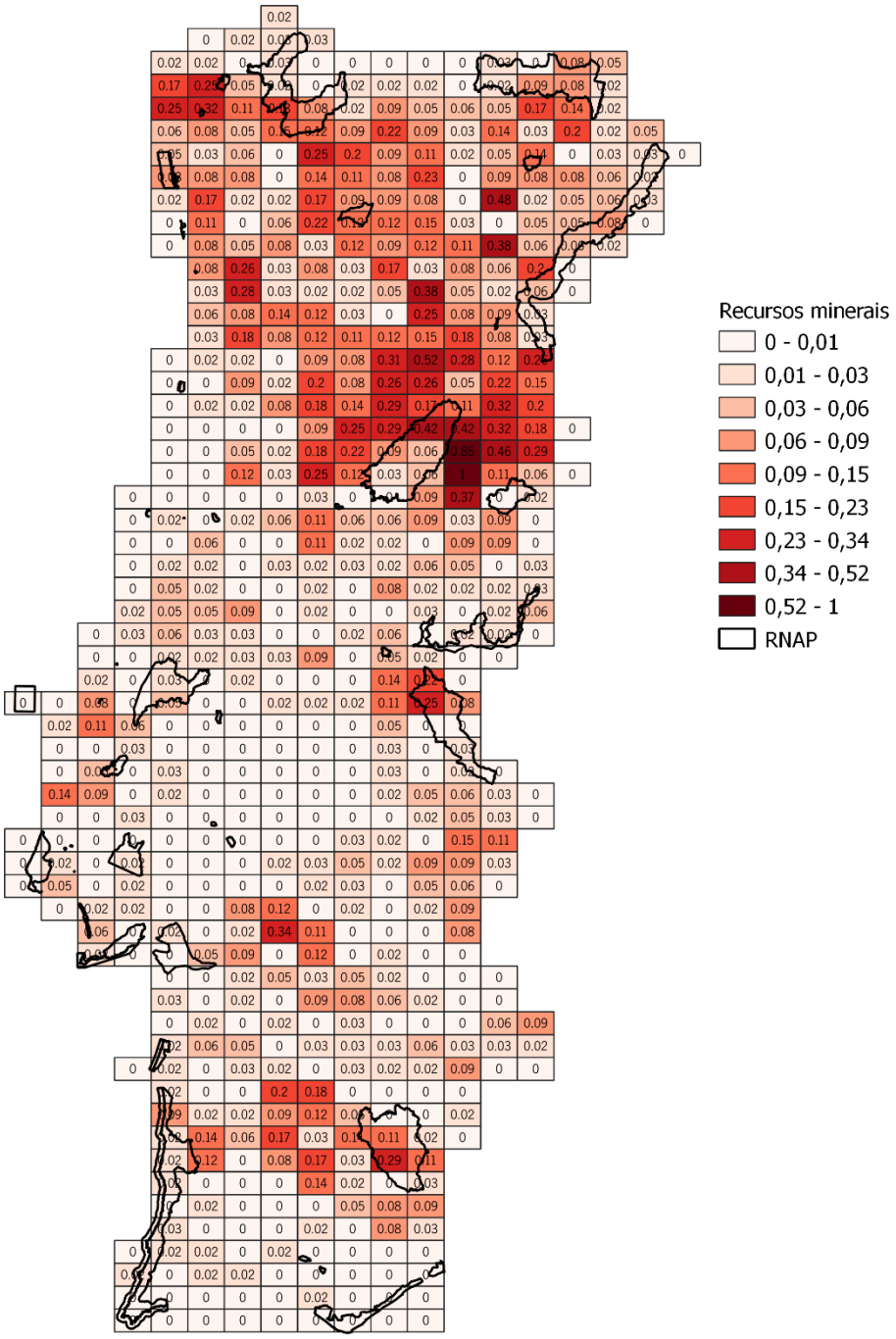

Figura 30 - Sobreposição da Rede Nacional de Áreas Protegidas com o mapa de diversidade de recursos minerais. É possível observar áreas protegidas em locais com potencial de recursos geológicos.

Analisando o mapa anterior, onde é sobreposta a RNAP à avaliação de ocorrências de recursos minerais, é possível observar que em determinadas áreas protegidas de Portugal Continental, existe um elevado número de ocorrências minerais. Esta sobreposição é principalmente observada no Parque Natural da Serra da Estrela e no Parque Natural do Vale do Guadiana. Outros locais, como o Parque Natural da Serra de S. Mamede, o Parque Nacional Peneda-Gerês e o Parque Natural do Montesinho, apresentam valores intermédios de ocorrência de recursos minerais.

3.4.2 Recursos hídricos

Os recursos hídricos possuem um valor de grande importância para o Homem, como anteriormente descrito, seja pelo seu potencial na produção de energia, seja no seu consumo pelo Homem. Assim foi decidido avaliar os recursos hídricos como um recurso e não como um elemento de geodiversidade como é proposto por alguns autores.

Para tal, de modo a ser avaliado os recursos hídricos foram utilizados alguns dados disponíveis:

- Rede hidrográfica nacional, tendo em conta o número de Strahler das linhas de água;
- Albufeiras das barragens, tendo em conta a área ocupada;
- Precipitação média anual.

Além destes fatores, era pretendido incluir também os recursos hídricos subterrâneos. Porém, os dados disponíveis no imediato, não possuem o detalhe necessário, nomeadamente o mapa de aquíferos disponível.

De seguida será descrito o método de avaliação dos recursos hídricos.

3.4.2.1 Rede Hidrográfica de Portugal Continental

A rede hidrográfica é constituída por todos os rios e os seus tributários de uma determinada região, sendo neste caso a área de Portugal Continental.

De modo a ser feita a avaliação da rede hidrográfica nacional, foi utilizado o mapa em formato *shapefile* obtido no visualizador geográfico da Associação Portuguesa do Ambiente (SNIAmb). Para cada curso de água foi atribuído um valor correspondente à sua dimensão, calculado de acordo com o método de Strahler (Figura 31), estando esta atribuição incluída na *shapefile* original.

Aplicando o método utilizado anteriormente para o cálculo dos índices de geodiversidade na grelha 16x10 km, observou-se uma sobreavaliação em alguns locais dessa grelha. Por exemplo, duas células (retângulos) com um curso de água com o valor de 5, teriam o mesmo valor, independentemente de o curso de água ocupar a totalidade ou ocupar uma pequena parte dessas células (Figura 33).

Assim, de modo a diminuir a possibilidade desta sobreavaliação, foi utilizada uma subgrelha de 2x2 km, na qual foi calculado o valor médio em cada uma das células, tendo em conta as linhas de água em si contidas, utilizando o comando *Zonal Statistics*, tendo sido a camada original previamente *rasterizada* (Figura 34).

De seguida a camada foi de novo rasterizada, de modo a que se fosse utilizado o comando *Zonal Statistics*, onde foi calculado o valor médio obtido em cada célula 2x2 km contida dentro da grelha 16x10 km.

Figura 31 - Mapa da rede hidrográfica nacional utilizado. Os cursos de água com número de Strahler mais elevado estão com cor mais escura. Destacam-se assim os principais rios de Portugal Continental.

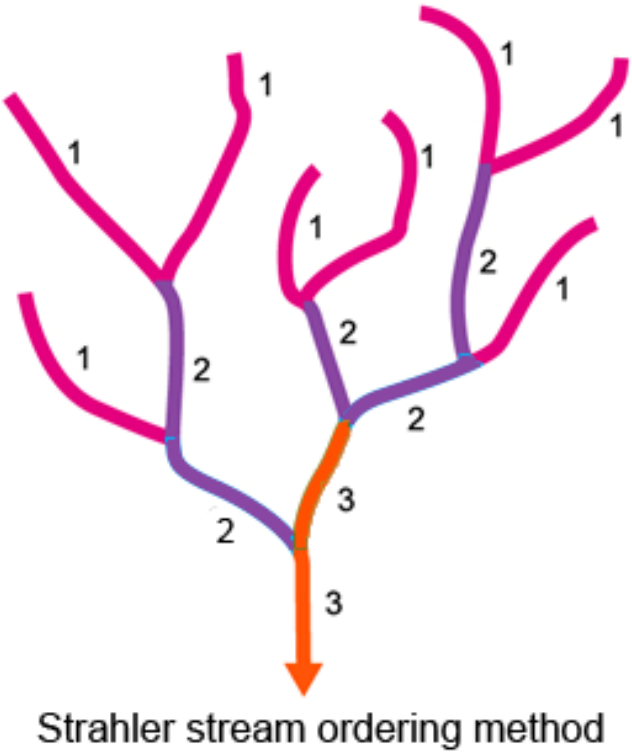

Figura 32 - Esquema explicativo da hierarquização dos cursos de água segundo o método de Strahler (Fonte: supergeotek)

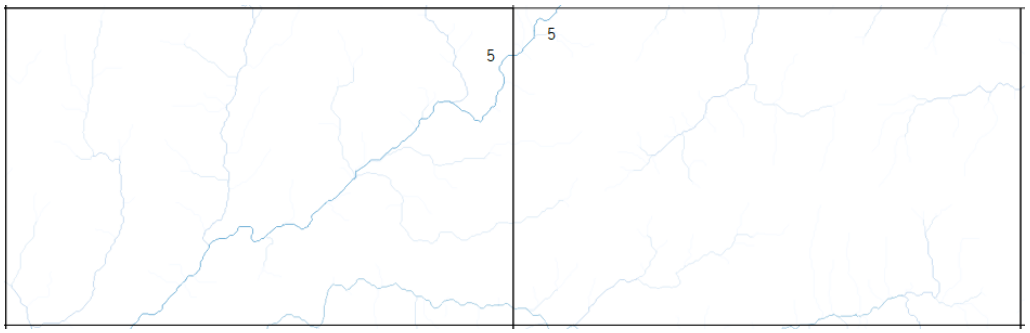

Figura 33 - Problema da sobreavaliação de algumas células da grelha. Apesar de numa das células a linha de água ocupar grande parte da área, tem o mesmo valor da célula vizinha que ocupa menor área

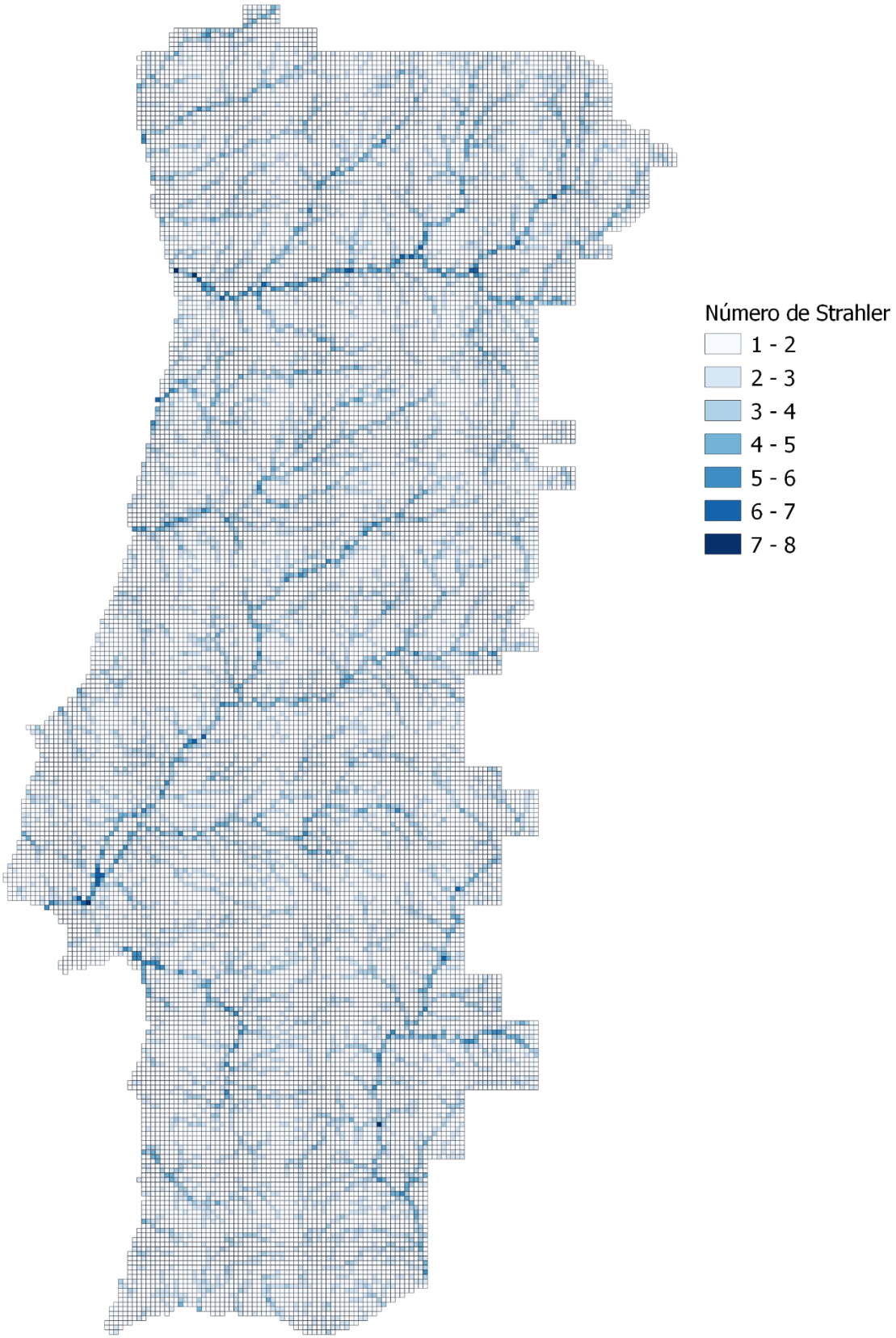

Figura 34 - Mapa de classificação da ordem de grandeza dos cursos de água da rede hidrográfica nacional, calculada pelo método de Strahler, com a grelha 2x2 km. Quanto maior o número de Strahler, mais escuro o tom de azul.

