U.PORTO
FLUP FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

NDVI e Classificação do solo supervisionada do concelho de Braga

Discente: João Gonçalves

Docentes: Lia Duarte

Ana Teodoro

Índice

Conteúdo

Índice 2
Introdução 3
Metodologia 3
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 4
Classificação do solo supervisionada 5
Apresentação e discussão dos resultados 7
Conclusão 15
Anexos 16
Bibliografia 18

Introdução

Neste trabalho o objetivo apresentado passa por aplicar na prática conhecimentos teóricos relacionados com índices ambientais e classificação do solo, propondo aos alunos a realização do índice ambiental NDVI e a classificação de uso do solo supervisionada de um município ou conjunto de freguesias, ajudando a consolidar as aprendizagens bem como tornar os alunos capazes de realizar uma variedade de operações com os SIG relacionados à Deteção Remota.

A área de estudo escolhida para este trabalho foi o município de Braga por duas razões muito simples, é o município de onde sou natural e gostaria de aplicar a tarefa no município para ter mais conhecimento sobre isto e é uma área sobre a qual já tenho algum conhecimento facilitando a realização do trabalho, especialmente na classificação de imagem.

Do trabalho resultou a realização de dois NDVI, verão e inverno, e seis classificações do solo, três para cada imagem, por via de três métodos de classificação semi-automática. Chegou a ser objetivo fazer mais índices ambientais, no entanto, por limitações de disponibilidade acabou por não ser possível, tendo-se realizado então apenas o NDVI.

Metodologia

Para a realização do trabalho utilizou-se o site https://dataspace.copernicus.eu/browser/ para obter os dados necessários à realização do trabalho. Para o fazer localizou-se o browser na área de estudo e definiu-se o satélite a utilizar – Sentinel 2 (MSI 2LA), tendo-se de seguida pesquisado por dois intervalos de tempo, um no verão e outro no inverno, onde a cobertura de nuvens fosse inferior a 10% para que existisse informação útil com que trabalhar. Para a área de Braga foi possível encontrar dados com apenas 3 % de cobertura de nuvens para as duas estações tendo sido utilizada esta informação na realização deste trabalho.

Nos passos seguintes da realização deste trabalho utilizado o programa QGIS 3.28.11, onde se usou a função base da calculadora de rasters para calcular o índice ambiental e o plugin Semi-Automatic Classification Plugin para fazer a classificação do solo da área de estudo. Estes processos serão descritos com detalhe na parte dedicada a estes tópicos.

Para a elaboração do relatório foram ainda consultados materiais disponibilizados em aula, bem como publicações e outras informações em sítios da internet, referenciados na bibliografia.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um índice ambiental que apresenta a atividade fotossintética das plantas, sendo apresentado com valores positivos aquilo que tem valor ecológico dentro das áreas de estudo e o que não tem é apresentado com valores negativos.

Sabendo para que serve este índice ambiental procedeu-se à sua elaboração. Para isso, utilizou-se então a ferramenta de cálculo de rasters no QGIS onde se inseriram as bandas espetrais 8 e 4 na fórmula de cálculo do NDVI.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$$

Figura 1 - Fórmula de cálculo do NDVI

A fórmula deste índice é composta pelos comprimentos de onda nas faixas do NIR e RED pelo facto da vegetação saudável verde refletir bastante nos comprimentos de onda dos NIR e por absorver bastante no comprimento de onda dos vermelhos. Relativamente às bandas utilizadas utilizam-se para o Sentinel 2 as bandas 8 para o NIR e a 4 para o RED porque é aí que se encontram as informações espetrais relativamente a esses comprimentos de onda, como é possível observar na imagem abaixo.

Sentinel-2 bands	Central wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation red edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation red edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation red edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Vegetation red edge	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrius	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

Figura 2 - Caraterísticas das bandas do Sentinel 2. Fonte: Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery (DOI: 10.1080/22797254.2017.1297540)

Assim, e tendo em conta a fórmula do NDVI colocaram-se as bandas respetivas para calcular este índice para a área de estudo, tendo-se substituido o ρNIR pela banda 8 e o ρRed pela banda 4.

Com a fórmula corretamente inserida o programa apresenta-nos o índice calculado com uma imagem raster que deverá ter valores entre os -1 e +1, acontecendo precisamente isso nos cálculos para as minhas duas imagens. Assim, não se tendo revelado nenhum problema as imagens de inverno e verão estão prontas a analisar, tendo apenas alterado a palete de cores dos cinzentos para os verdes, para uma melhor leitura.

Classificação do solo supervisionada

A classificação do solo supervisionada é uma técnica de classificação semi-automática que através de imagens obtidas por deteção remota permite facilmente criar classes de uso do solo de determinada área para que o programa complete a classificação para toda a área em estudo. Isto é possível por diferentes métodos, existindo até formas de classificar o solo automaticamente, mas neste trabalho foi feito definindo áreas de treino para cada classe que se queria introduzir na classificação. Com a informação dos pixeis existentes para as áreas de treino definidas o programa então comparava com a informação pela área de estudo para perceber em que classe de uso poderiam as parcelas de solo se enquadrar.

Para realizar esta tarefa utilizou-se o Semi-Automatic Classification Plugin (daqui em diante referido como SCP) que tem como funções principais a classificação supervisionada de imagens obtidas por deteção remota, bem como o pré e pós processamento deste tipo de imagens.

Para fazer então a classificação de imagem começou-se por criar novas pastas, uma para o período de verão e outra de inverno, onde se introduziram as bandas de 10 metros - 2, 3, 4 e 8 – e as bandas de 20 metros – 5, 6, 7, 8A, 11 e 12, bem como os ficheiros MTD_MSIL2A e MTD_TL que contém metadata útil para a classificação.

Após a criação das pastas com a informação de verão numa e a informação de inverno noutra procedeu-se ao exercício, que teve para ambas as estações passos e definições iguais.

Dessa forma, as imagens foram pré-processadas, convertendo as informações de Digital Numbers (DN) para Top-Of Atmosphere (TOA), sendo que o Digital Numbers se refere aos dados “crus” provenientes do sensor que foram convertidos, neste passo, para valores com referência à refletância no topo da atmosfera. Nesta conversão foi utilizado o método de correção atmosférica DOS1, um dos métodos mais utilizados, e que se baseia nas propriedades das imagens, onde elementos com valores de refletância entre 0 e 1% são considerados como objetos escuros e o seu valor de refletância é assumido como fruto de dispersão atmosférica, que o método tenta resolver *(Prieto-Amparan, et al)*.

Feita a correção das imagens procedeu-se ao clip destas para se trabalhar apenas com a área de estudo. Para isso utilizou-se outra ferramenta de pré-processamento do SCP, o Clip Raster Bands que de uma vez faz o clip das imagens que temos no Band Set pela área definida.

Com as imagens prontas e organizadas, com os novos clips colocados no Band Set do SCP, avançou-se então para a classificação das imagens. Para o fazer é necessário ir ao Band Set e escolher o Sentinel 2 nas definições rápidas de banda e selecionar o Virtual raster, de forma a confirmar que estamos a trabalhar com toda a informação correta para fazer a classificação do solo corretamente. Com este passo feito é criado um raster temporário da nossa área de estudo onde se pode manipular o conjunto de bandas que nos aparecem representadas, podendo-se escolher aquelas que se quer utilizar

para melhor perceber o terreno e avaliar a partir desta as áreas de treino. No caso selecionou-se o conjunto 3-2-1 que correspondia no Band Set às bandas 2, 3 e 4 (Blue, Green e Red, respetivamente).

Com mais este passo feito é possível começar de facto o processo de classificação de uso do solo. Para o fazer é preciso saber que se tem de definir áreas de treino com diferentes Macroclasses e Classes que o programa depois analisará e completará a classificação de acordo com a informação que selecionamos. Como o programa vai essencialmente aprender a distinguir as classes que tem de classificar através das áreas que nós (operador) lhe damos é muito importante que estas sejam bem definidas para minimizar os erros de classificação. Essencialmente o que o programa faz é analisar as assinaturas espetrais das áreas que o operador lhe indica para que este consiga distinguir para a restante imagem quais são as áreas que se assemelham às assinaturas espetrais definidas para que o programa possa associar às respetivas classes.

Tendo isto em mente, foram definidas 9 classes que fazem parte de 3 macroclasses, sendo estas as seguintes. É importante notar que estas classes e o desenho das áreas de treino foram definidas tendo a Classificação de Ocupação de Solo nacional de 2018 (COS2018).

Macroclasses	Classes
Corpos de água	Rios
	Corpos artificias
Vegetação	Florestas
	Matos
	Agricultura
Territórios artificializados	Tecido edificado
	Indústria
	Indústria extrativa
	Estradas

Figura 3 - Macroclasses e Classes definidas na Classificação de Uso do Solo de Braga

Assim, criou-se um ficheiro de áreas de treino no Training Input do SCP e desenhou-se as áreas de treino que pareceram relevantes para o programa fazer uma boa classificação.

Tendo-se concluído a definição destas áreas gerou-se um gráfico de assinaturas espetrais das classes definidas (será apresentado de seguida) antes de passar à fase de processamento das bandas que permitiu ver então a classificação do solo produzida de forma supervisionada. Para produzir os mapas foi-se então, no Semi-Automatic Classification Plugin, ao Processamento de Bandas – Classificação onde se escolheu o algoritmo a usar para fazer a classificação. Aqui foram utilizados 3 algoritmos, quer na classificação de imagem de verão como na de inverno, sendo eles o Maximum Likelihood, o Minimum Distance e o Spectral Angle Mapping. Neste procedimento não foi esquecido de se selecionar o Input Band Set correto, bem como a seleção de uso das Class ID para o treino do algoritmo.

No que diz respeito aos algoritmos usados é importante ter algum conhecimento de como estes funcionam. Assim, o Maximum Likelihood carateriza-se por calcular a probabilidade de distribuição das classes estimando se um pixel pertence ou não a determinada classe, relacionando-se com o Teorema de Bayes. Já o algoritmo Minimum Distance calcula a distância Euclideana entre as assinaturas espetrais dos pixéis das imagens e as assinaturas espetrais das áreas de treino. Por fim, o Spectral Angle Mapping calcula o ângulo espetral entre as assinaturas espetrais dos pixéis das imagens e as assinaturas espetrais das áreas de treino.

Para finalizar o processo era necessário saber o erro existente nas classificações, tendo-se utilizado novamente o SCP e nas ferramentas de pós-processamento utilizou-se a precisão (Accuracy) onde se colocou a camada da classificação gerada e como referência colocou-se o ficheiro das áreas de treino utilizadas para fazer aquela classificação. Este processo fez-se para cada uma das classificações testadas e para cada estação do ano, fazendo-se, no mínimo, 6 vezes este processo. Esta ferramenta permite de forma fácil ver o erro geral de cada classificação ajudando à análise do trabalho e dando um feedback rápido se o trabalho foi bom ou mal feito, tendo de se repetir se a precisão fosse inferior a 75%, algo que ocorreu algumas vezes nas tentativas de realização do trabalho.

Apresentação e discussão dos resultados

Nesta secção serão apresentados os resultados obtidos durante a realização deste trabalho, começando por ver primeiro os resultados do Normalized Difference Vegetation Index de verão e de inverno, bem como os seus histogramas, e de seguida serão apresentados os resultados da classificação do solo para os três métodos utilizados por cada estação e os seus erros, bem como a assinatura espetral obtida pela definição das áreas de treino. Relembrando, o NDVI apresenta valores positivos para a vegetação com atividade fotossintética, sendo que quanto maior a sua atividade maior são os valores, e que apresenta valores negativos para as áreas sem valor ecológico e sem atividade fotossintética. Desta forma é possível verificar que a maioria do município apresenta atividade fotossintética.

Os locais onde a fórmula indica a inexistência de atividade fotossintética é o rio que corre a norte do município e as áreas industriais, enquanto tudo o resto apresenta atividade fotossintética, mesmo as áreas urbanas muito consolidadas e estradas, podendo-se perceber algumas limitações do método. No entanto, estes valores são reduzidos e compreendendo o índice não é problemático.