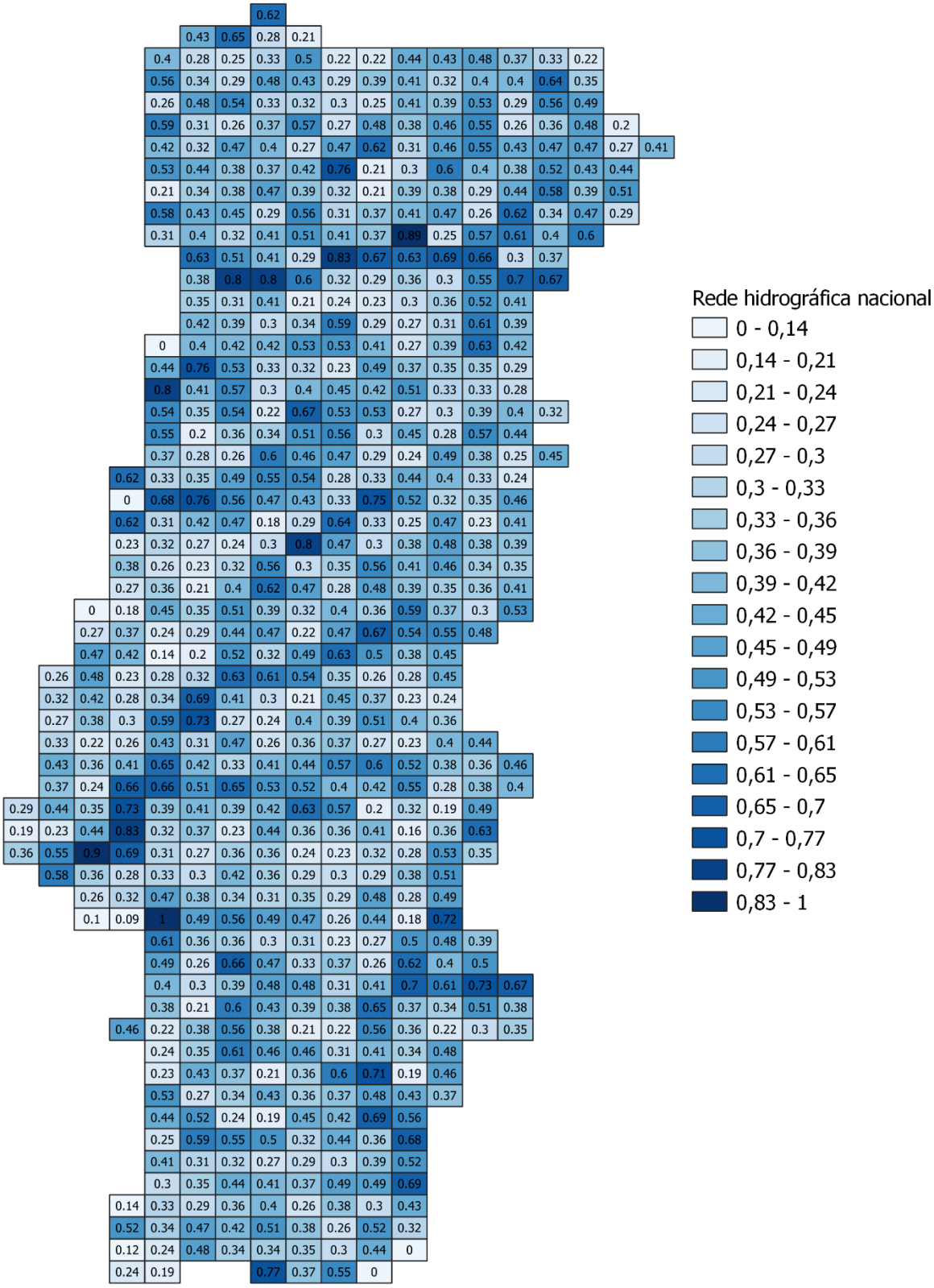

Figura 35 - Mapa com a avaliação dos cursos de água em cada célula

Os valores obtidos para a ordem de grandeza dos cursos de água situam-se entre 1 e 8, tendo sido estes normalizados entre 0 e 1 seguindo a fórmula $\frac{x-\min(x)}{\max(x)-\min(x)}$, de modo a que todos os fatores tenham igual valor no mapa de avaliação dos cursos de água.

Por exemplo, se um curso de água tiver um valor de 5 (x=5), tendo em conta que o valor máximo é 8 (*max(x)=8)* e o valor mínimo é 1 (*min(x)*=1), aplicando a fórmula obtemos um valor normalizado de aproximadamente 0,57.

Analisando o mapa obtido, pode-se concluir que os valores mais elevados se situam, nos principais rios de Portugal Continental, como era esperado.

Destacam-se assim os seguintes locais:

- Ao longo de todo o Rio Douro e seus afluentes como o Rio Sabor e Rio Tua;
- Ao longo do Rio Tejo e seus afluentes como Rio Zêzere, Sorraia, Nabão, entre outros, mas com valores especialmente mais altos perto da foz;
- Ao longo do Rio Sado, em especial na sua foz, estando mesmo aqui o valor mais alto registado;
- Foz do Rio Vouga.

Além desses também se destaca com valores um pouco mais baixos:

- Rio Minho e Rio Lima em toda a sua extensão;
- Rio Mondego na sua extensão;
- Ao longo do Rio Guadiana e do afluente Ardila e Chança.

Estes resultados eram os esperados, uma vez que que os principais rios de Portugal Continental possuem extensas redes hidrográficas, compostas por vários afluentes de variada dimensão, contribuindo assim para um elevado número de Strahler.

3.4.2.2 Albufeiras

As albufeiras das barragens possuem uma elevada importância, fornecendo nuns casos energia, e noutros água doce para o abastecimento doméstico das populações e para a agricultura. A energia hidroelétrica, é, a par da energia eólica, a maior fonte de energia renovável (dados da PORDATA). Assim justifica-se a avaliação deste índice para os recursos hídricos. Contudo, devem lembrar-se alguns impactos negativos, como os impactos no património cultural, nomeadamente povoações e terras agrícolas submersas, e no património natural, nomeadamente nos ecossistemas e, por vezes, nos locais com importância científica que ficaram submersos.

Para o cálculo da extensão das albufeiras foi utilizado o mapa em formato *shapefile* obtido no visualizador geográfico da Associação Portuguesa do Ambiente (SNIAmb) (Figura 37). Reconhece-se que este dado

não reflete na forma exata o valor deste recurso, mas este facto não invalida o presente ensaio. Apesar de ser um sub-índice para avaliação dos recursos hídricos, admitimos que outros dados para além da extensão deverão ser considerados em trabalhos futuros.

Neste mapa são consideradas 58 albufeiras, que estão associadas principalmente às bacias do Tejo, Douro, Sado e Guadiana. Tendo em conta a área, destaca-se claramente a Albufeira do Alqueva na bacia do Guadiana, com uma área muito superior à das restantes albufeiras, sendo seguida pela Albufeira de Santa Clara na bacia do Mira e a Albufeira Maranhão da bacia do Tejo.

A este mapa foi também aplicado a grelha 16x10 km, onde foi avaliado a área total ocupada pelas albufeiras em cada célula, tendo sido posteriormente estes valores normalizados de forma a melhor visualizar os resultados e também para facilitar a manipulação dos mesmos. Além disso esta normalização tem como principal objetivo atribuir o mesmo valor a todos os fatores que contribuem para os recursos hídricos. Esta normalização foi feita a partir da seguinte fórmula:

- $\frac{x-\min(x)}{\max(x)-\min(x)}$

Figura 36 - Aldeia submersa de Vilarinho das Furnas, Terras de Bouro, observada na sequência da descida do nível das águas. (Fonte: Câmara Municipal de Terras de Bouro)

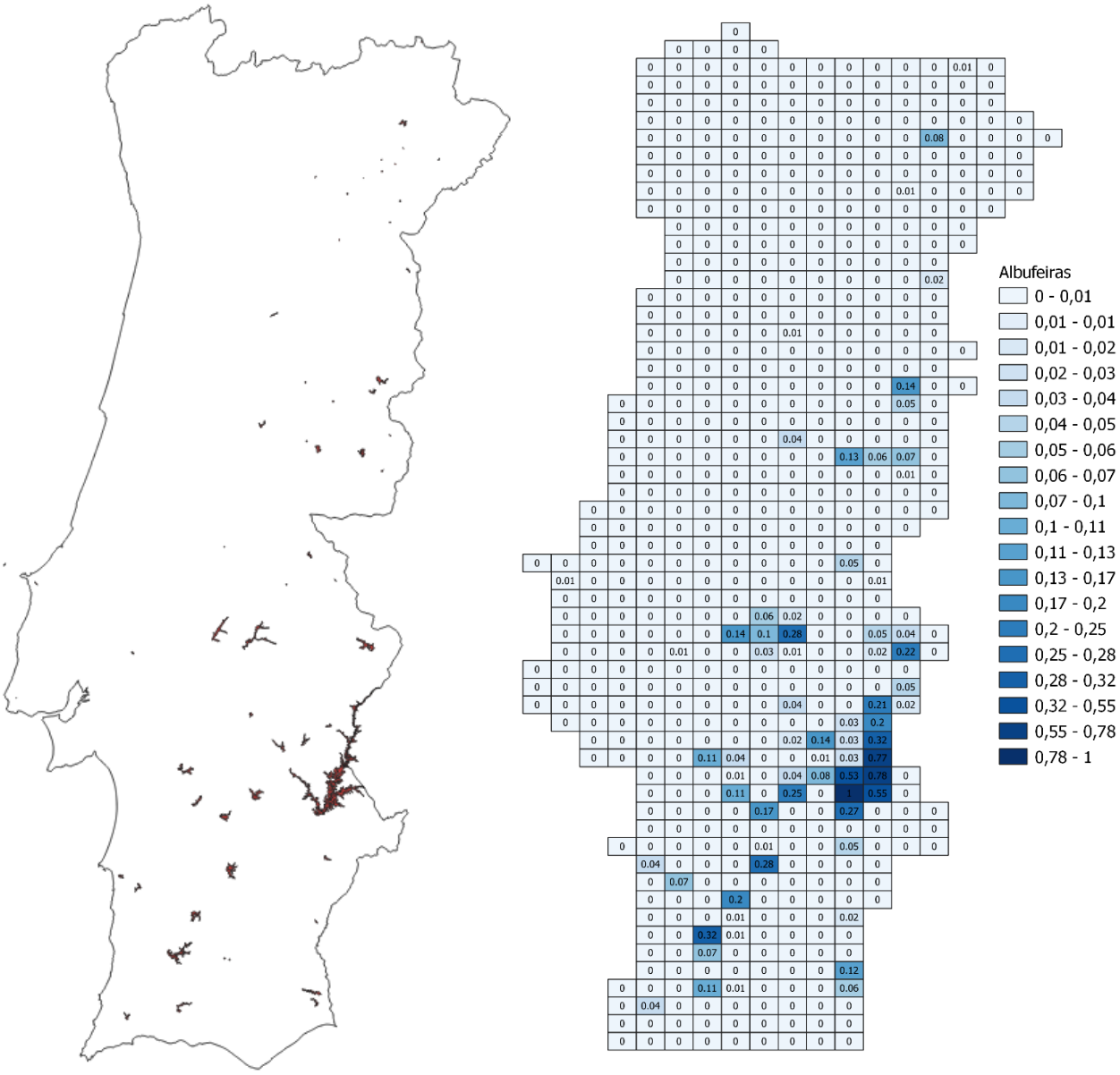

Figura 37 - Á esquerda: Mapa das albufeiras de Portugal Continental; Á direita: Mapa da avaliação das albufeiras em Portugal Continental

Como seria de esperar os valores mais elevados localizam-se na zona sul, onde se destaca as células que contêm a Albufeira do Alqueva, tendo estas os valores mais elevados entre 0,27 e 1.

Além disso as células que possuem a Albufeira Santa Clara, a Albufeira do Maranhão, a Albufeira do Roxo e a Albufeira do Alvito, também possuem valores intermédios, situados entre 0,11 e 0,32. O método não permite identificar albufeiras importantes, mas de pequena extensão, como as que se situam no rio Douro, facto que sugere a necessidade de rever os procedimentos para o cálculo deste sub-índice.