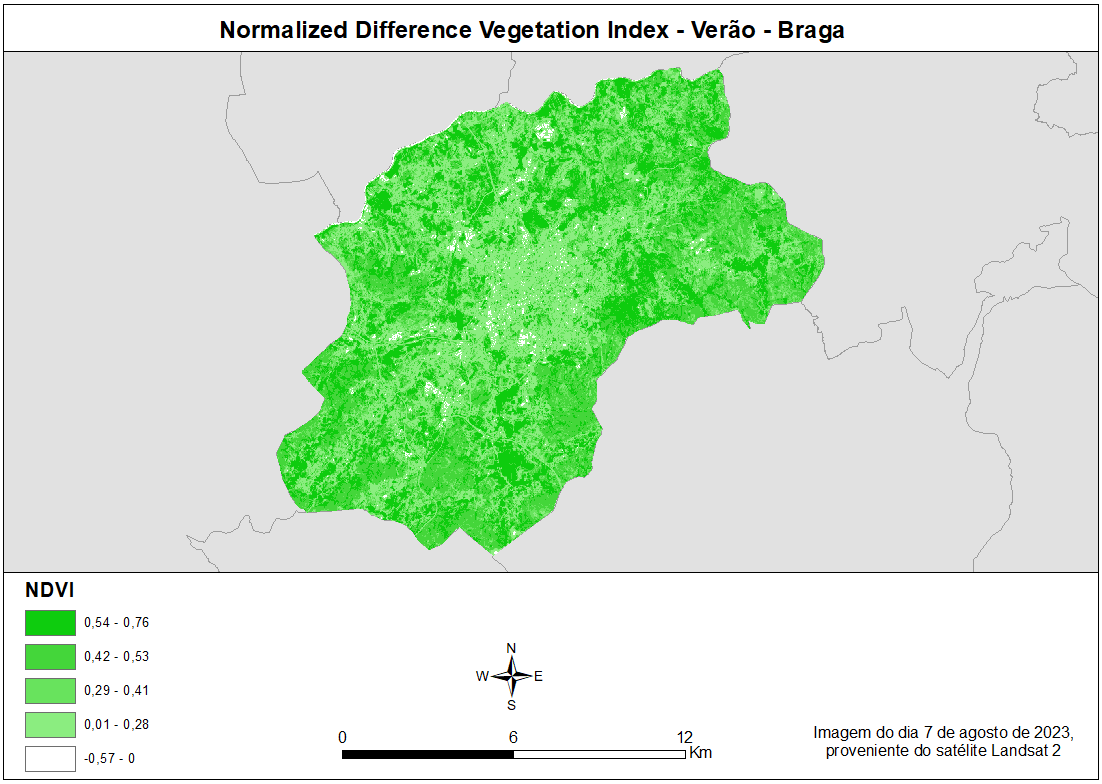

Figura 4 - Mapa Normalized Difference Vegetation Index de verão para o concelho de Braga

De resto, consegue-se perceber que ao redor da área urbana central e das expansões urbanas lineares existem áreas significativas com atividade fotossintética considerável e que coincidem com as áreas de floresta, de matos ou de atividade agrícola. O facto das grandes parcelas de floresta e matos se situar no quadrante sul do município significa que é aí que se situam as áreas mais extensas com maiores valores de atividade fotossintética.

Analisando o histograma do NVDI de verão é possível perceber melhor a distribuição de valores, sendo claro que há poucos pixeis sem valor ecológico. Por outro lado é possível notar que um grande número de pixeis onde os valores estão à volta do valor 0,5, descaindo rapidamente a frequência de pixeis com valores mais elevados. É também possível perceber que apesar da existência de bastantes valores com atividade fotossintética baixa estes não se concentram num único valor e está bem distribuído entre os valores de 0,1 a 0,3.

Assim, é possível concluir que para o NDVI de verão do município de Braga existem poucas áreas com grandes valores de atividade fotossintética já que há poucos pixeis a passar para lá dos valores de 0,6, apesar de existirem valores médios e até um pouco superiores. Estes valores são fruto das áreas florestais, de mato e agrícolas do concelho, que pela sua saúde contribuem para estes valores. Por outro lado verificam-se então também áreas extensas e significativas de muito baixa atividade fotossintética, provocada pela existência de áreas urbanas mas também algumas atividades agrícolas de pequena dimensão na imediação de urbanizações.

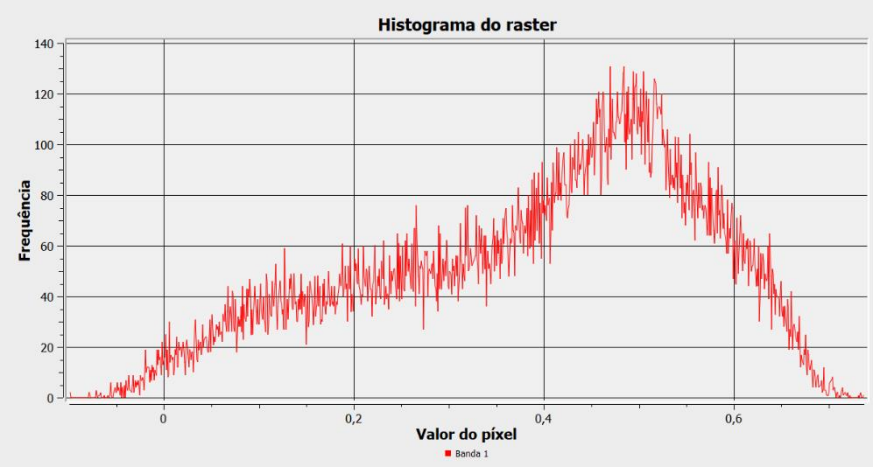

Figura 5 - Histograma do NDVI de verão do concelho de Braga

De seguida iremos ver o NDVI da imagem de inverno para o mesmo concelho. Nesta é possível notar, após observada a imagem de verão, uma atividade fotossintética mais reduzida no global.

As áreas urbanas voltam a surgir com valores muito reduzidos, como era de esperar, no entanto as áreas contíguas a estas passaram a ter valores mais baixos, tendo-se alargado a um maior número de explorações agrícolas, especialmente a noroeste e sudoeste do município. No entanto, mesmo as áreas com maiores valores no verão

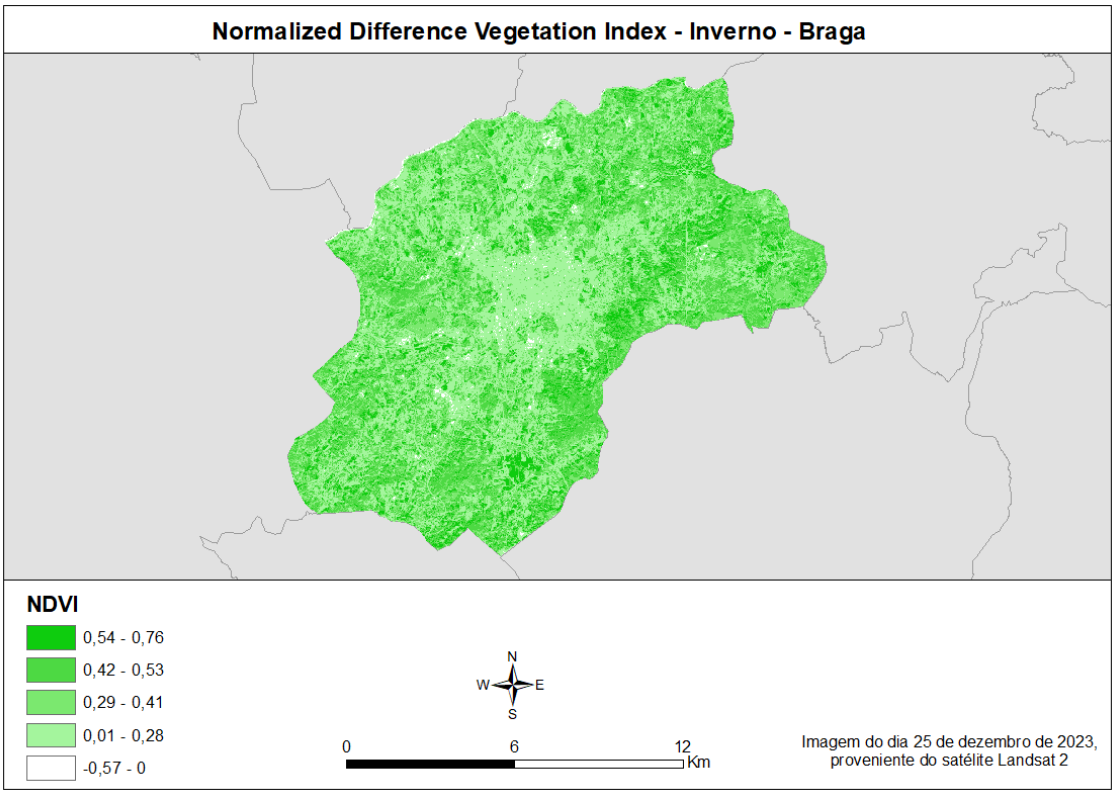

Figura 6 - Mapa Normalized Difference Vegetation Index de inverno para o concelho de Braga

como as florestas e matos do sul tiveram reduções significativas nos valores, podendo indicar que no inverno as condições de refletância, a saúde da vegetação bracarense, o tipo de culturas nos campos agrícolas ou a maior existência de humidade poderão afetar os valores globais, reduzindo a atividade fotossintética percetível através do NDVI.