3.4.2.3 Precipitação média anual

A precipitação média anual é representada pela quantidade de água precipitada na forma de chuva, granizo ou neve, sobre uma determinada área. Este fenómeno tem elevada importância no ciclo hidrológico, no reabastecimento de água doce nos sistemas hídricos, como os rios, albufeiras e aquíferos. De modo a se proceder a avaliação em Portugal Continental foi de novo utilizado o mapa de precipitação de média anual do visualizador geográfico do SNIAmb, no período entre 1931 e 1960, no qual foi tido em consideração o valor médio da precipitação em cada célula (Figura 38).

Para tal foi necessário então *rasterizar* a camada, de modo a ser utilizado o comando *zonal statistics*, com a grelha 16x10 km, onde foi calculado o valor médio em cada célula.

Os valores médios situam-se no intervalo entre 400 mm e 2834 mm, tendo sido posteriormente normalizados entre 0 e 1 para facilitar o tratamento dos resultados.

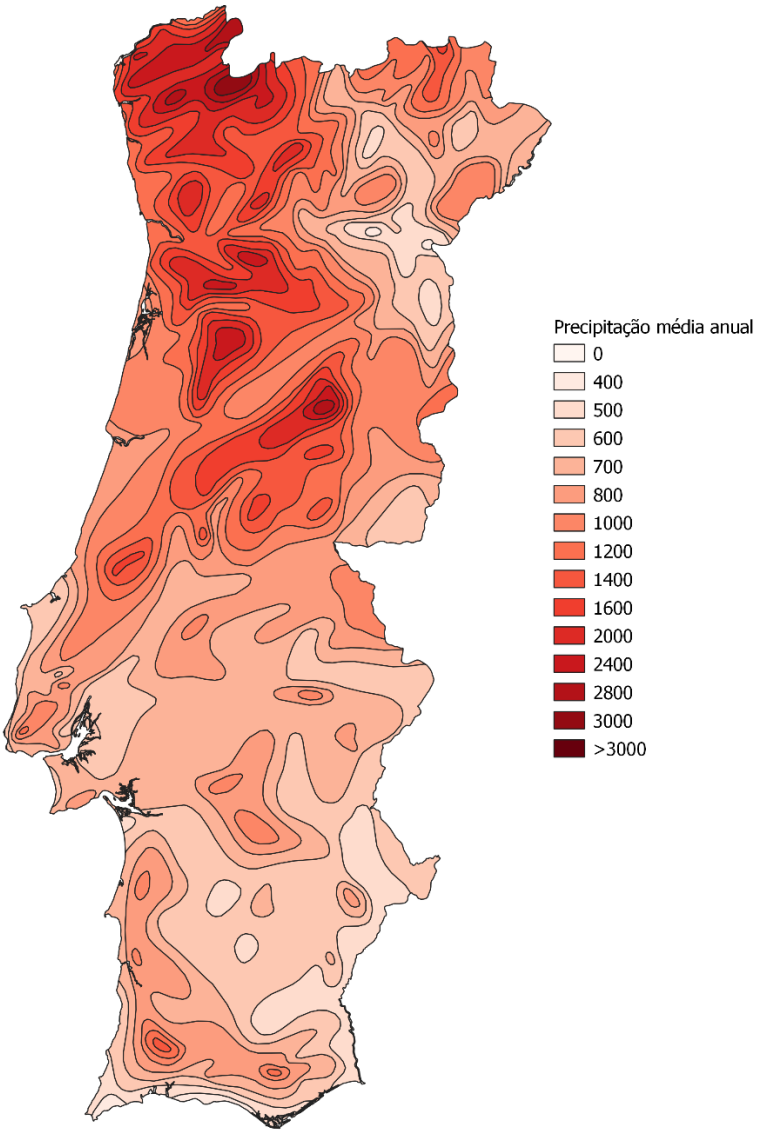

Figura 38 - Mapa da precipitação média anual

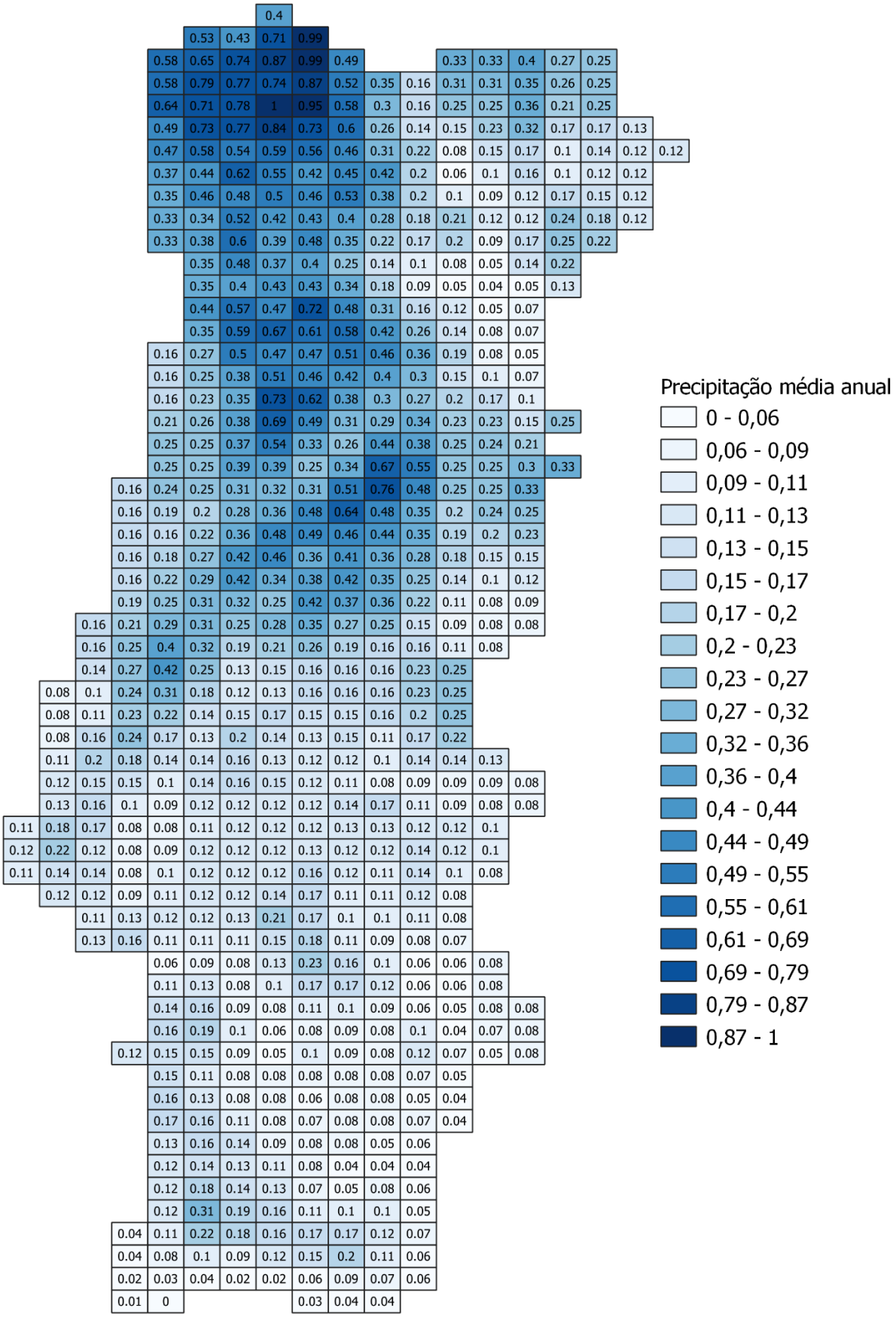

Figura 39 - Mapa com valores normalizados da precipitação média em cada célula

O mapa obtido evidencia valores mais altos no norte e centro e mais baixos a sul. Isto acontece uma vez que os locais mais elevados de Portugal Continental têm, normalmente, maior precipitação.

Assim, a norte pode identificar-se três zonas de elevado valor:

- Noroeste de Portugal Continental (Norte do Rio Douro) - Serras do Gerês, Amarela, Peneda, Arga, Cabreira, Barroso, Alvão e Marão;
- Centro Norte (Sul do Rio Douro) – Serras de Montemuro, Arade, Gralheira, Caramulo e Freita;
- Centro Interior – Serras da Estrela, Açor e Lousã.

No Nordeste, a Serra de Montesinho, a Serra de Bornes e a Serra da Nogueira apresentam valores intermédios, bem como elevações situadas mais a sul, como as Serras de S. Mamede, Caldeirão, Monchique e Monfurado.

3.4.2.4 Cálculo final dos recursos hídricos

Depois de obtido os valores parciais de cada sub-indíce dos recursos hídricos, procedeu-se ao seu cálculo final. Para tal foi necessário agregar as três camadas obtidas numa só, utilizando o comando *intersection*. De seguida foi feita a soma dos valores normalizados dos índices anteriormente calculados de modo a que todos tenham o mesmo peso. Posto isto foi obtido o mapa final dos recursos hídricos.

Tabela 4 - Extrato da tabela com os valores dos índices dos recursos hídricos e a sua respetiva soma (ID – identificação das células)

ID	Linhas de água	Albufeiras	Precipitação	Recursos Hídricos Total
517	0,62	1	0,06	1,68
499	0,72	0,77	0,07	1,56
10	0,5	0	0,99	1,49
35	0,33	0	1	1,33
34	0,54	0	0,78	1,32
508	0,48	0,78	0,06	1,32
23	0,43	0	0,87	1,3
49	0,57	0	0,73	1,3
36	0,32	0	0,95	1,27
142	0,8	0	0,43	1,23
258	0,75	0	0,48	1,23
22	0,48	0	0,74	1,22
48	0,37	0	0,84	1,21
79	0,76	0	0,45	1,21
5	0,21	0	0,99	1,2
9	0,33	0	0,87	1,2
141	0,8	0	0,4	1,2
33	0,48	0	0,71	1,19
165	0,59	0	0,58	1,17
208	0,67	0	0,49	1,16
280	0,8	0	0,36	1,16
19	0,56	0	0,58	1,14
269	0,64	0,04	0,46	1,14
20	0,34	0	0,79	1,13
491	1	0	0,11	1,11

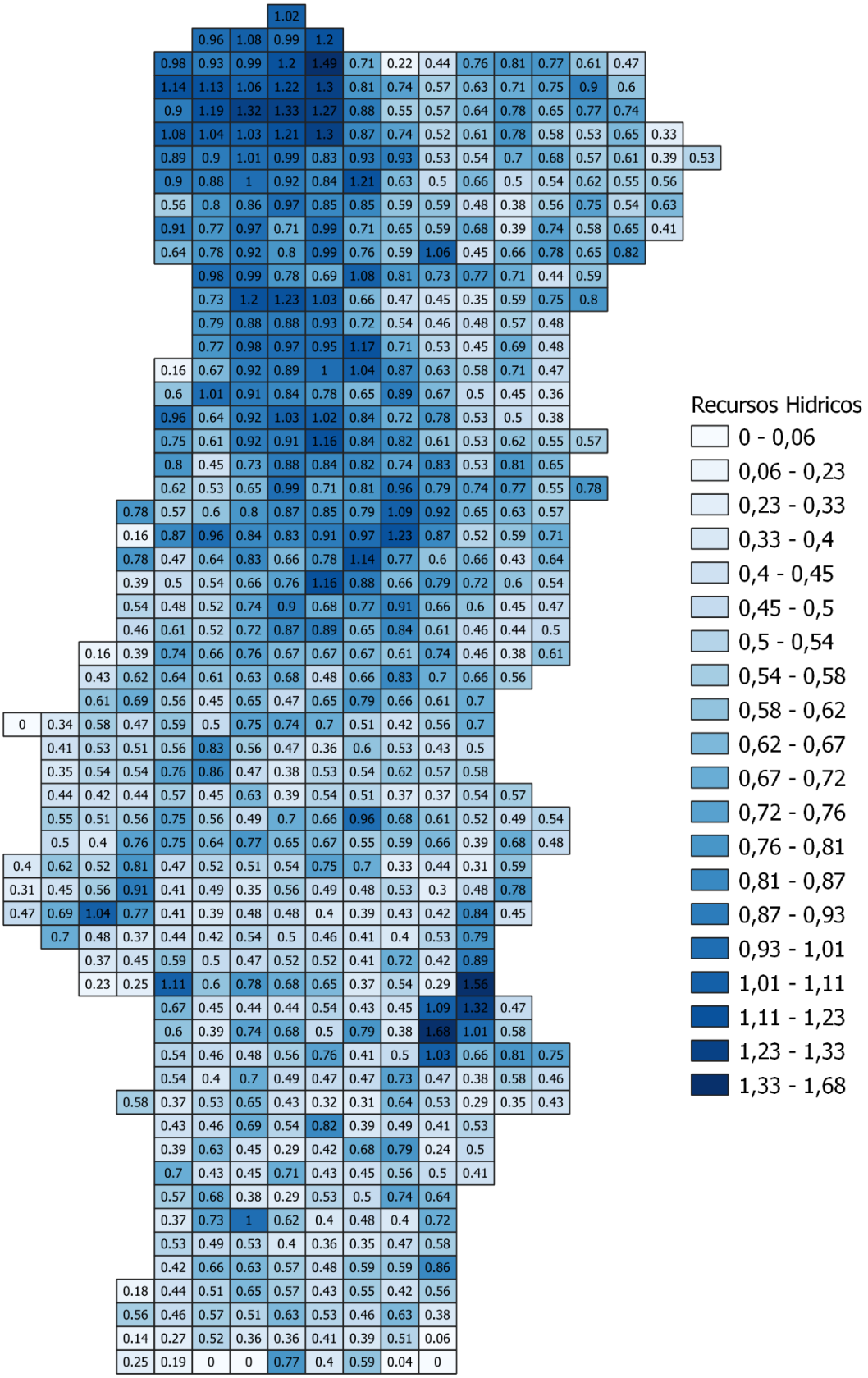

Figura 40 - Mapa final dos recursos hídricos

Examinando o mapa obtido, pode concluir-se que a região com maior potencial hídrico se situa na zona norte de Portugal Continental, mais concretamente nos locais mais perto da costa. Isto deve-se á combinação entre zonas de elevada altitude com alta precipitação e à presença de alguns dos principais cursos de água.

Na zona centro existe também uma grande área com valores elevados, associados também a zonas elevadas entre o Rio Douro e a Serra da Estrela e às principais linhas de água da região como o próprio Rio Douro e seus afluentes.

Já a sul, encontram-se os valores mais elevados estão relacionados principalmente com a Albufeira do Alqueva, bem como o Rio Guadiana e os seus afluentes.

Assim pudemos concluir que:

- A norte, os recursos hídricos são principalmente influenciados pela precipitação;
- A sul, os recursos hídricos são principalmente influenciados pelas grandes albufeiras existentes;
- As linhas de água têm um papel semelhante tanto a norte como a sul no que toca aos recursos hídricos.

3.5 Património Geológico

Como descrito anteriormente, geossítios são ocorrências naturais de elementos de geodiversidade, com excecional valor científico. Estas ocorrências podem ser rochas, minerais, fósseis, solos ou geoformas, com elevado valor patrimonial. Além do seu excecional valor científico, estas ocorrências podem ter também um valor educativo e turístico, em que a sua utilização deve ser efetuada de forma sustentável. O Património Geológico de Portugal é constituído pelo conjunto de geossítios de relevância internacional e nacional inventariados no país. O inventário nacional do património geológico resulta do projeto de investigação "Identificação, caracterização e conservação do património geológico: uma estratégia de geoconservação para Portugal". O inventário, liderado pela Universidade do Minho, contou com a participação de dezenas de investigadores de universidades, entidades públicas e associações (http://geossitios.progeo.pt/). Este inventário é também considerado pelo ICNF para efeitos de conservação. Neste inventário não estão incluídas o património geológico ex-situ, como as amostras geológicas e paleontológicas de elevado valor científico, disponíveis em coleções museológicas.

Foi então utilizada o mapa do inventário de geossítios de Portugal disponibilizado pela EPIC WebGIS que reúne dados do projeto "Estrutura ecológica nacional: uma proposta de delimitação e regulamentação". Uma vez que a área em estudo é apenas a de Portugal Continental, foram retirados os geossítios localizados nas Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores.

A esta camada foi então aplicado o método utilizado anteriormente, com a aplicação da grelha 16x10km, seguida da contagem dos geossítios em cada célula, tendo sido obtido os seguintes mapas.

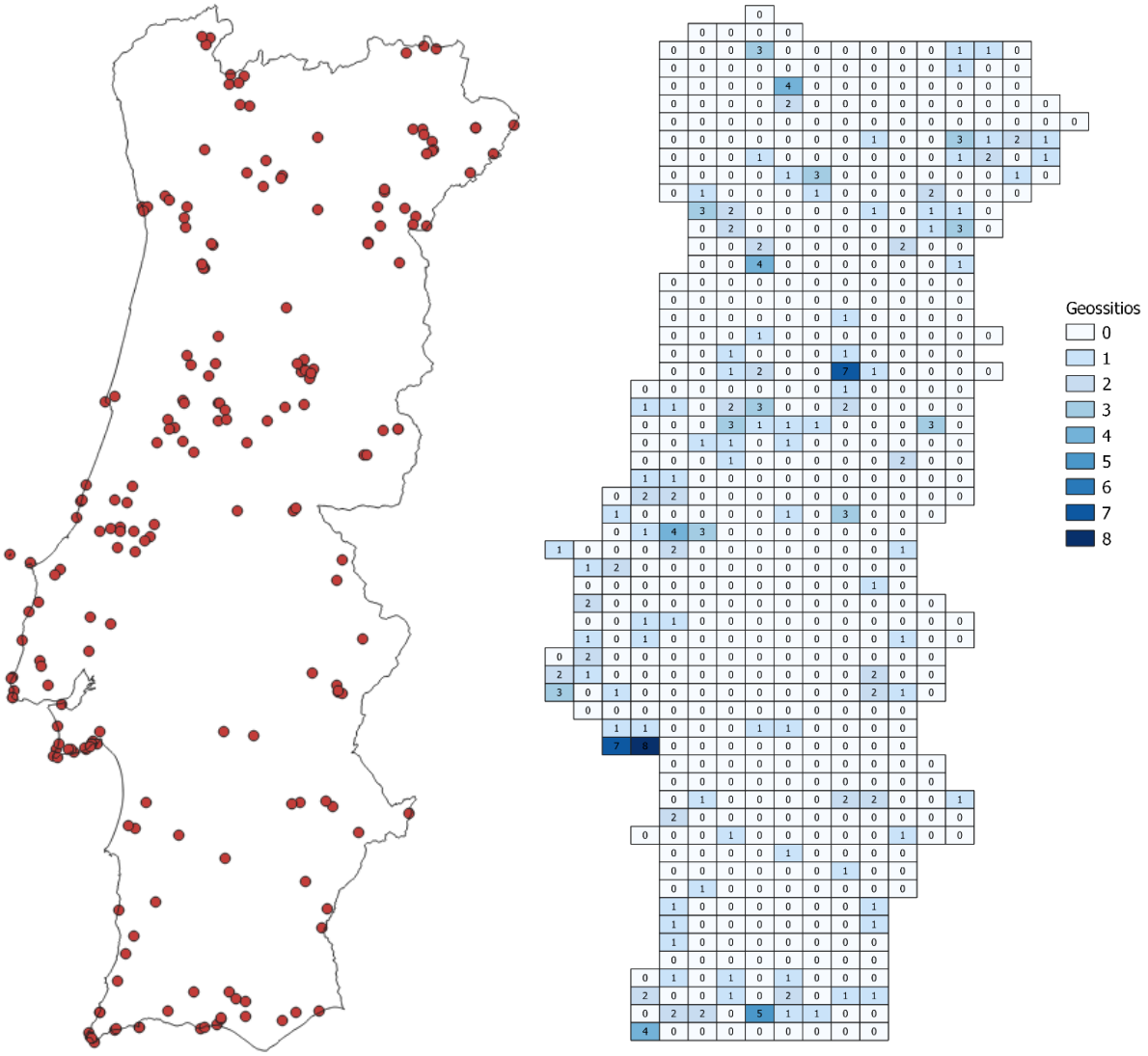

Figura 41 - Á esquerda: Mapa dos geossítios em Portugal Continental; Á direita: Mapa com a contagem do número de geossítios em cada célula

Observando o mapa obtido verifica-se uma distribuição dos geossítios por todo o território continental, destacando-se, porém, algumas regiões com diversos geossítios:

- Nordeste de Portugal Continental, no distrito de Bragança;
- Litoral Norte, no distrito do Porto e Aveiro, mais concretamente nos municípios do Porto e Arouca;
- Zona Centro, no distrito da Guarda, mais concretamente na Serra da Estrela e áreas circundantes;
- Região de Lisboa e Península de Setúbal;

- Costa Sul, na região do Algarve.

Não é por acaso que em algumas destas regiões com diversos geossítios de importância nacional, existem geoparques de valor reconhecido internacionalmente, como é o caso dos Geoparques Mundiais UNESCO Naturtejo, Arouca, Terras de Cavaleiros e Estrela.

3.6 Relação Geodiversidade-Biodiversidade

A biodiversidade é definida pela diversidade de espécies, genética e ecossistemas de uma determinada área, incluindo por vezes componentes abióticos como o clima, a paisagem ou sistemas de drenagem (Swingland, 2000).

Vários autores têm estabelecido uma relação estreita entre a geodiversidade e a biodiversidade e os benefícios para a diversidade das espécies na conservação destas duas vertentes da natureza. Anderson *et al.* (2015) salienta o importante papel da geodiversidade na diversidade de espécies, bem como a sua utilidade para estimar as variações dentro dos ecossistemas. Em Hjort *et al.* (2015) refere que a geodiversidade é crucial para a sobrevivência das espécies e dos seus *habitats*, e que os alvos de conservação à escala local são únicos, tendo as conta as características da geodiversidade. Refere ainda que a gestão de áreas de biodiversidade requer a consideração da geologia e geomorfologia local, a sua situação local, a sua história no passado e os processos dinâmicos da área. Também Parks & Mulligan (2010) apresenta a mesma relação biodiversidade-geodiversidade, concluindo que uma eventual conservação da geodiversidade ajudará na conservação dos processos que criam e mantêm ecossistemas. Porém, Fernandez *et al.* (2020) não encontrou uma correlação entre a geodiversidade e a biodiversidade e espécies protegidas, tendo apenas observado uma correlação negativa entre biodiversidade e espécies protegidas com a geomorfologia, concluindo que a biodiversidade da área em estudo é condicionada pelas características geomorfológicas, no sentido que quanto maior o valor do índice geomorfológico maior a limitação do desenvolvimento dos ecossistemas.

Neste trabalho foi também proposta a comparação entre a geodiversidade e a biodiversidade de Portugal Continental. Uma vez que não existem, até à data, mapas ou dados de todas as espécies existentes em Portugal Continental, foram utilizados alguns dados disponíveis, nomeadamente:

- Atlas dos mamíferos de Portugal, elaborado por Bencatel *et al.,* 2019 da Universidade de Évora;
- Atlas dos morcegos, elaborado pelo ICNF;
- Atlas dos bivalves, elaborado por Reis (2006) e disponibilizado pelo ICNF;
- Inventário florestal nacional (IFN), disponibilizado pelo ICNF.

O modo de avaliação utilizado foi semelhante ao da geodiversidade, em que foi utilizada e aplicada a cada atlas a grelha 16x10 km, onde foi contada o número de espécies diferentes existentes em cada célula. De seguida os valores foram normalizados, para que todos tenham o mesmo peso no mapa de biodiversidade, utilizando a fórmula $\frac{x-\min(x)}{\max(x)-\min(x)}$.

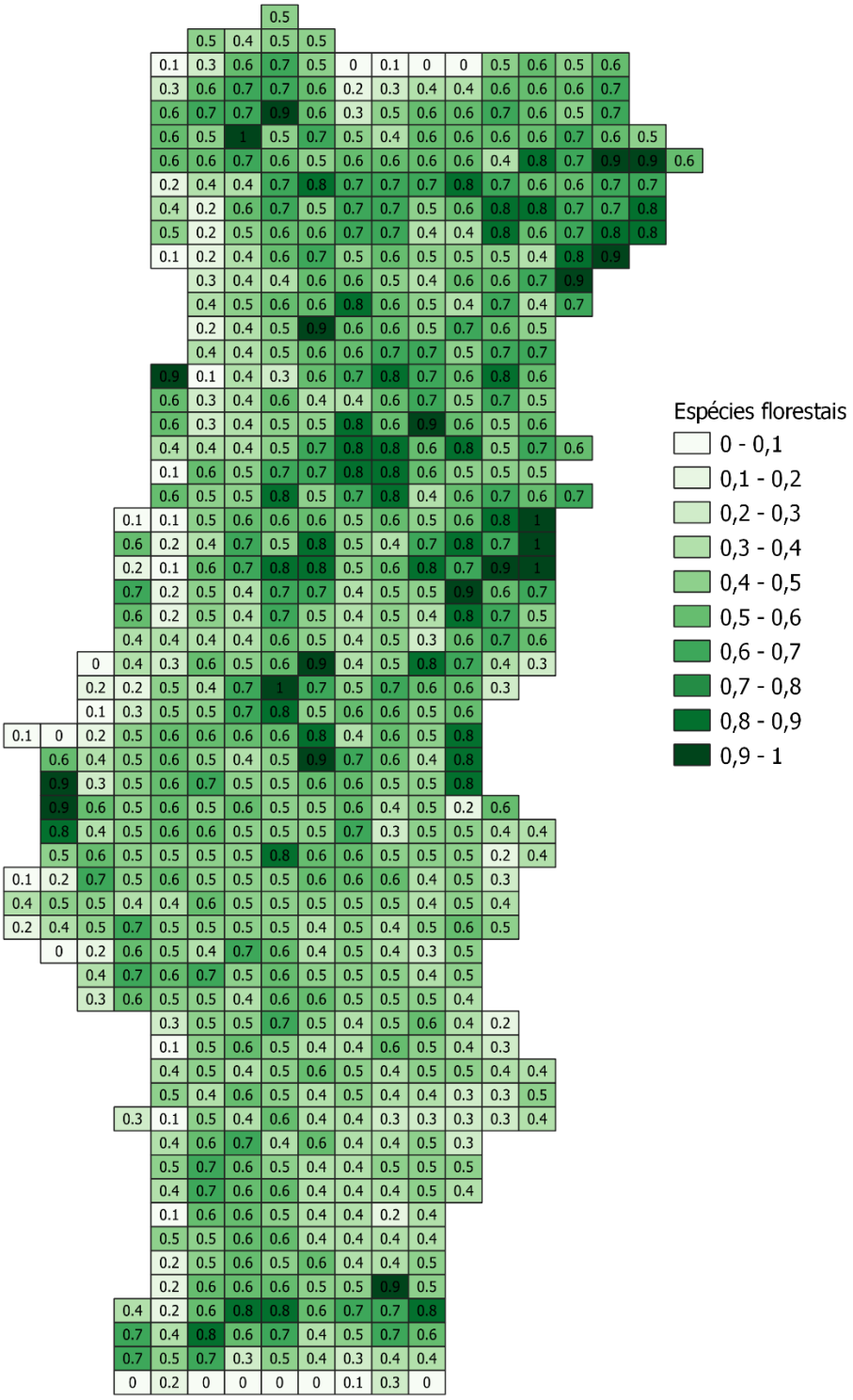

Figura 42 - Mapa da diversidade de espécies florestais.