Vendo o histograma associado ao NDVI de inverno comprova-se que a atividade fotossintética global reduziu no município, observando-se um histograma bem diferenciado daquele que a imagem de verão produziu. A imagem de inverno é caraterizada por uma amplitude de valores menor. Dessa forma verifica-se uma menor variedade de valores, com muitos pixeis ao redor do valor 0,4 e também uma frequência relativamente significante pelo valor 0,2. No entanto o número de pixeis em valores superiores a 0,5 é reduzido quando comparado ao cálculo do NDVI de verão.

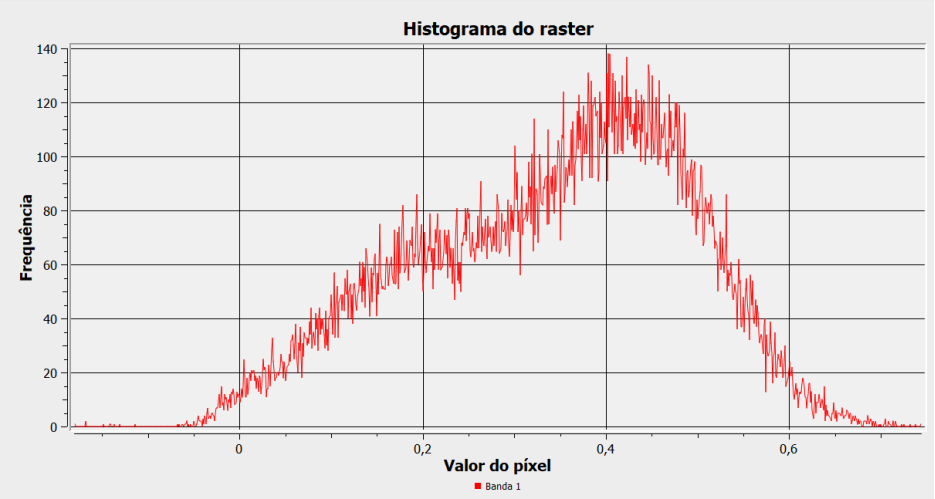

Figura 7 - Histograma do NDVI de inverno para o concelho de Braga

Assim, pode-se concluir que de facto a imagem de inverno é caraterizada por baixos valores fotossintéticos, não existindo grande relevância das áreas de valor ecológico do município bracarense quando comparado com o cenário de verão.

Com a apresentação dos elementos do NDVI, ficam então a faltar as classificações semi-automáticas feitas com o Semi-Automatic Classification Plugin.

Para cada imagem, de verão e de inverno, foram feitas 3 classificações por três diferentes métodos que irão ser aqui apresentados, no entanto apenas o método que teve melhor classificação em cada imagem terá uma análise, ficando os restantes nos anexos do trabalho.

Começando pela imagem de verão, o método com melhor precisão foi o Maximum Likelihood com 82,36%.

Baseada na COS 2018, tal como as restantes classificações, esta classificação foi aquela que de todas as tentativas de todos os métodos teve a melhor precisão, tendo-se definido várias áreas de treino para cada classe, tendo o cuidado de as fazer apenas onde se tinha a certeza de pertencer apenas à classe a classificar. Este método não tinha sido sempre usado, por não se ter compreendido logo desde o início a melhor forma de fazer a classificação. No entanto, as primeiras dificuldades acabaram por ajudar a perceber e obter uma melhor classificação.

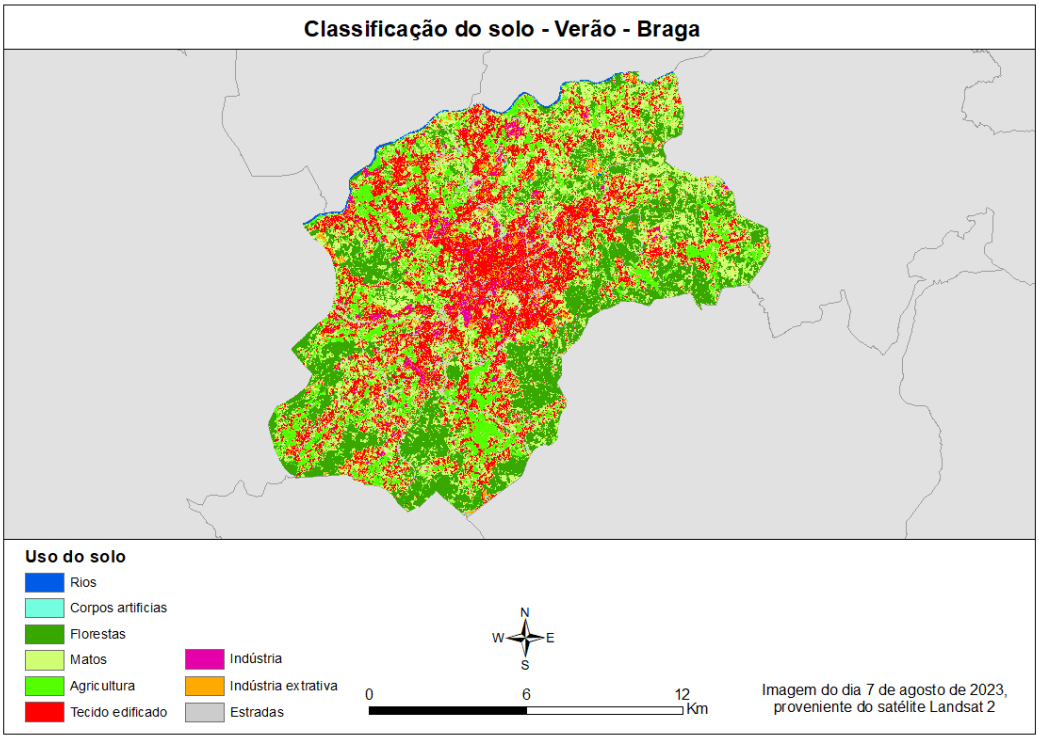

Figura 8 - Mapa de classificação do solo supervisionada de verão de Braga

Visualmente é difícil apontar erros à classificação, mas fica a ideia que possivelmente há algumas confusões entre as classes dos matos e agricultura, especialmente, mas também com a floresta. Não seria um erro difícil de cometer pelas parecenças que estas áreas têm em algumas áreas, principalmente onde são contíguas.

Observando-se a matriz de erro, e calculadas as precisões do Produtor e do Utilizador, abaixo, é possível perceber onde foram cometidos erros na classificação dos pixeis na definição das áreas de estudo e também perceber qual será a probabilidade da classificação representar a realidade.

	Rios	Corpos artificiais	Florestas	Matos	Agricultura	Tecido edi.	Indústria	Ind. Extrativa	Estradas	Total	Precisão Utilizador
Rios	1997	0	9	1	2	2	0	0	0	2011	0,993
Corpos artificiais	58	206	54	8	3	545	9	10	5	898	0,23
Florestas	38	0	127006	5383	604	5	0	0	0	133036	0,955
Matos	33	6	15582	12097	2852	875	10	19	24	31498	0,384
Agricultura	17	0	2457	253	19589	138	0	0	0	22454	0,872
Tecido edi.	6	4	497	271	336	34438	903	201	29	36685	0,939
Indústria	0	3	138	9	2	3104	6638	72	3	9969	0,666
Ind. Extrativa	2	3	227	217	87	6125	1299	2120	11	10091	0,21
Estradas	0	0	249	184	19	893	49	53	1294	2741	0,472
Total	2151	222	146219	18423	23494	46125	8908	2475	1366	249383	
Precisão Produtor	0,928	0,928	0,869	0,657	0,834	0,747	0,745	0,857	0,947		

Figura 9 - Matriz de erro da classificação do solo supervisionada de verão de Braga

Analisando os erros é então possível perceber que a definição dos pixeis das áreas de treino foram bastante consistentes com uma boa precisão à exceção da classe Matos onde a precisão foi significativamente menor, fruto das dificuldades referidas acima, mesmo se guiado pela classificação da COS.

Já na Precisão do Utilizador é possível perceber que há três classes com uma probabilidade muito reduzida de representar a realidade – Corpos artificiais, Matos e Indústria Extrativa. Após verificar esta precisão na tabela e revendo o mapa é possível

de facto identificar erros na classificação destas classes, no entanto, esses erros apenas são visíveis quando se dá algum zoom na imagem, principalmente para os Corpos Artificiais. Num olhar e análise mais antento à classificação é possível perceber que na classe dos Corpos Artificias o erro parece ser introduzido pela dificuldade em distinguir esta classe com Estradas e por vezes algum Tecido Edificado, enquanto que a Indústria Extrativa parece ser confundida com edifícios industriais e residenciais que refletem muito branco.

Por fim, apresentam-se as assinaturas espetrais das classes definidas par a classificação de verão. As classes associadas à vegetação têm notoriamente uma grande subida na refletância no comprimento do Near Infrared, mantendo uma elevada refletância em todos os comprimentos infravermelhos, apesar de ir diminuindo gradualmente.

As classes da água caraterizam-se por uma refletância muito reduzida em todos os espetros, não tendo por isso grandes variações ao longo dos comprimentos de onda, caraterística que também pode ser associada às classes do Tecido Edificado, Indústria e Indústria Extrativa, que apesar de terem alguma variação na refletância não têm grandes oscilações. Estas três últimas classes, aliás, aumentam relativamente pouco a refletância ao longo do espetro visível até ao Infravermelho.

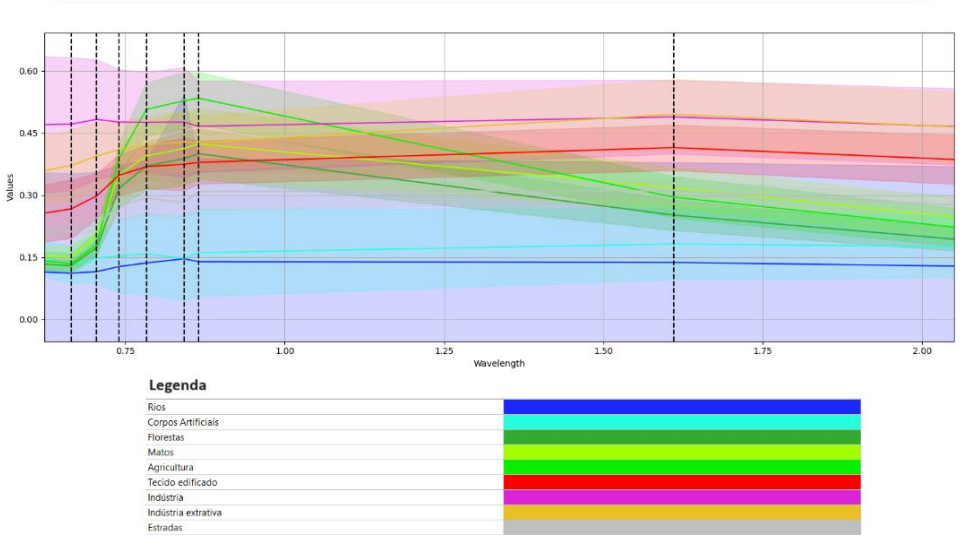

Figura 10 - Assinatura espetral das classes da classificação do solo de verão de Braga

Na classificação de imagem de inverno o método com melhor precisão foi, tal como na de verão, o método Maximum Likelihood com 76,30%. Ou seja, o erro nesta classificação de imagem foi significativamente superior, apesar de ter tentado seguir a mesma metodologia da classificação de verão.