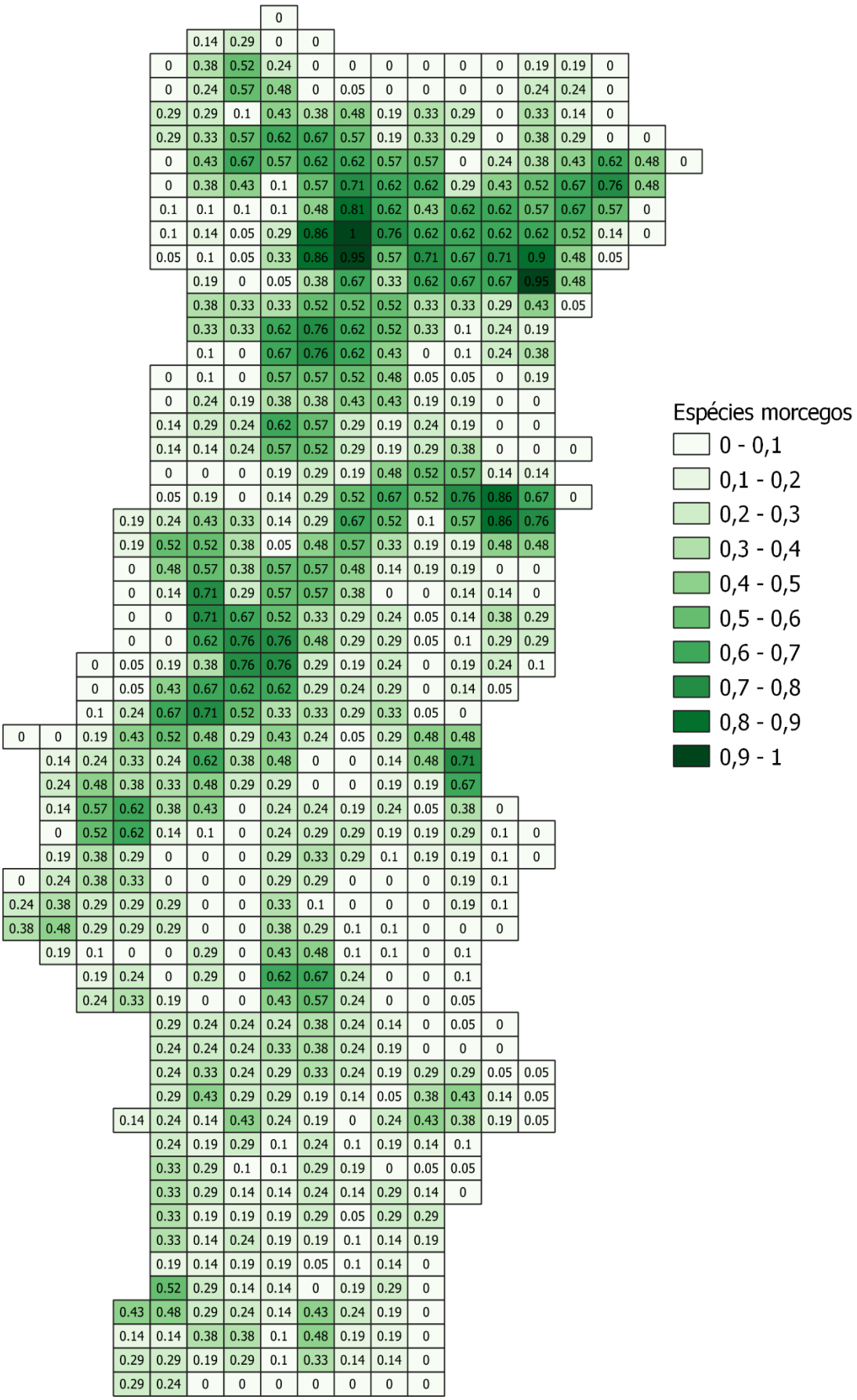

Figura 43 - Mapa da diversidade das espécies de morcegos.

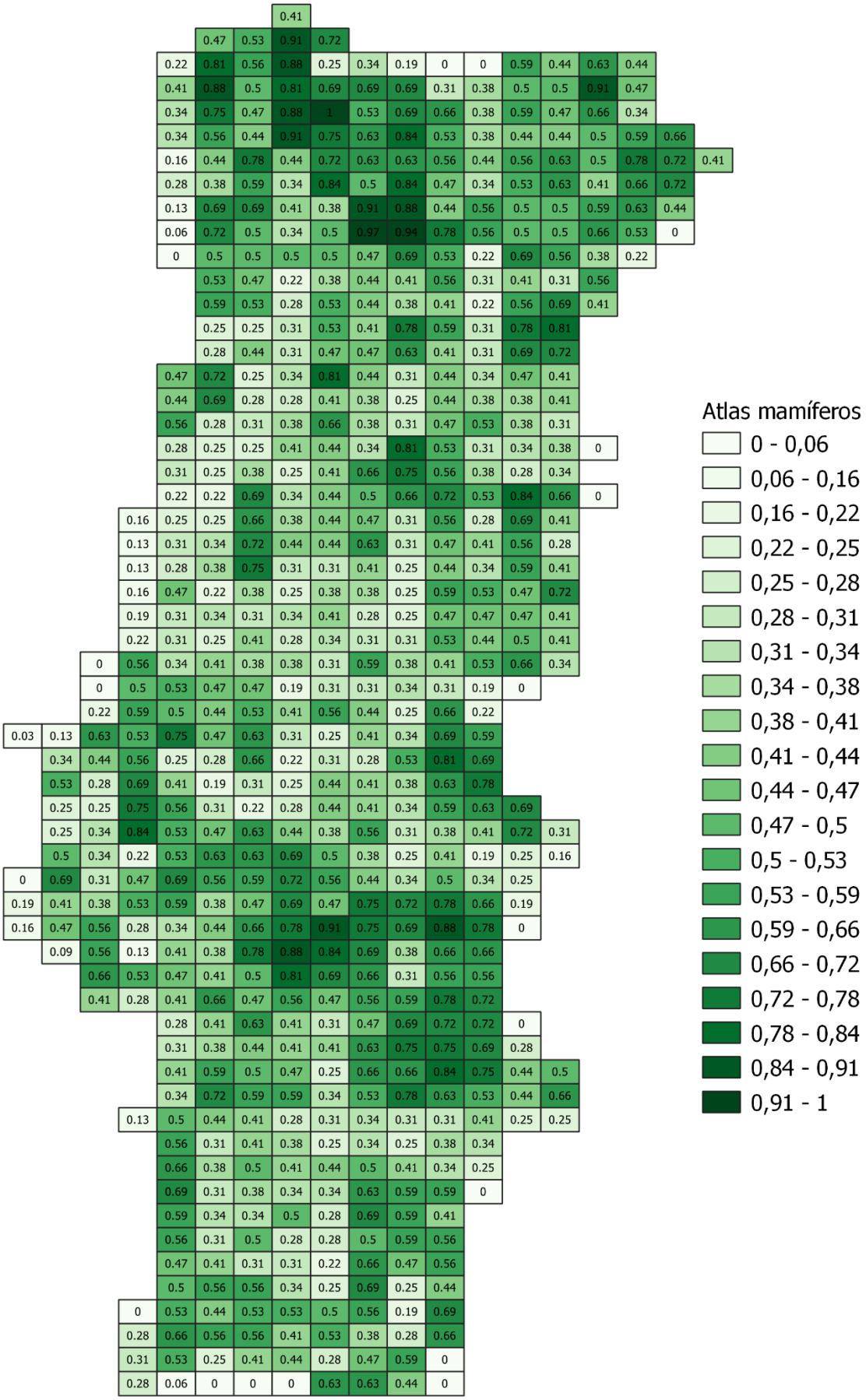

Figura 44 - Mapa da diversidade de espécies mamíferas.

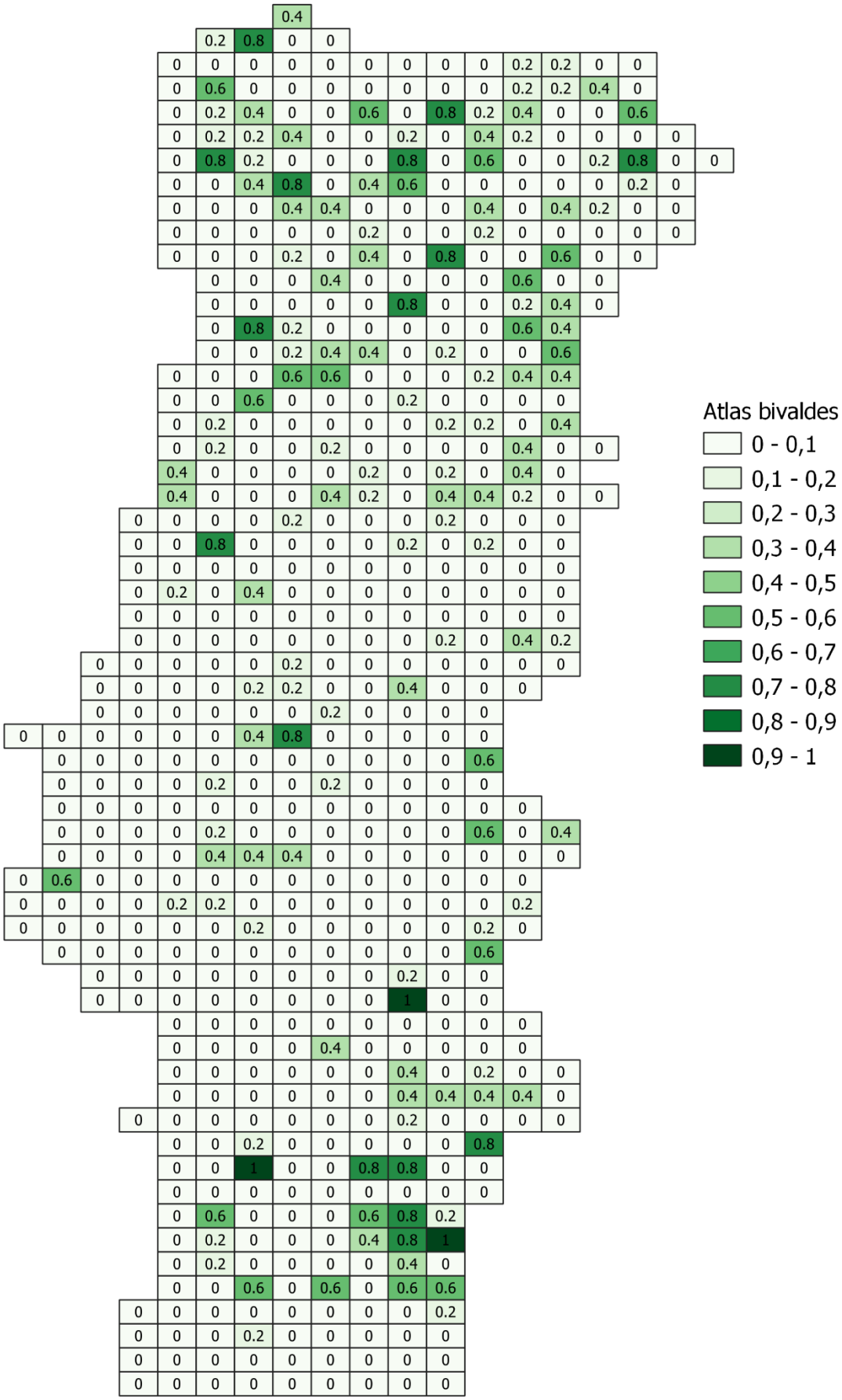

Figura 45 - Mapa da diversidade das espécies de bivalves

Depois de obtidos todos os mapas, estes foram todos unidos, criando por fim o seguinte mapa de biodiversidade, definido com base com dados utilizados.