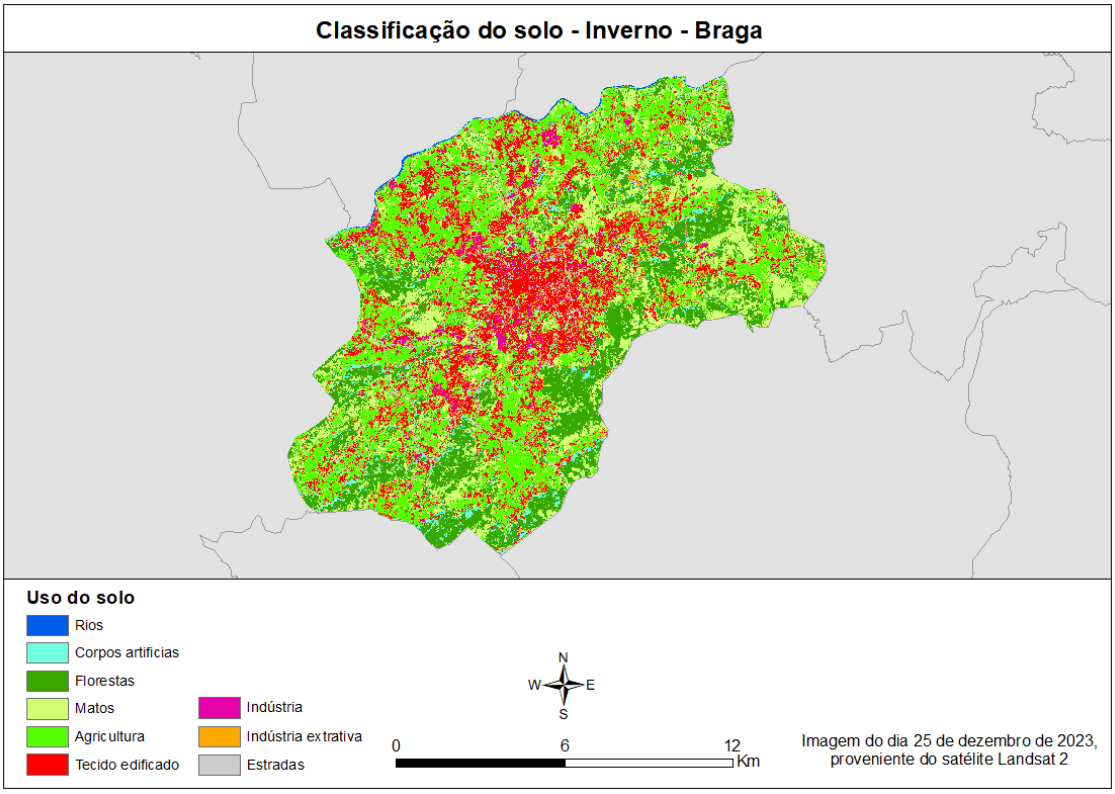

Figura 11 - Mapa de classificação do solo supervisionada de inverno de Braga

Observando a classificação e comparando com a imagem de verão é possível perceber que agora foi a Agricultura o maior problema da classificação, uma vez que esta classe ocupa demasiada área do município, tendo retirado áreas ao Tecido Edificado. No entanto é possível perceber também que há demasiadas áreas de Corpos artificiais quando estas se deviam restringir ao interior das pedreiras (Indústria Extrativa).

	Rios	Corpos Artificiais	Florestas	Matos	Agricultura	Tecido edi.	Indústria	Ind. Extrativa	Estradas	Total	Precisão Utilizador
Rios	1311	181	10	0	0	14	0	0	0	1516	0,865
Corpos Artificiais	114	661	7439	16	90	1236	53	19	8	9636	0,069
Florestas	16	8	112521	465	449	46	11	0	0	113516	0,991
Matos	1	1	31678	11288	6957	1323	23	7	0	51278	0,220
Agricultura	0	0	793	611	58327	1189	87	51	0	61058	0,955
Tecido edi.	0	14	447	287	612	37653	2392	352	29	41786	0,901
Indústria	0	7	14	5	36	3865	8603	80	0	12610	0,682
Ind. Extrativa	0	21	100	13	599	4437	1542	1151	12	7875	0,146
Estradas	0	2	36	2	52	3915	431	141	1340	5919	0,226
Total	1442	895	153038	12687	67122	53678	13142	1801	1389	305194	
Precisão Produtor	0,909	0,739	0,735	0,890	0,869	0,701	0,655	0,639	0,965		

Figura 12 - Matriz de erro da classificação do solo de inverno de Braga

Analisando a matriz de erro, percebe-se novamente que foi conseguida alguma consistência na definição das áreas de treino, no entanto as classes da Indústria e da Indústria Extrativa tiveram significativamente abaixo da maioria das classes definidas.

Por outro lado, a Precisão do Utilizador revela muito baixas probabilidades dos Corpos Artificiais, Matos, Indústria Extrativa e Estradas representarem a realidade. De facto,

como já se tinha exposto acima os Corpos Artificiais aparecem várias vezes na imagem quando na realidade deveriam existir cerca de quatro, de pequenas dimensões. Isto poderá dever-se ao facto de na imagem de inverno os Corpos Artificiais terem uma cor mais escura, tendo sido confundida com Rios mas também com Florestas e Matos, uma vez que esta imagem tinha alguns problemas e nestas últimas áreas era comum existirem áreas escuras e azuladas. Já os Matos, apesar da sua grande extensão não tinha chamado à atenção para que tivessem ocorrido erros, mas de facto existem áreas que são mais extensas do que seria suposto, roubando área de Florestas. Relativamente às Estradas, um olhar mais atento e com algum zoom permitem de facto perceber que muito poucas foram definidas nesta classificação de imagem. Por fim, a Indústria Extrativa voltou a estar sobre definida em pequenas áreas espalhadas um pouco por todo o concelho, tendo retirado área, novamente, aos edifícios industriais e residenciais com topos brancos.

Por fim, a matriz de erro não verifica erros significativos relativamente à Agricultura o que surpreende porque de facto, visualmente aparenta existir alguma sobre definição destas áreas.

Por fim, apresentando as assinaturas espetrais das classes definidas na imagem de

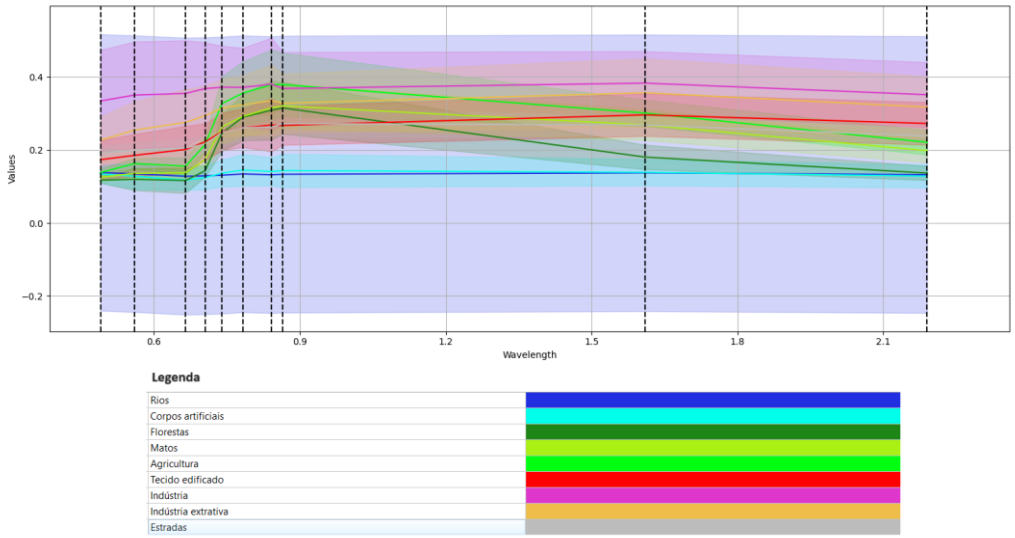

Figura 13 - Assinaturas espetrais das classes da classificação do solo de inverno de Braga

inverno pode-se perceber que estas são idênticas às assinaturas da imagem de verão, sendo a diferença mais notória o facto do gráfica estar com dimensões diferentes e mostrar um pouco mais do comprimento de onda visível. De resto, as classes da vegetação têm na mesma uma grande subida na refletância no comprimento de onda do Near Infrared, as classes de água mantêm a sua caraterística de refletância muito reduzida em todos os comprimentos de onda, subindo ligeiramente no comprimento de onda do Azul. As classes do Tecido Edificado, Indústria e Indústria Extrativa também mantém o comportamento de subida da refletância ao longo do Espetro Visível, principalmente o Tecido Edificado e a Indústria Extrativa, para nos Infravermelhos estabelecerem a sua máxima refletância.

Conclusão

Assim, com este trabalho deu para, mais que tudo, familiarizar com a Deteção Remota, conceitos e práticas desta área científica. Foi também possível perceber como a altura do ano pode influenciar a vegetação do município e na classificação de imagem aprendeu-se sobretudo a ter paciência para fazer e refazer as áreas de treino para tentar atingir os melhores resultados possíveis, mesmo que se acabe por ficar um pouco aquém do objetivo.

Deste trabalho ficará também o interesse de aplicar mais índices ambientais e fazer novas classificações do solo, tanto para conhecer a realidade do município de Braga ou de outras áreas geográficas, mas também para melhorar as capacidades associadas a estes trabalhos.

Anexos

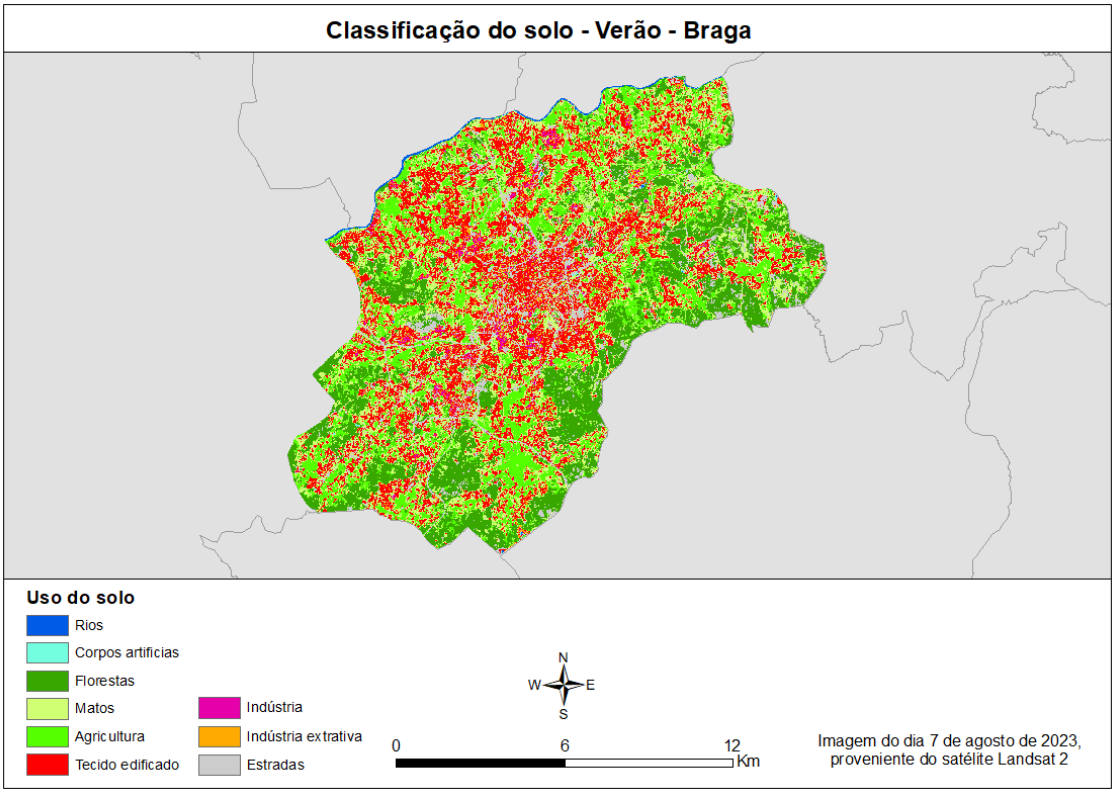

Figura 14 - Mapa de classificação do solo supervisionada de verão de Braga (método Minimum Distance)

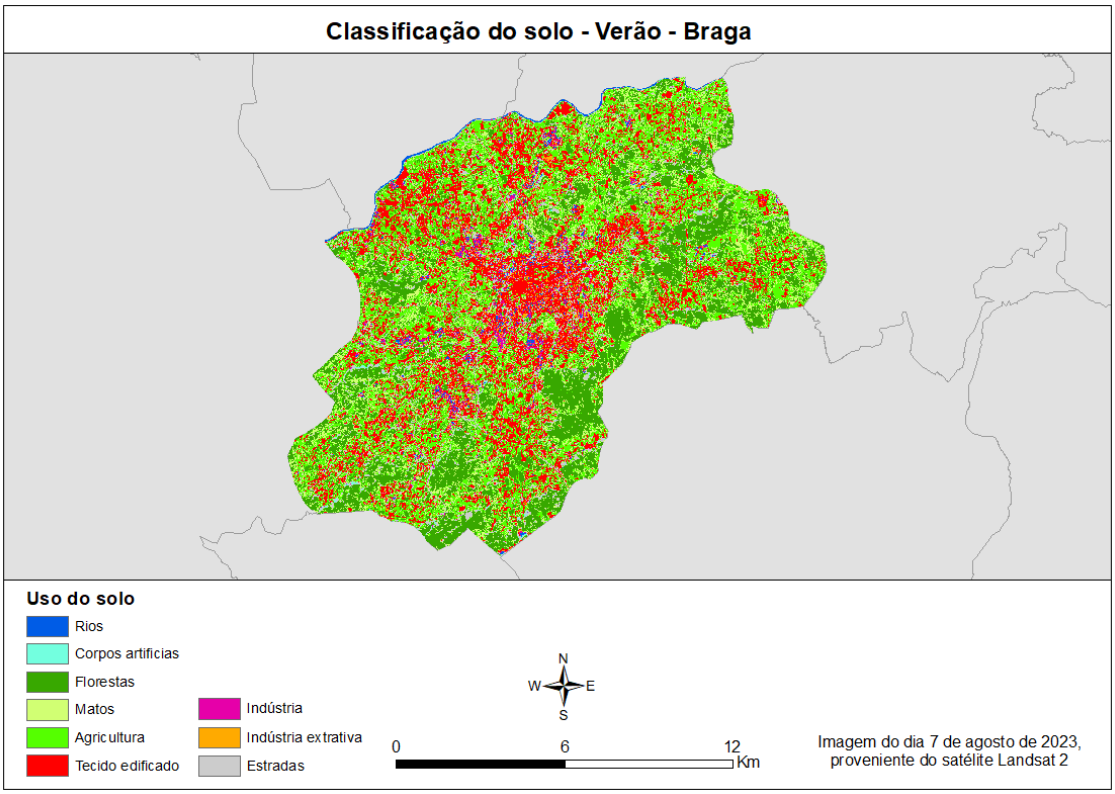

Figura 15 - Mapa de classificação do solo supervisionada de verão de Braga (método Spectral Angle Mapping)