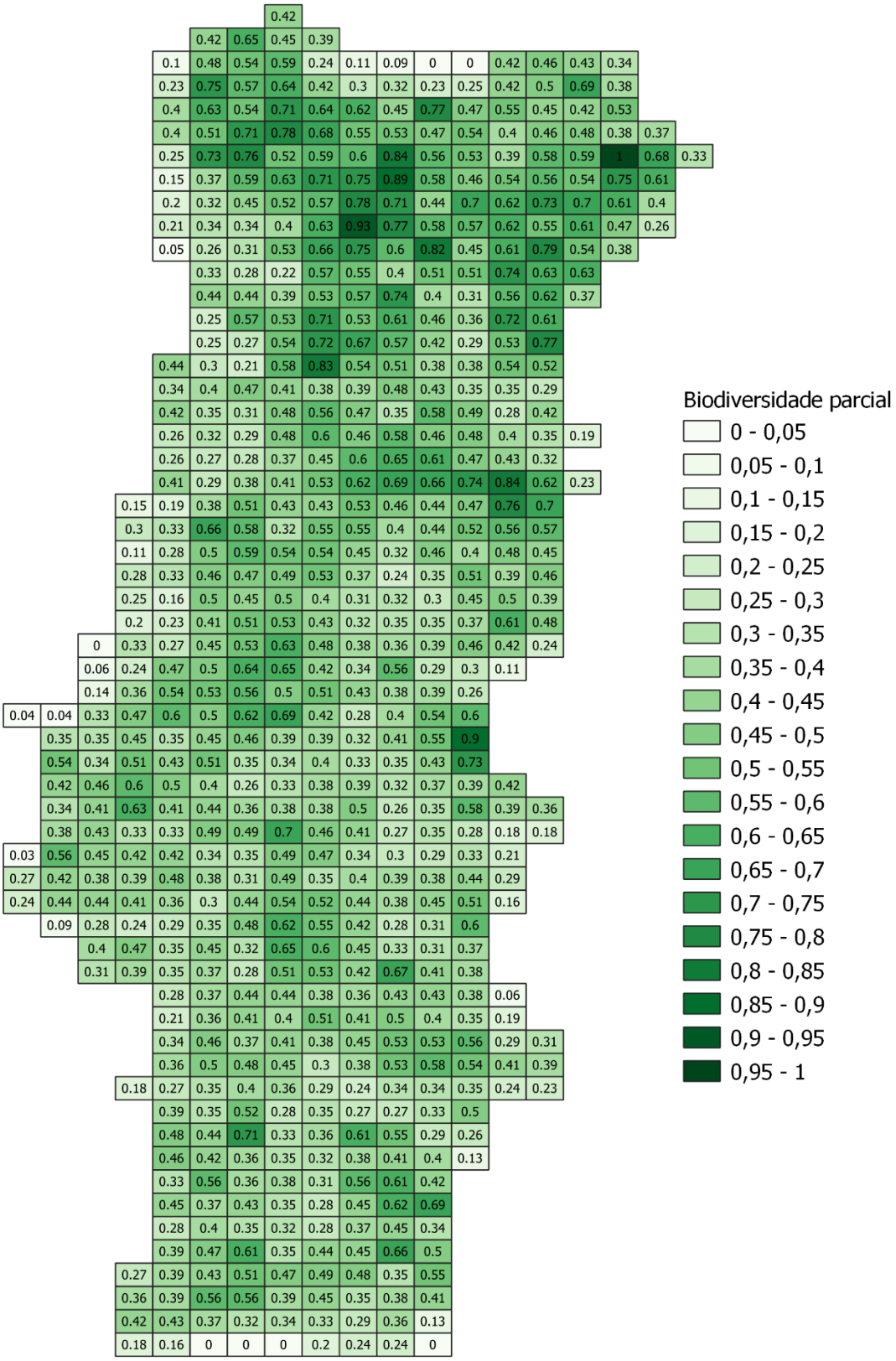

Figura 46 - Mapa final de biodiversidade, definido com base nos dados utilizados. As células mais escuras correspondem a locais com maior diversidade e as células mais claras a locais com menor diversidade.

Observando o mapa obtido, apesar de existir por toda a área do país valores intermédios, pudemos concluir que os locais com maiores valores dos indicadores de biodiversidade que utilizamos se situam na zona norte de Portugal Continental, em especial nas áreas mais interiores do país. Esta tendência é também observada no restante território, onde as zonas interiores possuem valores mais elevados, tanto no centro do país como no sul. Atendendo á limitação e especificidade dos dados, não é possível apontar as causas para esta distribuição. No caso destes dados refletirem a biodiversidade de Portugal Continental, poder-se-ia sugerir que os valores mais baixos nas zonas costeiras estariam relacionados com os maiores centros urbanos, diminuindo assim as áreas para o desenvolvimento dos ecossistemas das espécies analisadas.

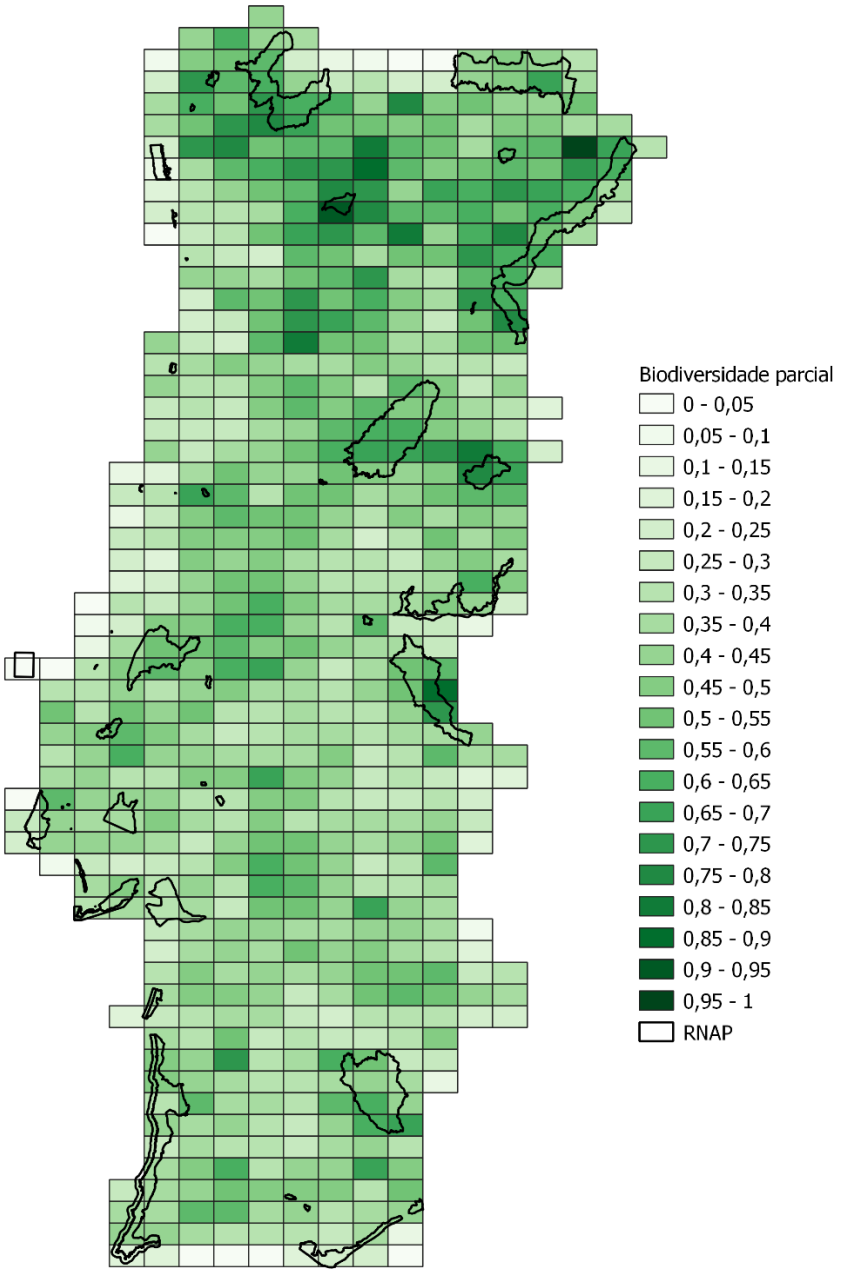

Figura 47 - Sobreposição do mapa de biodiversidade com a Rede Nacional de Áreas Protegidas

Para além disso quando é sobreposto o mapa das áreas protegidas sobre o mapa obtido relacionado com a biodiversidade, pudemos observar que nas áreas ocupadas pelas áreas protegidas possuem, no geral, valores altos. Isto é particularmente observado no Parque Nacional Peneda-Gerês, nos parques naturais de Montesinho, Alvão, Douro Internacional, Serra da Estrela, Serra de Aire e Candeeiros, Serra de S. Mamede e Vale do Guadiana e na reserva natural da Serra da Malcata.

3.7 Avaliação da correlação entre os diversos índices

De modo a proceder-se à comparação entre os diversos índices avaliados, foram agregados todos os resultados dos diferentes mapas, sendo de seguida exportados de modo a serem processados, neste caso, no programa *Excel*.

Neste programa, foi calculado o coeficiente de correlação de *Pearson* $\left(r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2][\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \right)$, através do comando *Pearson,* existente no programa, que indica se existe ou não uma relação estatística entre dois conjuntos de dados.

Os valores obtidos situam-se no intervalo entre -1 e 1, e podem ser interpretados da seguinte forma.

Valor de *r* (+ ou -)	Interpretação
0,00,	Nula
0,01 a 0,20	Ínfima fraca
0,21 a 0,40	Fraca
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Forte
0,81 a 0,99	Ínfima Forte
1	Perfeita

Figura 48 - Classificação de fiabilidade do coeficiente da correlação de Pearson (retirado de Veiga *et al.*, 2019)

Tabela 5 - Correlações entre os índices parciais de geodiversidade, da geodiversidade, da biodiversidade, os recursos hídricos e minerais. A vermelho estão assinaladas as correlações significativas.

	Pedologia	Litologia	Geomorfologia	Geodiversidade	Biodiversidade	Recursos Hídricos	Recursos Minerais
Litologia	*0,505*						
Geomorfologia	*0,273*	*0,282*					
Geodiversidade	*0,760*	*0,790*	*0,711*				
Biodiversidade	*0,157*	*0,182*	*0,329*	*0,302*			
Recursos Hídricos	-0,010	0,022	*0,226*	*0,113*	*0,304*		
Recursos Minerais	-0,032	0,082	0,082	0,064	*0,221*	*0,138*	
Geossítios	*0,104*	*0,196*	*0,178*	*0,215*	0,083	0,000	-0,014

Analisando os dados obtidos, podemos concluir que os índices de geodiversidade (pedologia, litologia e geomorfologia) estão correlacionados com coeficientes de correlação significativos, especialmente entre a litologia e a pedologia com coeficiente de correlação superior a 0,5. Estes índices têm uma especial correlação com a geodiversidade, com coeficientes de correlação acima de 0,7, indicando uma forte correlação entre estes índices. Esta correlação era esperada uma vez que o índice de geodiversidade foi calculado através da soma dos índices pedológicos, litológicos e geomorfológicos.

Os recursos hídricos estabelecem também uma correlação positiva com a geomorfologia. Realça-se também o papel dos recursos hídricos na biodiversidade, demonstrando que os recursos hídricos possuem um papel fulcral na criação e manutenção dos ecossistemas.

Já os recursos minerais estabelecem uma relação ínfima fraca com os recursos hídricos e fraca com a biodiversidade. Eventualmente, poderá observar-se em algumas regiões um conflito de interesses, uma vez que a existência de uma elevada biodiversidade será um entrave à exploração dos recursos minerais. Também a existência de importantes recursos hídricos, em especial cursos de água, poderá ser outro entrave à exploração dos recursos minerais, dado que é comum a contaminação dos recursos hídricos durante as explorações mineiras, apesar de nos dias de hoje existirem cada vez mais cuidados com este tipo de contaminação.

Os geossítios estabelecem uma correlação positiva ínfima fraca com os índices parciais da geodiversidade e fraca com o índice de geodiversidade.

Por fim, é possível observar uma relação, ainda que fraca, entre a geodiversidade (e os seus índices parciais) e a biodiversidade. Esta relação demonstra então uma relação positiva, da geodiversidade com a biodiversidade, no fornecimento de *habitats* e de nutrientes para os seres vivos. Porém, salienta-se a limitação de dados utilizados relativos à biodiversidade.

3.8 Rede Nacional de Áreas Protegidas de Portugal Continental

Em Portugal Continental, a Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP), é constituída pelas áreas protegias identificadas no Decreto-Lei n. °142/2008, de 24 de julho e pelos diplomas regionais de classificação. De acordo com o mesmo Decreto-Lei, são consideradas áreas protegidas, as áreas terrestres, aquáticas interiores e marinhas em que a biodiversidade ou outras ocorrências naturais possuem elevada raridade, valor científico, ecológico, social ou cénico que justifique medidas de conservação e gestão, promovendo a gestão dos recursos naturais e valorizando o património natural e cultural, reduzindo os impactos que os possam degradar.

Esta classificação de área protegida concede um estatuto legal de proteção de modo a preservar a biodiversidade, o património geológico, os serviços dos ecossistemas e ainda a valorização da paisagem. A proposta de área protegida pode ser feita pela autoridade nacional ou qualquer autoridade pública ou privada, sendo depois a avaliação feita pelo ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas) e a classificação decidida pela tutela. Já as áreas protegidas regionais ou locais a classificação pode ser feita por municípios ou associações de municípios, tendo em conta as condições previstas no artigo 15° do Decreto-Lei n. °142/2008, de 24 de julho.

As áreas são divididas nos seguintes tipos:

- Parque Nacional;
- Parque Natural;
- Reserva Natural
- Paisagem Protegida;
- Monumento Natural;

Todas as tipologias podem ser de âmbito regional ou local, tendo designação "regional" quando está envolvido mais que um município e "local" quando se trata de uma autarquia (ICNF).

Em Portugal Continental existem também áreas classificadas ao abrigo de legislação da EU (Natura 2000) ou ao abrigo de protocolos internacionais como a Convenção Ramsar. Contudo, estas tipologias não serão alvo de análise neste trabalho.

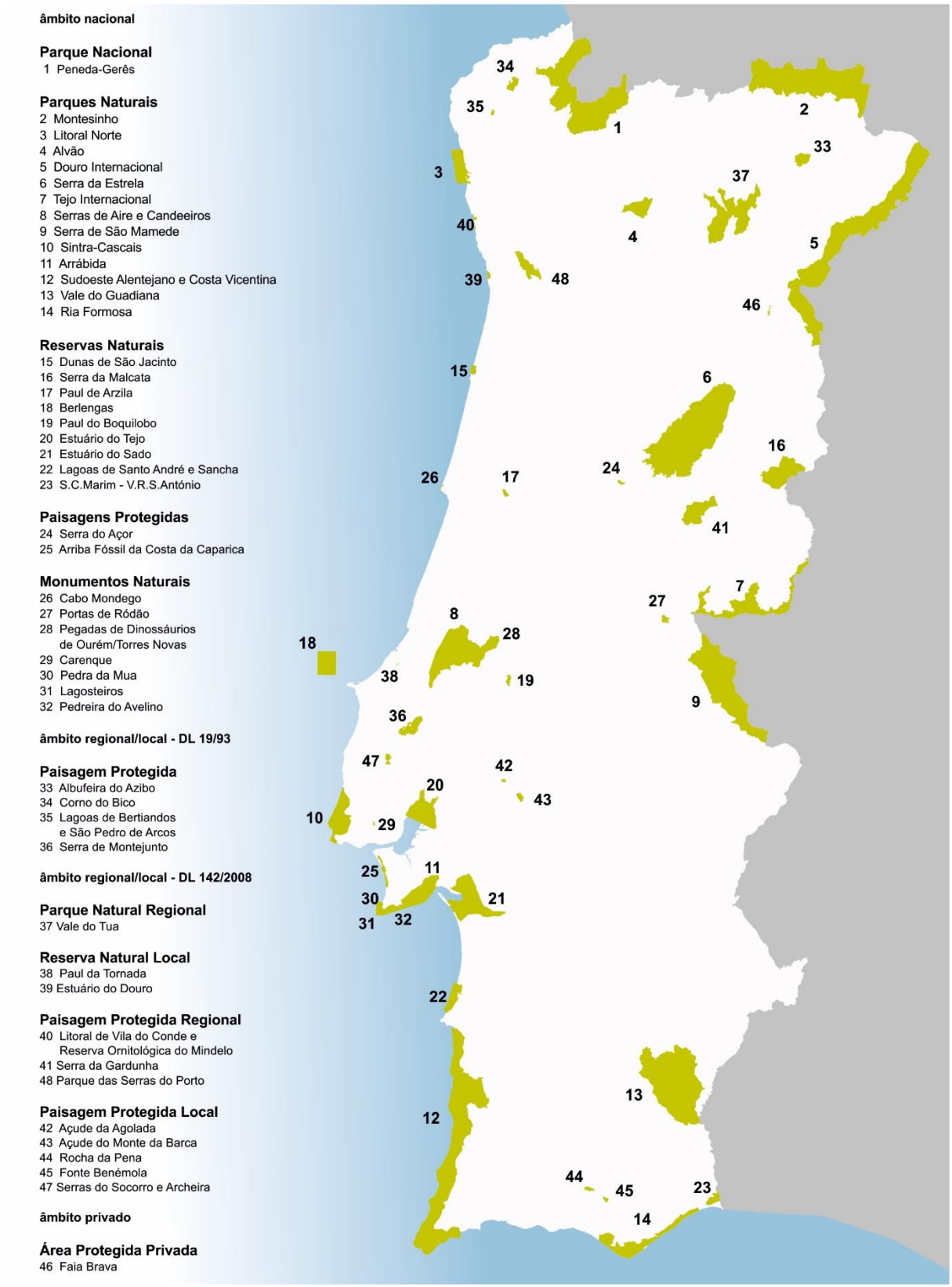

Figura 49 - Mapa das Áreas Protegidas de Portugal Continental (Fonte: ICNF)

Quando sobreposto o mapa das áreas protegidas com o mapa da geodiversidade verifica-se que algumas destas áreas se encontram em área com alguma geodiversidade, em especial a Paisagem Protegida da Albufeira do Azibo, localizada numa zona com geodiversidade muito elevada. O Parque Natural da Arrábida e o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina também possuem zonas com valores de geodiversidade moderados a altos. Porém não se pode verifica uma relação global entre os dois.

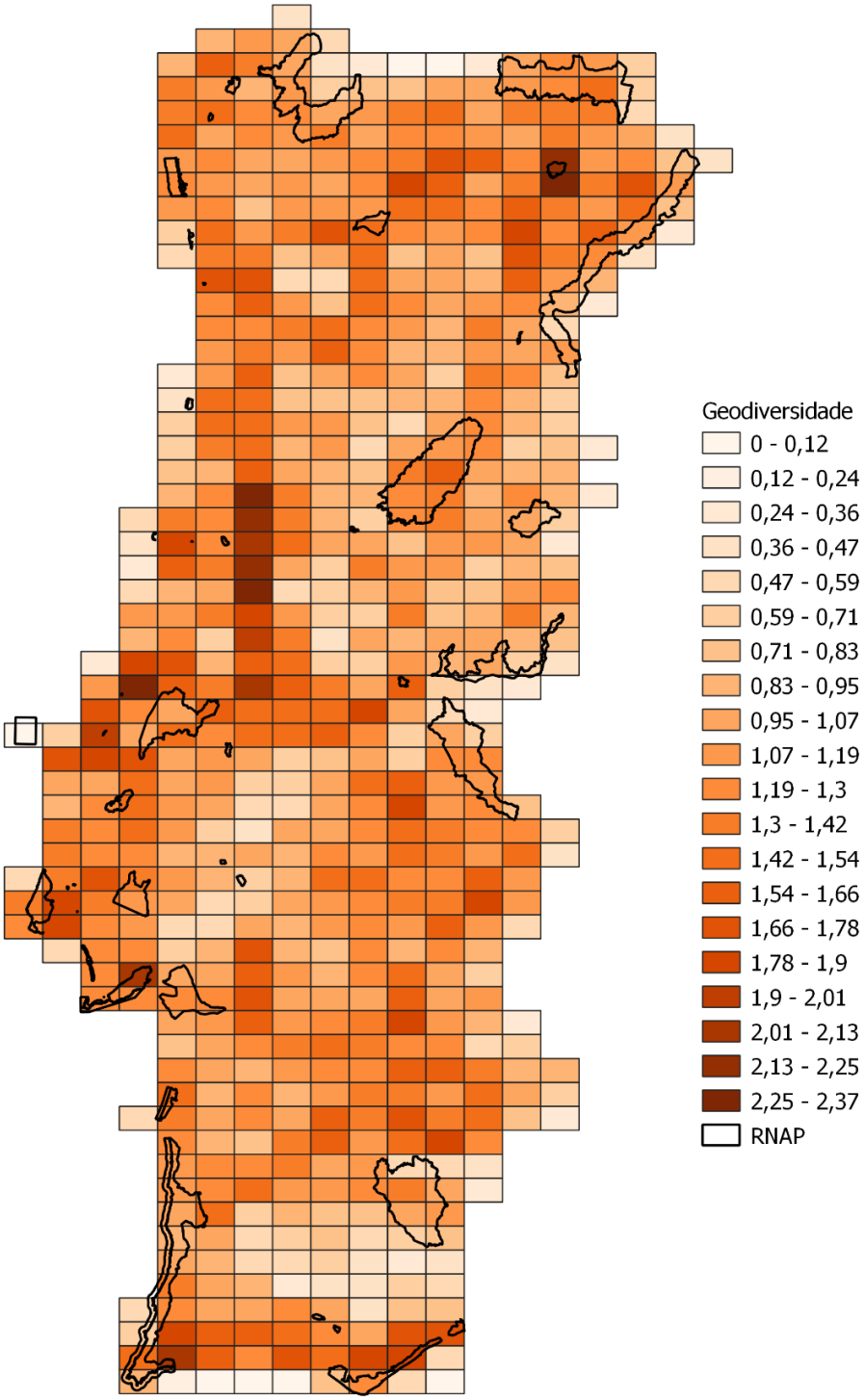

Figura 50 - Sobreposição da geodiversidade com as áreas protegidas

Já quando sobreposto os geossítios de Portugal Continental e a rede nacional de áreas protegidas, verifica-se uma relação entre os dois. É visível em áreas protegidas, principalmente no Parque Nacional da Peneda-Gerês, Parque Natural da Serra da Estrela, Parque Natural da Serra de Aire e Candeeiros, Parque Natural da Arrábida e o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina, uma concentração de geossítios, estabelecendo assim uma relação entre o património geológico de Portugal Continental e a Rede Nacional de Áreas Protegidas.

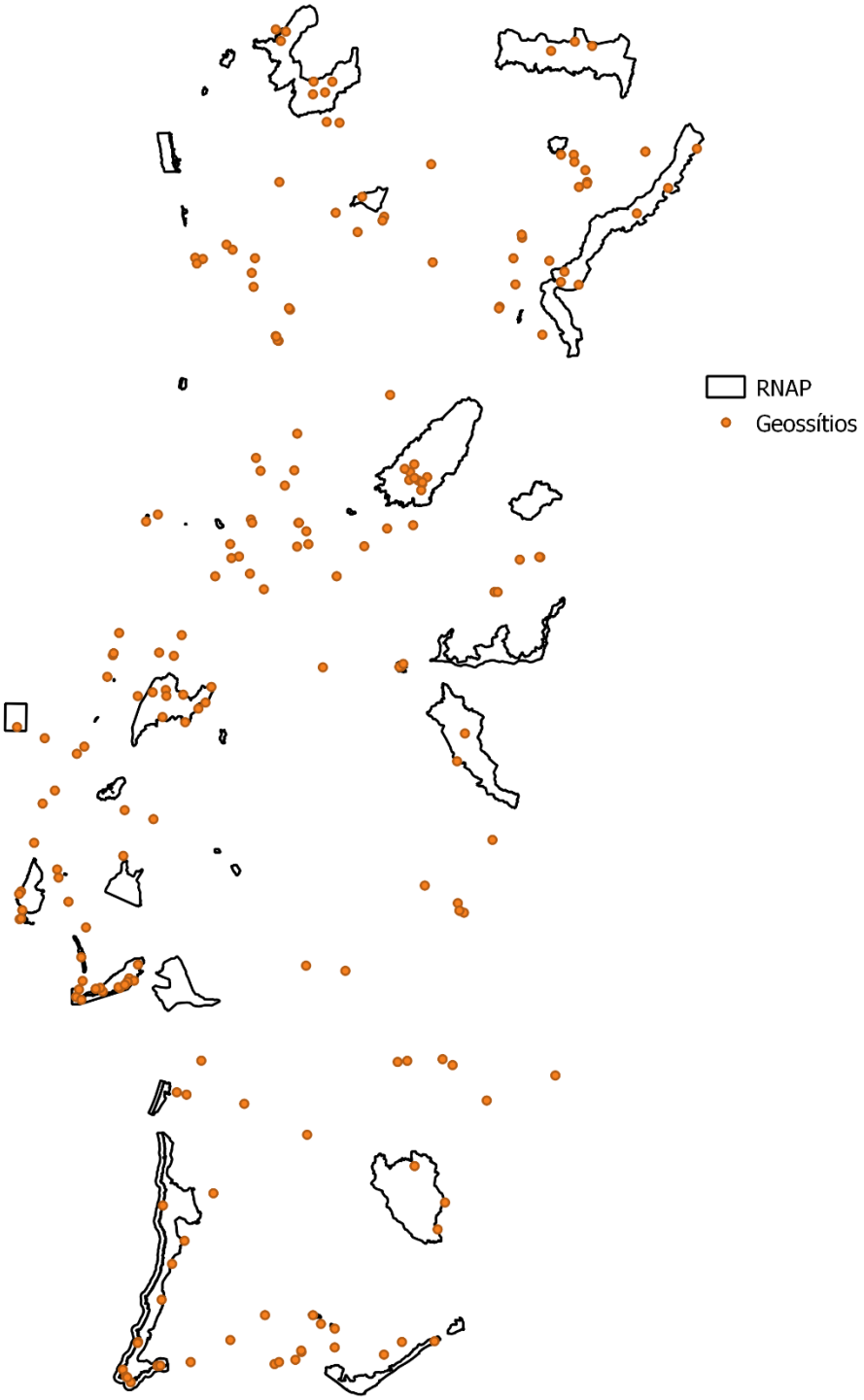

Figura 51 - Sobreposição dos geossítios de Portugal Continental com a Rede Nacional de Áreas Protegidas

4. Considerações finais

Portugal Continental possui uma rica, extensa e bem estudada história geológica, factos salientados pelos dados de geodiversidade obtidos, onde se salientam diversos *hotspots.*

A avaliação de uma área extensa como a de um país é um processo pouco comum, devido à grande área por vezes ocupado, que exige então a aplicação de uma metodologia rigorosa, de forma a obter resultados credíveis.