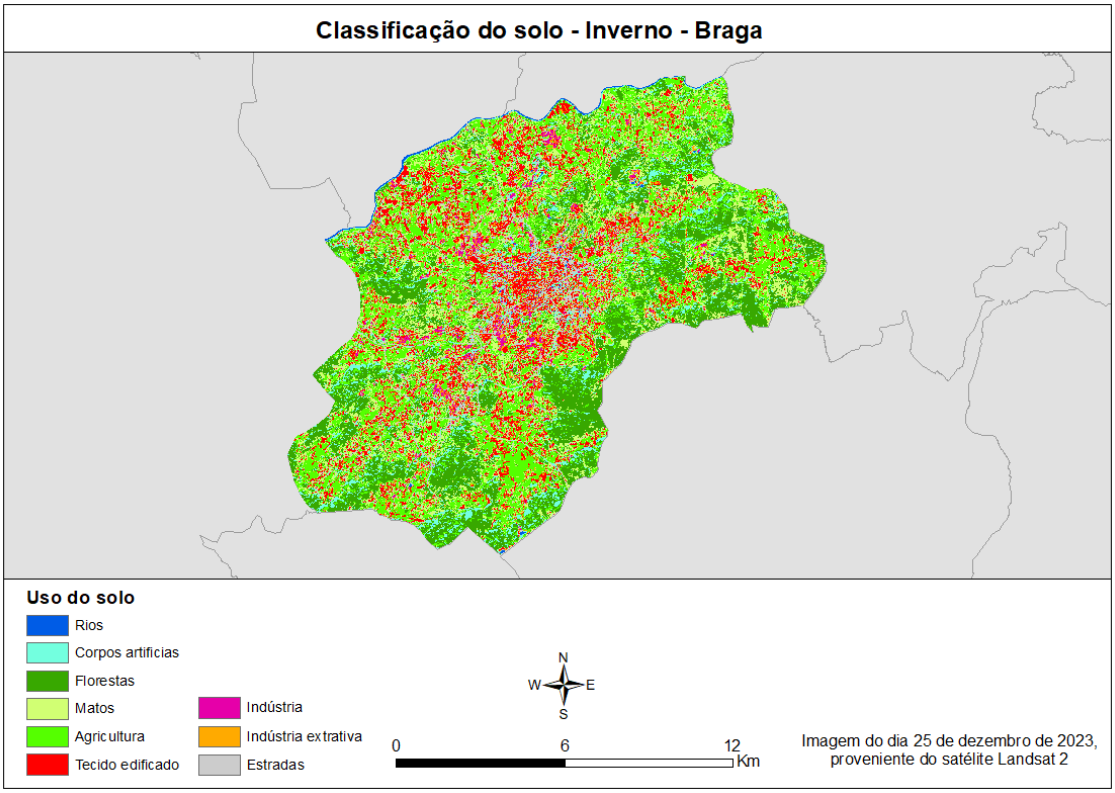

Figura 16 - Mapa de classificação do solo supervisionada de inverno de Braga (método Minimum Distance)

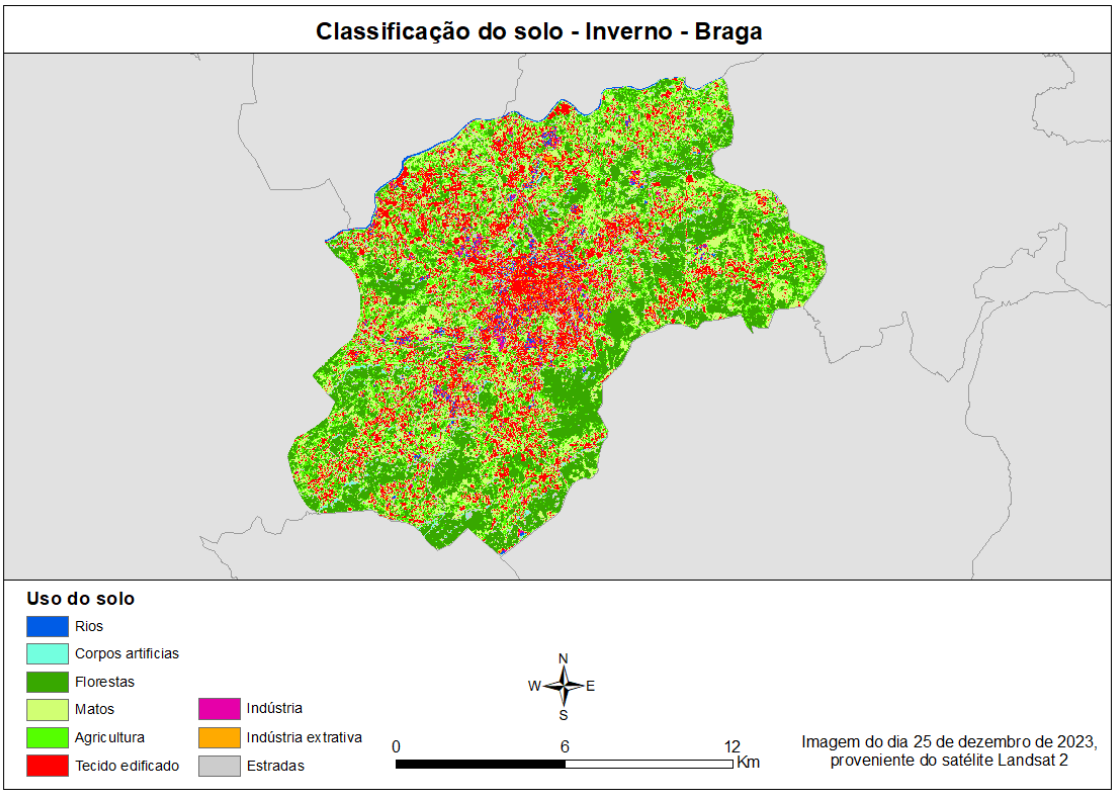

Figura 17 - Mapa de classificação do solo supervisionada de inverno de Braga (método Spectral Angle Mapping)

Bibliografia

Prieto-Amparan, J.; Villareal-Guerrero, F.; Martinez-Salvador, M.; Manjarrez-Domínguez, C.; Santellano-Estrada, E.; Pinedo-Alvazer, A. Atmospheric and Radiometric Correction Algorithms for the Multitemporal Assessment of Grasslands Productivity (2018). DOI: https://doi.org/10.3390/rs10020219

Kaplan, G. Object-based water body extration model using Sentinel-2 satellite imagery (2017). DOI: https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540

What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? - https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/ (acedido a 28/1/2024)

Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 2018 - https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/documentos-publicos/2019-12-26-11-47-32-0__ET-COS-2018_v1.pdf

Tutorial 1: Basic Land Cover Classification - https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/tutorial_1.html (acedido a 28/1/2024)

Brief Introduction to Remote Sensing - https://semiautomaticclassificationmanual.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html#max-likelihood-algorithm (acedido a 28/1/2024)

Level-2A. Sentinel Online- https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-2a (acedido a 28/1/2024)