A metodologia aplicada foi adaptada das propostas de Pereira *et al.* (2013) e Araujo e Pereira (2018) para a avaliação da geodiversidade, tendo em conta os mapas e dados disponíveis, pois a inexistência de alguns dados dificultou a aplicação exata dos métodos propostos nos trabalhos anteriores. Além disso foi também feita a comparação entre a geodiversidade e os seus índices parciais com a biodiversidade e as áreas protegidas.

Um dos obstáculos foi identificado durante a pesquisa de dados e mapas sobre as temáticas abordadas, que se encontram um pouco dispersas por várias fontes, havendo por vezes dificuldade na obtenção dos mesmos, sugerindo-se, por isso, a criação de uma base de dados nacional, onde se poderia encontrar e obter com mais facilidade este tipo de dados, para o uso académico e científico.

Aplicado este método, foi assim cumprido o principal objetivo da avaliação da geodiversidade de Portugal Continental, onde se verificou a existência de três *hotspots*, localizados no nordeste de Portugal Continental, na zona centro de Portugal Continental (região de Coimbra) e na costa sul de Portugal Continental. Estes valores mais altos estão relacionados principalmente, com os índices litológicos e geomorfológicos, realçando a importância destes índices para a geodiversidade de Portugal Continental. Comparando com os restantes índices, foram obtidos resultados interessantes, principalmente a relação entre a biodiversidade e a geodiversidade. Esta relação, está em concordância com os trabalhos de Anderson *et al.* (2015), Hjort *et al.* (2015) ,Parks & Mulligan (2010), entre outros, que realçam a importância da geodiversidade para a biodiversidade. Porém, é preciso ter em conta a limitação dos dados utilizados para a avaliação da biodiversidade, tanto no número de espécies animais utilizadas como também na humanização da floresta de Portugal Continental.

Os resultados obtidos neste trabalho e principalmente a metodologia, poderão ser utilizados como uma ferramenta no planeamento territorial do país, assim como na identificação e utilização dos recursos geológicos disponíveis no país e a identificação de áreas de conservação. Este último ponto é particularmente importante tendo em conta a relação da biodiversidade com a geodiversidade, uma vez que, uma eventual proteção e conservação da geodiversidade de uma determinada área, significa, também, uma proteção e conservação da biodiversidade da mesma área. Isto é particularmente

importante, porque concede um valor acrescido à proteção e conservação da geodiversidade, que muitas vezes é esquecida nas estratégias de proteção da natureza.

Espera-se então que este trabalho possa servir de base não só a outros projetos de avaliação da geodiversidade e das suas relações com diversas áreas, mas também como ferramenta de ordenamento territorial e de gestão estratégica dos recursos geológicos e ainda como uma chamada de atenção à comunidade científica e a toda a sociedade da importância da conservação e proteção da geodiversidade.

Referências bibliográficas

Websites

Ciência Viva - https://www.cienciaviva.pt/img/upload/RecMinPort-SituPerspectivas-Total2001.pdf, acedido a 23 de setembro de 2020.

Direção Geral de Energia e Geologia - https://www.dgeg.gov.pt/media/ygllsqyi/i014794.pdf, acedido a 23 de setembro de 2020.

Direção-Geral do Território - https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/publicacoes/folheto_cos_lq.pdf, acedido a 8 de setembro de 2020.

EPIC Webgis Portugal - http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/ , acedido a 4 de fevereiro de 2020.

Geopark Naturtejo - https://naturtejo.com/ficheiros/conteudos/pdf/geoturismo/1.3.pdf , acedido a 15 de agosto de 2020.

Instituto Nacional de Estatística - https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008350&selTab=tab0, acedido a 13 de agosto de 2020.

Instituto Nacional de Estatística – https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=320469310&PUBLICACOESmodo=2 , acedido a 1 de dezembro de 2020.

PORDATA - https://www.pordata.pt/Portugal/Produ%c3%a7%c3%a3o+de+energia+el%c3%a9ctrica+total+e+a+partir+de+fontes+renov%c3%a1veis-1127, acedido a 24 setembro de 2020.

SIG ICNF **-** https://sigservices.icnf.pt/server/rest/services/BDG/IFN_especies_florestais/MapServer, acedido a 20 outubro de 2020.

SIG ICNF - https://sig.icnf.pt/portal/home/item.html?id=0d26526ca5b049a3a6e8da783f32fb9c , acedido a 20 outubro de 2020.

SIG ICNF - https://sig.icnf.pt/portal/home/item.html?id=66dc9514332647b986c00f5adfff32e9 , acedido a 20 outubro de 2020.

SNIRH - https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=4&idItem=2 , acedido a 4 de fevereiro de 2020.

Visualizador SNIAmb - https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador?language=pt-pt , acedido a 22 de fevereiro de 2020.

Bibliografia

Anderson, M., Comer, P., Beier, P., Lawler, J., Schloss, C., Buttrick, S., Albano, C., Faith, D. (2015). Case studies of conservation plans that incorporate geodiversity: Geodiversity in Conservation Planning. Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology.

Araujo, A. (2016). Avaliação dos Recursos Hídricos no Âmbito da Geodiversidade: aplicação ao Estado do Ceará. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.

Araujo, A., Pereira, D. I. (2018). A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil). Geoheritage, 10 (4), 591–605. DOI 10.1007/s12371-017-0250-3.

Bencatel, J., Marques, H., Álvares, F., Moura, A., Barbosa, A. (2019) *Atlas de Mamíferos de Portugal*, 2ª edição. Universidade de Évora, Évora.

Brilha, J. (2005). Património Geológico e Geoconservação. A Conservação da Natureza na sua vertente geológica. Palimage Editores, Viseu.

Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. Geoheritage. 8. 119-134. 10.1007/s12371-014-0139-3.

Brilha, J., Gray, M., Pereira, DI., Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. Environmental Science & Policy. 86. 10.1016/j.envsci.2018.05.001.

Dias, R. (2010). Evolução geodinâmica de Portugal no contexto do ciclo Varisco. VIII Congresso Nacional de Geologia. ISSN 1645-0388. Volume 8, nº 3.

Dias, R., Ribeiro, A. (2013). O Varisco do sector norte de Portugal. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (2013), Geologia de Portugal, vol. 1, Escolar Editora, 55-71

Fernández, A., Fernández, T., Pereira, D., Albert, L. (2020). Assessment of Geodiversity in the Southern Part of the Central Iberian Zone (Jaén Province): Usefulness for Delimiting and Managing Natural Protected Areas. Geoheritage. 12. 10.1007/s12371-020-00447-6.

Ferreira, A. (2000). "2. Caracterização de Portugal Continental", Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional, http://hdl.handle.net/10400.9/542 consultado a 10 de agosto de 2020.

Forte, J.P., Brilha, J., Pereira, D.I., Nolasco, M. (2018). Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. Geoheritage, 2018, 10(2), pp. 205-217.

Giese, E. (2018). Rare Earth Elements: therapeutic and diagnostic applications in modern medicine. Clinical and Medical Reports. 2. 10.15761/CMR.1000139.

Gray, M. (2004). Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature, pp. 65-133.

Gray, M. (2008). Geodiversity: The origin and evolution of a paradigm. Geological Society, London, Special Publications. 300. 31-36. 10.1144/SP300.4.

Gray, M. (2008). Geoheritage 1. Geodiversity: A New Paradigm for Valuing and Conserving Geoheritage.

35. 51-60.

Gray, M., Gordon, J., Brown, E. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management, Proceedings of the Geologists' Association, Volume 124, Issue 4,2013, Pages 659-673,

Hjort, J., Gordon, J., Gray, M., Hunter, M. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. Conservation Biology.

Kullberg, J., Rocha, R., Soares, A., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A., Callapez, P., Duarte, L., Kullberg, M., Martins, L., Miranda, J., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., Nogueira, C. (2013). III.3. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica.

Manosso, F., Pellitero, R. (2012). Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. Anuário do Instituto de Geociências. 35. 90-100. 10.11137/2012_1_90_100.

Martins, T., Isolani, P. (2005). Terras raras: aplicações industriais e biológicas. Química Nova, 28(1), 111-117. https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100020 consultado a 22 de setembro de 2020.

Pais, J., Cunha, P., Legoinha, P., Dias, R., Pereira, DI., Ramos, A. (2013). Cenozóico das Bacias do Douro (sector ocidental), Mondego, Baixo Tejo e Alvalade. 10.13140/2.1.1519.5844.

Parks, K., Mulligan, M. (2010). On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. Biodiversity and Conservation.

Pereira, DI., Brilha, J., Pereira, P. (2008). Geodiversidade: Valores e usos, 16p., ISBN: 978-972-95255-6-8.

Pereira, DI., Pereira, P., Brilha, J., Santos, L. (2013). Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. Environmental management. 52. 10.1007/s00267-013-0100-2.

Pereira, DI., Pereira, P., Santos, L., Silva, J. (2014). Unidades geomorfológicas de Portugal Continental. Revista Brasileira de Geomorfologia. 15. pp.567-584.

Reynard, E., Brilha, J. (2018). Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Ribeiro, A. (2013). Evolução da Geodinâmica de Portugal; uma introdução. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg,J. (2013), Geologia de Portugal, vol. 1, Escolar Editora, 7-10

Ribeiro, A. (2013). Evolução da Geodinâmica de Portugal; os ciclos mesocenozoicos. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. (2013), Geologia de Portugal, vol. 2, Escolar Editora, 9-29

Ribeiro, A. (2013). Evolução da Geodinâmica de Portugal; os ciclos ante-mesozóicos. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.(2013), Geologia de Portugal, vol. 1, Escolar Editora, 11-42

Serrano, E., Flaño, P. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiermes Caracena (Soria). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, ISSN 0212-9426, Nº. 45, 2007, pags. 79-98.

Silva, J., Pereira DI., Aguiar, A., Rodrigues, C. (2013). Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin, Journal of Maps, DOI:10.1080/17445647.2013.775085

Silva, J., Rodrigues, C., Pereira, D.I. (2015). Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. Geoheritage 7, 337–350.

Swingland, I. (2000). Biodiversity, Definition of. Encyclopedia of Biodiversity. 1. 10.1016/B0-12-226865-2/00027-4.

Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R., Matias, H., Luis, M., Madeira, J., Silva, C., Munhá, J., Rebelo, L., Bensalah, M. (2013). A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica.

Vera, J. (Coord.) (2004) Geología de España. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 884 p.

Figuras online

Figura 4 - Mapa hipsométrico de Portugal Continental (SNIRH, 2009) acedido em, https://snirh.apambiente.pt/snirh/_atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1006.pdf

Figura 11 - Programa educativo do Geopark Terras de Cavaleiros. Os geoparques oferecem um diverso leque de oportunidades educativas para os alunos dos diferentes niveis escolares (Geopark Terras de Cavaleiros, 2020), acedido em, https://geoparkterrasdecavaleiros.net/pt-pt/content/programas-educativos-20192020,

Figura 12 - *Graffiti* num bloco granítico alusivo ao Rally de Fafe (Foto: WRC), acedido em, https://www.wrc.com/en/news/season-2020/wrc/fabulous-fafe-fans-finesse-fine-rally-art/

Figura 13 - Impacto visual das pedreiras no Parque Natural Serras de Aire e Candeeiros (Foto: Diário Noticias) acedido em, https://static.globalnoticias.pt/storage/DN/2012/big/ng1827966.jpg

Figura 14 - Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas. Esta jazida foi descoberta graças á pedreira que existia no local (Foto: Liga para a proteção da natureza) acedido em https://www.lpn.pt/pt/noticias/uma-viagem-pelas-profundezas-e-a-descoberta-das-pegadas-de-dinossauros

Figura 28 - Impacto da exploração mineral no Canada onde a exploração tem uma grande importância. (Fonte: KSM Project), acedido em https://ksmproject.com/mineral-exploration-and-mining-industry-in-canada/

Figura 32 - Esquema explicativo da hierarquização dos cursos de água segundo o método de Strahler (Fonte: supergeotek),acedido em https://www.supergeotek.com/SpatialAnalyst_ENG_HTML/stream_order.htm

Figura 36 - Aldeia submersa de Vilarinho das Furnas, Terras de Bouro, observada na sequência da descida do nível das águas. (Fonte: Câmara Municipal de Terras de Bouro), Acedido em

https://turismo.cmterrasdebouro.pt/listings/vilarinho-da-furna-aldeia/